



Veracruz 2023

CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA UN CAMPO PRODUCTIVO Y SUSTENTABLE

inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

ISBN: 978-607-37-1573-7

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Víctor Manuel Villalobos Arámbula
Secretario

Víctor Suárez Carrera
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

Salvador Fernández Rivera
Coordinador General de Desarrollo Rural

Oscar Javier Fernández Morales
Representante de la SADER en Veracruz

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Luis Angel Rodríguez Del Bosque
Encargado del despacho de los Asuntos de la Dirección General

Alfredo Zamarripa Colmenero
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

Luis Ortega Reyes
Coordinador de Planeación y Desarrollo

José Humberto Corona Mercado
Coordinador de Administración y Sistemas

Centro de Investigación Regional Golfo Centro

Rubén Santos Echeverría
Director Regional

Sergio Uribe Gomez
Director de Investigación

José Silva Constantino
Director de Administración

“Ciencia y tecnología para un campo productivo y sustentable”

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Alcaldía Coyoacán, C. P. 04010, Ciudad de México. Tel.: 553 871 8700

Primera edición en formato electrónico (Internet), 2023

Publicación en formato electrónico (Internet), número de ISBN: 978-607-37-1573-7

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en noviembre de 2023, en el Centro de Investigación Regional Golfo Centro del INIFAP. Km. 22.5 Carretera Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, mpio. de Medellín, Ver., México. CP. 94277. Teléfono: 553 871 8700, ext.: 87809. Hecho en México.

Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos, por un Comité Científico interinstitucional que contó con el apoyo de evaluadores de diferentes Instituciones y dependencias públicas, queda prohibida su reproducción total sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de derechos o tarifas.

Autores: María Enriqueta López Vázquez, Oscar Hugo Tosquy Valle, Naín Peralta Antonio, Rosa LauraRebolledo García y Ángel Capetillo Burela.



Veracruz 2023

CIENCIA y TECNOLOGÍA PARA UN CAMPO PRODUCTIVO y SUSTENTABLE



Índice

AGRÍCOLA

PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.) VARIEDAD QUERÉTARO CON ABONOS ORGÁNICOS	2
Gloria Esperanza De Dios León, Yaqueline Antonia Gheno Heredia, María Alva Ángel Lara, Sergio Castillo Martínez y Juan Eduardo Sosa Marcos	
DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE SANDÍA (<i>Citrullus lanatus</i>)	14
Miguel Ángel Rodríguez Chiunti, Arturo Heribia Virues y Adán Vidal Gamboa	
POBLACIONES EVOLUTIVAS DE MAÍZ OLOTILLO DE CUATRO ENTIDADES DE MÉXICO	28
Bulmaro Coutiño Estrada, Duhjadi Oliva García, Alicia Mastretta Yáñez, Noel Gómez Montiel, Víctor Vidal Martínez y Flavio Aragón Cuevas	
INCLUSIÓN FINANCIERA DE PAGOS ELECTRÓNICOS PARA PRODUCTORES AGROPECUARIOS Y MICROEMPRESAS ECOTURÍSTICAS EN CUETZALAN, PUEBLA	44
Francisco Hernández Quinto, Regina María Medina Sauza, Perla Eva Carmona León, Marisol Pérez Palestina, Jorge Velasco Castellanos y José Alejo Martínez Castillo	
ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL HONGO COMESTIBLE <i>Pleurotus albidus</i>	59
Marina Guevara Valencia, Karla Olmos Esteban, Fabiola Elvira San Juan, Miriam C. Pastelin Solano y Régulo C. Llarena Hernandez	
DEFICIENCIAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE <i>Citrus latifolia</i> Tanaka EN LA COMUNIDAD DE TLALTETELA, VERACRUZ	70
Marissa Cortés Pavón, Jenifer Mota Aguilar, Yeriel Oswaldo Muñoz Morales, Jahir Alejandro Sánchez Cortés y Alejandro Quirino Villarreal	
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE GENOTIPOS DE GARBANZO TIPO <i>KABULI</i> EN CONDICIONES DE RIEGO NORMAL Y DEFICITARIO	82
Raúl Ávalos Castro, Claudia M. Melgoza Villagómez, José Denis Osuna Amador, Pedro F. Ortega Murrieta y Gustavo A. Fierros Leyva	
POTENCIAL PRODUCTIVO DEL CULTIVO DEL ARROZ (<i>Oryza sativa</i> L.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO	95
Mauricio Francisco Sánchez Pérez, Victorino Gómez Valenzuela, Bernardino Ramírez Hernández, Román Roberto Vásquez Rendón, Ubaldo Guillermo Pérez Cruz y Gonzalo Ortiz Gil	
CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA CULTIVAR PITAHAYA ROJA (<i>Hylocereus undatus</i> Haworth, Britton & Rose) EN CAMPECHE, MÉXICO	107
Victorino Gómez Valenzuela, Teófilo Mendoza Rojas, Yessenia Yulibeth Gómez Díaz, Nohemí López Mayahua, Alma Rubí López Moreno y Eduardo Cipriano Bautista	
DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y USO DE LOMBRICOMPOSTA EN EL CULTIVO DE LIMÓN PERSA	181
Jesús Rodríguez Muñoz, Alexander Olmos Ballona, José Luis Del Rosario Arellano, María Alva Ángel Lara, Norma Ana Belí Coria Gil, Wilbert Díaz De Dios, Samuel Córdova Sánchez, Agustín Herrera Solano, Miguel Merino Valdés, Gloria Esperanza De Dios León, Carlos Félix Hernández Salgado, Viridiana Borbonio Fernández, Sherell Zamora Juárez y Carlos Jesús Real Garrido	
APLICACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES DURANTE LA ACLIMATIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR BAJO ESTRÉS HÍDRICO	133
José Luis Spinoso Castillo, Altigracia Reyes Castillo, Ricardo Sánchez Páez, Bruno Reyes Beristain y Jericó Jabin Bello Bello	



Índice

AGRÍCOLA

DETECCIÓN DE VARIACIÓN SOMACLONAL EN BROTES IRRADIADOS DE VAINILLA (<i>Vanilla planifolia</i> Jacks. ex Andrews) CON MARCADORES ISSR	148
María Karen Serrano Fuentes, María Angelica Fuentes Torres y Jericó Jabin Bello Bello	
MICORRIZACIÓN <i>ex vitro</i> DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR DURANTE LA ACLIMATACION	162
María del Rosario Moreno Hernández, Ricardo Sánchez Páez y Jericó Jabin Bello Bello	
PROPAGACIÓN <i>in vitro</i> DE CAÑA DE AZÚCAR CON NANOTUBOS DE CARBONO EN INMERSIÓN TEMPORAL	173
Eucario Mancilla Álvarez, Monserrat Sorcia Morales, Altagracia Reyes Castillo, Ricardo Sánchez Páez y Jericó Jabin Bello Bello	
ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA AGRICULTURA PROTEGIDA EN SAN SALVADOR EL VERDE, PUEBLA, USANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	185
Jesus Guevara Brindis, Perla Castillo Martínez, Arturo Santos Gómez y Jacinto Sandoval Lira	
EFECTO DE MICORRIZA EN CHILE ANCHO POBLANO AP-VR BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO Y SOLUCIÓN NUTRITIVA	201
David Sánchez Aspeytia, Francisco Castillo Reyes, Juan Carlos Salazar Deanzo y Gabriel Gallegos Morales	
DIAGNÓSTICO DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE PAPAYA (<i>Carica papaya</i> L.) EN COTAXTLA, VERACRUZ	213
Antonio Villegas Vilchis, Itzel Galaviz Villa, Isabel Araceli Amaro Espejo y Arturo García Saldaña	
COSCOMATEPEC, RAZA DE MAÍZ NATIVO MÁS IMPORTANTE PARA LA REGIÓN INTERMEDIA DEL ESTADO DE VERACRUZ	224
Mauro Sierra Macías, Clara Ríos Isidro, Ana Isabel Marín Andrade, Pedro Díaz Reyes, Roberto Ojeda Castro y Juan Manuel Hernández Casillas	
TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN MAÍZ NATIVO (<i>Zea mays</i> L.) X-MEJEN NAL, BAJO RIEGO POR GOTEO	239
Alfredo Lino Brito, Maribel Apolinar Aguilar y José Antonio Bolón López†	
RESPUESTA DE EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) A SOLUCIONES DE <i>Arthrospira platensis</i> SOBRE SEMILLAS	256
Maribel Apolinar Aguilar y Alfredo Lino Brito	
EVALUACION DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i> Jacq.) CULTIVADO EN INVERNADERO CON TECNOLOGÍA SUSTENTABLE	269
Andrés Vásquez Hernández, Héctor Cabrera Mireles, Arturo Durán Prado, Isaac Meneses Márquez y Arturo Andrés Gómez	
IMPACTO ECONÓMICO DEL BIOFERTILIZANTE MICORRIZICO INIFAP^{MR} EN EL CULTIVO DE YUCA (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) EN VERACRUZ	285
Arturo Durán Prado, Andrés Vásquez Hernández, Isaac Meneses Márquez, Mario Rodríguez Cuevas, Miguel Ángel Ramírez Guillermo y Jorge Martínez Herrera	
CARACTERIZACIÓN DE LA EMERGENCIA Y MORTALIDAD EN DOS LEGUMINOSAS DE GRANO EN CHINÁ, CAMPECHE	299
Damián Alberto Hernández Escamilla, David Arturo Colli Colli, Noel Antonio González Valdivia, Enrique Arcocha Gómez y Ofelia Guadalupe Angulo Balan	



Índice

AGRÍCOLA

PANORAMA DE LA FRUTICULTURA TROPICAL EN GUATEMALA, HONDURAS Y EL SALVADOR	308
Rosa Laura Rebolledo García, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez, Jeremías Nataren Velázquez, Joel Iglesias, Ana Lid Del Ángel Pérez, Nain Peralta Antonio, Laureano Rebolledo Martínez y Rigoberto Zetina Lezama	
INCREMENTO DEL CONTENIDO DE ESCUALENO DEL AMARANTO GERMINADO (<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.) CON ELICITORES ABIÓTICOS	319
Reyna Bibiana Colorado Terrazas, Cristian Jiménez Martínez, María Stephanie Cid Gallegos, Luis Jorge Corzo Ríos y Ofelia Gabriela Meza Márquez	
PRODUCTIVIDAD DE CRUZAS INTERVARIETALES, HÍBRIDOS Y VARIEDADES DE MAÍZ EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO	334
Elizeth Arely Carrera Trujillo, Mauro Sierra Macías, Oscar Hugo Tosquy Valle, Marcos Ventura Vázquez Hernández y Cristal Arany Guerrero Ortíz	
ESTIMACIÓN DEL PARQUE DE TRACTORES AGRÍCOLAS EN MÉXICO	349
José Cupertino Salas Gutiérrez, José Alberto García Salazar, José Saturnino Mora Flores y Ángel Garduño García	
EVALUACIÓN <i>in vitro</i> DE EXTRACTOS DE TALLO DE AJO (<i>Allium sativum</i>) PRETRATADO CONTRA <i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	362
Patsy Suleyma Hernández Olivares, Pedro Sebastián Vargas Cardoso y Karla Nallely Rivera Hernández	
BIOESTIMULANTES MICROBIANOS EN EL DESARROLLO DE FRUTOS DE JITOMATE EN CONDICIONES PROTEGIDAS DE MACROTÚNEL	372
Félix David Murillo Cuevas, Jacel Adame García, Héctor Cabrera Mireles, Jazmín Villegas Narváez y Manuel Velázquez Viveros	
MORFOLOGÍA, CALIDAD Y COLOR DE FRUTOS DE PITAHAYA (<i>Hylocereus</i> spp.) EN TRES MÉTODOS DE POLINIZACIÓN	383
J. Amador Honorato Salazar, Raúl Ríos Sánchez y Bibiana Solís Martínez	
EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE NUEVOS HÍBRIDOS DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) EN LA COSTA DE JALISCO	398
Jeovani Francisco Cervantes Preciado, Marcelino Álvarez Silva, Marianguadalupe Hernández Arenas y Maurilio Mendoza Mexicano	
CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DE CAFÉ ROBUSTA (<i>Coffea canephora</i> (P) ex Froehner)) EN VERACRUZ, MÉXICO	410
Nancy Nazario Lezama, Aristarco Aguas Atlahua, Eliseo García Pérez, Alejandra Ramírez Hernández, Esteban Escamilla Prado, Galdy Zarate Hernández y Josafhat Salinas Ruíz	
FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN FRIJOL VARIEDAD FLOR DE DURAZNO	423
Jesús de la Cruz Flores, Branses Barrón Téllez, Gustavo Mercado Mancera y Jesús Navejas Jiménez	
DEMANDAS DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN LAS CADENAS DE VALOR NARANJA Y LIMÓN PERSA	437
Sergio Alberto Curti Díaz, Jaime Rangel Quintos, Pablo Ulises Hernández Lara, Mario Rodríguez Cuevas, Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera, Santiago Domínguez Monge y Dante Sumano López	
FLORACIÓN Y FRUCTIFICACION DE ORQUÍDEAS EN EL COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS CÓRDOBA	451
Obdulia Baltazar Bernal, Víctor Manuel De la Cruz Martínez, Arturo Hernández García y Jesús Zavala Ruiz	



Índice

AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y BIOQUÍMICA EN PLÁNTULAS DE <i>Agave americana</i> L. OBTENIDAS POR MUTAGÉNESIS QUÍMICA	463
Sugey Vásquez Hernández, Sheila Jazmín Reyes Zambrano, Rosalía Nuñez Pastrana, Federico Antonio Gutierrez Miceli, Joaquín Adolfo Montes Molina y Carlos Alberto Lecona Guzmán	
ESTIMULACIÓN EN LA GERMINACIÓN Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE NPs-ZnO EN MAÍZ NATIVO ROJO	478
Sheila Jazmín Reyes Zambrano, Carlos Alberto Lecona Guzmán y Federico Antonio Gutiérrez Miceli	
PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DEL CONTROL DEL CARBÓN DE LA ESPIGA EN EL VALLE DEL MEZQUITAL	488
Alejandra Vélez Izquierdo, José Antonio Espinosa García y René Gómez Mercado	
EVALUACIÓN DE INÓCULOS Y ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE CACAO	503
Cesiah Cambambia Mendoza, Anastacio Nanco Ortiz, Tania Romero Figueiras y Fernando A. Gómez Díaz	
MÉTODO DE INOCULACIÓN DE ESPORAS DE <i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br. EN PLANTAS DE CAFÉ BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO	515
Maricela Santiago Santiago, Nadia Martínez Barrientos, Jonathan Saynes Vázquez, César Josué Chiquito Contreras y Roberto Gregorio Chiquito Contreras	
ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE EXTRACTOS DE <i>Larrea tridentata</i>, SOBRE <i>Trichoderma harzianum</i>	526
Claudia Lorena Fernández López, Juan Díaz Vela, Gregorio Hernández Salinas y Raúl Sampieri Cabrera	
RESPUESTA DE TOMATE CHERRY A LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS BIOESTIMULANTES EN INVERNADERO	539
Fátima A. Dasa Cambambia, Luis Guillermo Hernández Montiel, Luis Hernández Adame y Liliana Lara Capistrán	
CARACTERIZACIÓN DE DOS POBLACIONES NATIVAS DE CALABAZA PIPIANA EN LA REGION CENTRAL DE VERACRUZ	551
Isaac Meneses Márquez, Arturo Andrés Gómez, Andrés Vásquez Hernández, Héctor Cabrera Mireles, Arturo Duran Prado, Marcos Antonio Hernández García y Fabiola Vázquez Rojas	
RESPUESTA MORFOLOGICA DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) A FOTOPERIODO DE ALTA INTENSIDAD	566
Gabriela Hernández Hernández, Genaro Pérez Jiménez, Nelly Corona Vega y Michelle Sánchez Lima	
PRODUCCIÓN DE FRIJOL (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) CON USO DE VITAMINA B2 (RIBOFLAVINA) EN CONDICIONES PERIURBANAS	578
Joshua Nasir Aburto Tejeda, Marycruz Abato Zárate, Doris Guadalupe Castillo Rocha, Noel Reyes Pérez y Luz Amelia Sánchez Landero	
DINÁMICA POBLACIONAL DE TALLOS DE DOS GENOTIPOS DEL GÉNERO <i>Panicum</i> EN TRES PERIODOS DE CORTE	589
José Manuel Castro Salas, Alejandro Sotelo Aguilar, Cesario Catalán Heverastico, Claudia Carreón Corral, Tania de Jesús Adame Zambrano y Erick Said Nava Galindo	
CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE SIEMBRA VERTICAL DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO EN AMBIENTE PROTEGIDO EN VERACRUZ	600
Juan Daniel Torres Polo, Ángel Capetillo Burela, Rigoberto Zetina Lezama, Marco Antonio Reynolds Chávez, Cecilia Reyes Loyola, Martín Cadena Zapata y Juan Antonio López López	



Índice

AGRÍCOLA

CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA EN TAMAULIPAS, MÉXICO	613
Ángel Capetillo Burela Ángel, Marcos Antonio Reynolds Chávez, Rigoberto Zetina Lezama, Oscar Hugo Tosquy Valle, Ramón Camporredondo, Cristian Matilde Hernández y Maurilio Mendoza Mexicano	
EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE FRIJOL EN SIERRA ORIENTAL, COXCATLÁN-TEHUACÁN Y TECAMACHALCO-CHALCHICOMULA DE SESMA, PUEBLA	628
Francisco Javier Ugalde Acosta, Simón Alvarado Mendoza, Simón Leyva Vela, Leónides Bernabé Santiago, Antonio Rosas Rodríguez, Ernesto Díaz López, Humberto Rafael Bravo Delgado, Isidro López Sánchez, Arturo Olivar Hernández, Hugo Castro Cerecer y Áureo Martínez	
TAMAÑO DE SEMILLA Y VARIABILIDAD AGRONÓMICA DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DE MÉXICO	640
Antonio Villalobos González, Ignacio Benítez Riquelme, Fernando Castillo González, Ma. Del Carmen Mendoza Castillo y Alejandro Espinosa Calderón	
HETEROSIS EN CRUZAMIENTOS VARIETALES DE MAÍZ PROSPECTOS PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO	651
Mauro Sierra Macías, Clara Ríos Isidro, Noel Gómez Montiel, Sabel Barrón Freyre, Francisco Javier Ugalde Acosta, Arturo Guiris Guzmán, José Manuel Almendras León y Reyna Michelle Fierro López	
DISEÑO DE MARCADORES MOLECULARES PARA LA DETECCIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA PUDRICIÓN EN VAINILLA	667
Carmen G. Lucas de la Cruz, Ricardo Santillán Mendoza, Felipe R. Flores de la Rosa, Juan Hernández Hernández, María Hernández Sánchez, Cristian Matilde Hernández y Humberto Estrella Maldonado	
GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AISLADOS FÚNGICOS ASOCIADOS A MUERTE-DESCENDENTE EN LIMÓN PERSA Y NARANJA EN VERACRUZ	682
Lucero Marín Oluarte, Kandy Tapia Parceró, Felipe R. Flores de la Rosa, Humberto Estrella Maldonado, Cristian Matilde Hernández, Sylvia P. Fernández Pavía, Gerardo Rodríguez Alvarado y Ricardo Santillán Mendoza	
RENDIMIENTO DE GRANO Y TOTOMOXTLA BAJO EL SISTEMA DE TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN MAÍZ NATIVO	696
Juan Manuel García Toral, Isaac Meneses Márquez, Enedina Sánchez González, Eloy Meneses Márquez, Santiago Domínguez Monge y Rosi Edith Santes Olmedo	
COMPORTAMIENTO DE LEGUMINOSAS DE COBERTURA PARA EL CONTROL DE ARVENSES EN UNA PLANTACIÓN DE LIMÓN PERSA	711
Javier Francisco Enríquez Quiroz, Valentín Alberto Esqueda Esquivel y Cristian Matilde Hernández	
ACTIVIDAD ANTAGÓNICA DE CEPAS NATIVAS DE <i>Trichoderma</i> spp. CONTRA <i>Botrytis cinerea</i> Pers.	721
Lucía Torres Rueda, Guadalupe Mora Baez, Berenice Lozada Gómez, Amalia Posadas Herrera y Laura Lara Gómez	
VARIEDADES DE GIRASOL ALTO OLEICO: GIR-AO-10, GIR-AO-20, GIR-AO-30, PARA GUANAJUATO	732
Miguel Hernández Martínez y Víctor Montero Tavera	
VARIEDAD DE GIRASOL FORRAJERO: GIR-FO-40 PARA GUANAJUATO	747
Miguel Hernández Martínez	



Índice

AGRÍCOLA

EFFECTO DEL ACOLCHADO PLÁSTICO NEGRO Y COMPOSTA DE BOVINO EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO	758
Isabel Alemán Chávez, Liliana Lara Capistrán, Elia N. Aquino Bolaños, y Guillermo Alafita Vásquez	
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE CHILE JALAPEÑO CON FERTILIZACIÓN SUSTENTABLE EN INVERNADERO	769
María Dora Castillo Rodríguez, Andrés Vásquez Hernández, Héctor Cabrera Mireles, Arturo Durán Prado, Isaac Meneses Márquez y Arturo Andrés Gómez	
AVANCES DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CALABAZA CHIHUA (<i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber) EN QUINTANA ROO, MÉXICO	782
José Ángel García Sandoval e Isaac Meneses Márquez	
EVALUACIÓN DE BIOINSUMOS PARA MANEJAR LA MUERTE DE ÁRBOLES DE <i>Citrus sinensis</i> L. Osbeck EN VERACRUZ	794
Manuel Ángel Gómez Cruz, Laura Gómez Tovar, José Alberto Barrera González, Luis Enrique Ortiz Martínez y Ana Elizabeth Maldonado Adauta	
REGULADORES DE CRECIMIENTO PARA CONTROLAR EL ABORTO DE FRUTOS EN <i>Vanilla planifolia</i> Jacks ex Andrews	806
Juan Hernández Hernández, Sergio A. Curti Díaz y Ángel Ríos Utrera	
AVANCES EN EL RESCATE Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE VAINILLA EN MÉXICO	818
Juan Hernández Hernández y Esmeralda J. Cruz Gutiérrez	
CONTROL MICROBIAL DEL ÁCARO BLANCO, <i>Polyphagotarsonemus latus</i> (BANKS) EN PIMIENTO MORRÓN (<i>Capsicum annuum</i>) EN INVERNADERO	828
Héctor Cabrera Mireles, Félix David Murillo Cuevas, Jimena Ortega Patricio, Magali Jimenez Jimenez, Jacel García Adame, Andrés Vásquez Hernández, Arturo Andrés Gomes y Rubén Uriel Herrera Bonilla	
LEGUMINOSAS POTENCIALES PARA SER USADAS COMO ABONO VERDE EN EL CULTIVO DE MAÍZ	841
Nain Peralta Antonio, Andrés Rebolledo Martínez, María Enriqueta López Vázquez y Rosa Laura Rebolledo García	
LEGUMINOSAS TROPICALES POTENCIALES PARA SER USADAS COMO ABONO VERDE EN EL CULTIVO DE CAÑA	852
Nain Peralta Antonio, Maurilio Mendoza Mexicano, María Enriqueta López Vázquez, Rosa Laura Rebolledo García y Andrés Rebolledo Martínez	
SUPRESIÓN DE MALEZAS CON LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE NARANJA cv. VALENCIA	865
Cristian Matilde Hernández, Javier Francisco Enríquez Quiroz y Valentín A. Esqueda Esquivel	
EXTRACTOS VEGETALES Y PRODUCTO ALTERNATIVO PARA MANEJO DE ANTRACNOSIS DE FRUTOS DE PAPAYA	875
Rebeca Rodríguez Falconi, Jorge Gustavo Rodríguez Escobar, Iván López Córdova, Rafael Guajardo Panes y Lorena Jacqueline Gómez Godínez	
TIPOLOGÍA DE PRODUCTORES EN EL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA DEL ESTADO DE OAXACA	890
Marco Antonio Reynolds Chávez, Ángel Capetillo Burela, Rigoberto Zetina Lezama, Martín Cadena Zapata y Juan Antonio López López	



Índice

AGRÍCOLA

IDENTIFICACIÓN A NIVEL TRANSCRIPTÓMICO DE LA FAMILIA DE GENES CDR EN <i>Citrus latifolia</i> Y SU EXPRESIÓN DURANTE LA ENFERMEDAD POR HLB	906
Felipe Roberto Flores de la Rosa, Carlos González Cruz, Jacel Adame García, Arianna Christine Chan León, Ricardo Santillán Mendoza, Jorge M. Santamaría y Humberto Estrella Maldonado	
IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN ERF EN <i>Citrus latifolia</i> EN RESPUESTA AL HLB	922
Humberto Estrella Maldonado, Katya Zaleta Salas, Cristian Matilde Hernández, Arianna Christine Chan León, Ricardo Santillán Mendoza y Felipe Roberto Flores de la Rosa	
EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE <i>Bacopa procumbens</i> EN INVERNADERO	938
Karen Quintana Bautista, Valentín López Gayou, Elizabeth Vargas Anaya, Minerva Rosas Morales, Ramón Díaz Ruíz y Ada María Ríos Cortés	
DENSIDAD DE SIEMBRA EN CALABAZA CHIHUA (<i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO	948
Mónica Beatriz López Hernández, Antonio Villalobos González, Enrique Arcocha Gómez, Noel Antonio González Valdivia y Jorge Antonio Che Che	
NUTRICIÓN MINERAL FOLIAR Y AL SUELO DEL AGUACATERO (<i>Persea americana</i> Mill.) EN URUAPAN, MICHOACÁN	958
Luis Mario Tapia Vargas, Adelaida Stephany Hernández Valencia y Anselmo Hernández Pérez	
EVALUACIÓN DE NUTRICIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN AGUACATERO (<i>Persea americana</i> Mill), DE ZIRACUARETIRO, MICHOACÁN, MÉXICO	973
Luis Mario Tapia Vargas, Anselmo Hernández Pérez y Adelaida Stephany Hernández Valencia	
RESPUESTA A LA INFECCIÓN DE <i>Hemileia vastatrix</i> EN PLANTAS DE <i>Coffea arabica</i> var. SARCHIMOR T5296	985
Edgar Couttolenc Brenis, Marco Antonio Toral Juárez, Rosalío López Morgado y Jesus Parroquín Perez	
SISTEMA DE MANEJO Y SELECCIÓN MASAL EN UNA POBLACIÓN DE MAÍZ NATIVO DEL TONACAPAN	996
Eloy Meneses Márquez, Isaac Meneses Márquez, Enedina Sánchez González, Juan Manuel García Toral, Santiago Domínguez Monge y Rosi Edith Santes Olmedo	
EVALUACIÓN DE ESQUEJES DE DOS POBLACIONES DE <i>Bacopa procumbens</i> BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO	1011
Brandon López Muñoz, Karen Quintana Bautista, Pedro Antonio López, Oxana Lazo Zamalloa y Ada María Ríos Cortés	
NIVELES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL CRECIMIENTO DE HIGO (<i>Ficus carica</i>) EN HIDROPONÍA EN LA MIXTECA POBLANA	1020
Alejandro Pérez Rosales, Alma Velia Ayala Garay, Erika López Aranda, Eleodoro Gabilan Linares y Narciso Luna Esquivel	
CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE <i>Yucca elephantipes</i>, COLECTADAS EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO	1033
Jeremías Nataren Velázquez, Rosa Isela Rosalino Antonio, Ana Lid del Angel Pérez y Juan Valente Megchún García	



Índice

AGRÍCOLA

- ESTADO NUTRIMENTAL DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE CHILAPA DE ÁLVAREZ, GUERRERO** 1047
Martín Solís Martínez, Saraí Silva Rosales, Juan Antonio Chamú Baranda, Rubén Santos Echeverría y Norma Ávila Alistac
- EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DE ACCESIONES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN ETAPA TEMPRANA** 1063
Michell Sánchez Lima, Genaro Pérez Jiménez y Gabriela Hernández Hernández
- DESHIDRATADOR DE HOJAS DE *Moringa oleifera* Lam. PARA PRODUCTORES DE VERACRUZ** 1076
Juan Manuel Carrión Delgado y Ofelia Andrea Valdés Rodríguez
- AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* EN HUERTOS DE SAN JUAN AMECAC, TOCHIMILCO, TLATEMPA Y TLALIXTLIPA, PUEBLA** 1086
Eduardo Molina Gayosso, Martín Cervantes Calderón, María de Jesús Díaz Luna y Petra Andrade Hoyos
- PRUEBAS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE *Calandrinia micrantha*** 1097
Pedro Antonio Romero Custodio, Karen Quintana Bautista, Minerva Rosas Morales, Oxana Lazo Zamalloa y Ada María Ríos Cortés
- DINÁMICA POBLACIONAL DE DÍPTEROS PLAGA EN HIGO, IXEHUACO, XOCHIAPULCO PUEBLA** 1107
Mónica Del Ángel Ocampo y Raúl Ríos Sánchez
- DENSIDADES DE POBLACIÓN Y FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE FORRAJE DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ** 1120
Marcos V. Vázquez Hernández, Oscar Hugo Tosquy Valle y Flavio Rodríguez Montalvo
- POLINIZACIÓN MANUAL Y CARACTERÍSTICAS DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)** 1132
Jeremías Nataren Velázquez, Ana Lid del Angel Pérez, Irma Rosa Vásquez Robles y Juan Valente Megchún García
- EFFECTO DEL ACOLCHADO PLÁSTICO Y LA MALLA SOMBRA EN EL CONTROL DE LA FLORACIÓN NATURAL EN PIÑA MD2** 1147
María Enriqueta López Vázquez, Andrés Rebolledo Martínez, Rosa Laura Rebolledo García, Nain Peralta Antonio y Laureano Rebolledo Martínez
- EFFECTO DE FERMENTOS BACTERIANOS DE CAPARAZONES DE JAIBA EN EL DESARROLLO DE *Vanilla planifolia* Y LA FUSARIOSIS DE LA RAÍZ** 1158
Jessica Oliva González, Jorge González Preval y Mauricio Luna Rodríguez
- DETECCIÓN MOLECULAR DE CLAS CAUSANTE DEL HLB EN LIMÓN PERSA, EN VERACRUZ** 1173
Cynthia Gpe. Rodríguez Quibrera, Luis E. Peña Melgarejo, Santiago Domínguez Monge, Ariadna Uribe Bustamante, Perla Minely Santos Francisco y Sergio Alberto Curti Díaz
- IDENTIFICACIÓN *in silico* DE FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN WRKY EN LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia*)** 1183
Berenice Preza Murrieta, Felipe Roberto Flores de la Rosa, Juan Carlos Noa Carrazana, Norma Flores Estévez, Ricardo Santillán Mendoza, Humberto Estrella Maldonado y Cristian Matilde Hernández



Índice

AGRÍCOLA

- IDENTIFICACIÓN DE GENES *SIX* Y EFECTORES DE PATOGENICIDAD POTENCIALES EN EL GENOMA DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*** 1198
Felipe Roberto Flores de la Rosa, Maritza Marcelo de los Santos, Cristian Matilde Hernández, Humberto Estrella Maldonado, Jacel Adame García y Ricardo Santillán Mendoza
- EFFECTO DEL CERIO Y SU POLÍMERO DE COORDINACIÓN EN LA MICROPROPAGACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR** 1209
Karla Yunuen Trueba Sánchez, Rodolfo Peña Rodríguez, Raúl Colorado Peralta, María Teresa González Arnao, Rosalía Núñez Pastrana y Carlos Alberto Cruz Cruz
- SELECCION MASAL VISUAL ESTRATIFICADA EN UNA POBLACIÓN DE MAÍZ NATIVO BAJO MANEJO DE TRANSICIÓN AGROECOLÓGICO** 1223
Enedina Sánchez González, Isaac Meneses Márquez, Eloy Meneses Márquez, Juan Manuel García Toral, Santiago Domínguez Monge y Rosi Edith Santes Olmedo

PECUARIO

- VALIDACIÓN DE ECUACIONES PARA PREDECIR LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PASTO *Pennisetum purpureum* CV CUBA CT-115 MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO** 1235
Armando Guerrero Peña y Gloria Esperanza De Dios León
- MONITOREO DE INCUBACIÓN Y OVIPOSICIÓN *in vitro* DE LA GARRAPATA *Dermacentor albipictus* Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS** 1249
Elizabeth Salinas Estrella, Mayra Elizeth Cobaxin Cárdenas, Jesús Francisco Preciado de la Torre, Raquel Cossío Bayúgar y Sergio Darío Rodríguez Camarillo
- IMPACTO DEL CAMBIO TECNOLÓGICO Y EL PRECIO DE LOS GRANOS FORRAJEROS SOBRE LA PRODUCCIÓN GANADERA DE MÉXICO: EL CASO DE LA CARNE DE POLLO** 1261
Álvaro Nochebuena Molina y José Alberto García Sánchez
- EVALUACIÓN DE LA ULTRASONOGRAFÍA OVÁRICA Y CUANTIFICACIÓN DE LA PROGESTERONA PARA DETERMINAR CICLICIDAD ESTRAL EN VACAS** 1272
Abraham Fragoso Islas, Jorge Víctor Rosete Fernández, Ángel Ríos Utrera y Rubén Santos Echeverría
- FACTORES QUE AFECTAN LA TASA DE GESTACIÓN EN BOVINAS TRANSFERIDAS CON EMBRIONES CEBÚ EN TRÓPICO** 1282
Román Fernández Orlando, Alondra Zavaleta Martínez, Manlio Alpirez Mendoza, Manuel Barrientos Morales, Araceli Rodríguez Andrade, Patricia Cervantes Acosta, Antonio Hernández Beltrán y Belisario Domínguez Mancera
- ANÁLISIS FINANCIERO DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA EN 2021 EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SUBTRÓPICO HÚMEDO** 1297
René Carlos Calderón Robles, Beatriz Aguilar Solís, René Calderón Chagoya, Ángel Ríos Utrera y Juvencio Lagunes Lagunes
- POLÍTICAS PÚBLICAS PARA TRANSITAR HACIA UNA GANADERÍA LECHERA REGENERATIVA: CASO ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO A PEQUEÑOS PRODUCTORES** 1308
Diego Armando García Rodríguez y Ponciano Pérez Hernández



Índice

PECUARIO

- COMPARACIÓN DE LA EXPRESIÓN GÉNICA EN UNA CEPA ATENUADA Y UNA CEPA VIRULENTE DE *Babesia bigemina* EN MÉXICO** 1323
Rebeca Montserrat Santamaria Espinosa, Karel Johan Estrada Guerra, Grecia Martínez García, José Juan Lira Amaya, Carmen Rojas Martínez, Antonio Álvarez Martínez, Fidel Alejandro Flores Sánchez y Julio Vicente Figueroa Millan
- INFECCIÓN EXPERIMENTAL DE BOVINOS CON CEPAS VIRULENTE Y ATENUADA DE *Babesia bigemina*: MONITOREO CLÍNICO-SEROLÓGICO** 1338
Tomás Valdemar Santamaria Espinosa, Julio Vicente Figueroa Millán, Rebeca Montserrat Santamaria Espinosa, Grecia Martínez García, José Juan Lira Amaya, Carmen Rojas Martínez y Jesús Antonio Álvarez Martínez
- INTEGRACIÓN DEL PRODUCTOR BOVINO DOBLE PROPÓSITO A LA CADENA DE VALOR LECHE** 1348
Jaime Rangel Quintos, Maribel Montero Lagunes, Ana Karen Pérez Godínez y Laura Hernández Andrade
- EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp** 1363
Abigail Castro González, Maribel Montero Lagunes, Francisco I. Juárez Lagunes y José M. Martínez Hernández
- PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON *Gliricidia sepium* Y CÁSCARA DE NARANJA** 1376
Maribel Montero Lagunes, Francisco Indalecio Juárez Lagunes, Javier Francisco Enríquez Quiroz, Abigail Castro González, Erika Andrea Hernández y Juan Prisciliano Zárate Martínez
- EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit** 1389
Abigail Castro González, Maribel Montero Lagunes, Francisco Indalecio Juárez Lagunes y José Manuel Martínez Hernández
- EFFECTO DE LA EPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE PASTOS TROPICALES NO FERTILIZADOS** 1402
Jorge L. Contreras Jácome, Maribel Montero Lagunes, Francisco I. Juárez Lagunes, Abigail Castro González, Javier F. Enríquez Quiroz y José M. Martínez Hernández
- FACTORES QUE AFECTAN EL ÍNDICE DE PREÑEZ DE OVEJAS SOMETIDAS A PROGRAMAS DE TRASPLANTE EMBRIONARIO** 1416
Armando Arrieta González, Jesús Emanuel Arrieta Vázquez y Karla Lissette Silva Martínez

FORESTAL

- CARACTERIZACIÓN DE ÁRBOLES DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA DEL EJIDO CAPOLUCA, IXTACZOQUITLÁN, VERERACRUZ, MÉXICO** 1434
Eliazar Molohua Tzitzihua, José Luis López Ayala y Héctor David Jimeno Sevilla
- INFECTIVIDAD Y EFECTIVIDAD DE *Pseudomonas putida* EN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus patula* Schl. et Cham.** 1449
Luis López Melchor, Gabriela Sánchez Viveros, Guillermo Rodríguez Rivas, Nadia Martínez Barrientos y Eduardo Hernández Hernández



FORESTAL

- REGENERACIÓN NATURAL DE *Abies religiosa* (Kunth) Schtdl. & Cham., BAJO TRES APERTURAS DEL DOSEL, EN LA ESTACIÓN FORESTAL EXPERIMENTAL ZOQUIAPAN, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO** 1461
 Diana E. García Ricárdez, Alejandro Velázquez Martínez, Aurelio M. Fierros González, Valentín J. Reyes Hernández y Gil Vera Castillo
-
- MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Pinus montezumae* Lamb. A PARTIR DE VIRUTAS DE INCREMENTO EN PUEBLA, MÉXICO** 1475
 Juan Carlos Tamarit Urias, Gerónimo Quiñonez Barraza, Vidal Guerra de la Cruz y Jonathan Hernández Ramos
-
- COMPONENTES LIGNOCELULOSICOS DE CUATRO ESPECIES TROPICALES DEL ESTADO DE YUCATÁN** 1490
 Flora Apolinar Hidalgo y Patricia Aguilar Sánchez
-
- CONSERVACIÓN Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus engelmannii* Carrière** 1501
 Andrés Flores, Tomás Pineda Ojeda, Enrique Buendía Rodríguez, Eulogio Flores Ayala y Jorge Méndez González
-
- USO POTENCIAL DE DIFERENTES FUENTES DE RADIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN EN VIVERO DE *Pinus pseudostrobus* LINDL** 1513
 Laura Yasmín Flores López, Lourdes Georgina Iglesias Andreu, Martín Ortiz Morales y Lourdes Palafox Chávez
-
- ESTIMULACIÓN DE LA FLORACIÓN EN ÁRBOLES DE NAVIDAD DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco** 1524
 Liliana Muñoz Gutiérrez y Sara Irene Velasco Hernández
-
- ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE RODALES DE *Pinus hartwegii* LINDL. EN EL VOLCÁN PICO DE ORIZABA** 1536
 Bernabe Colohua Citlahua, Armando Gomez Guerrero, Arian Correa Díaz y J. Jesús Vargas Hernández
-
- EVALUACIÓN DEL SECADO DE CULMOS DE *Guadua aculeata* Rupr. EN HORNO ELÉCTRICO A TEMPERATURA CONSTANTE** 1552
 Juan Quintanar Olguin y Martha Elena Fuentes López
-
- ESTIMACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS MEDIANTE VANTS EN UN RODAL BOSCOZO DEL PICO DE ORIZABA** 1563
 Martha Luisa Rodríguez Espinoza, Bernabé Colohua Citlahua y Teresa de Jesús Nicolás Silva
-
- ANÁLISIS HISTÓRICO DE OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES EN EL PICO DE ORIZABA MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA** 1575
 Luis Ramón Oltehua García, Bernabé Colohua Citlahua y José Luis López Ayala
-
- MÉTODOS DE PROPAGACIÓN PARA *Guadua aculeata* Rupr. ex Four. EN EL SITIO EXPERIMENTAL LAS MARGARITAS, HUEYTAMALCO, PUEBLA** 1586
 Pedro Hernández Zaragoza, Maribel Álvarez Muñoz y Martha Elena Fuentes López
-
- COMPONENTES TÉCNICOS FUNDAMENTALES DE UN PROTOCOLO RECTOR PARA MANEJAR LA DENSIDAD DE RODALES EN BOSQUES REGULARES** 1601
 Juan Carlos Tamarit Urias y Melchor Rodríguez Acosta
-
- ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ** 1617
 Rolando Misael Tlaxcala Méndez, M. del Carmen Pablo Mendoza y Rosalío López Morgado

Índice

FORESTAL

- CONSIDERACIONES PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN ASERRADEROS DE SIERRA CINTA** 1631
Martha Elena Fuentes López, Rogelio Flores Velázquez, Juan Carlos Tamarit Urias y Elba Rojas Díaz
- RELACIÓN DEL RENDIMIENTO CON VARIABLES ANATÓMICAS EN ETAPA JUVENIL EN HULE [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.]** 1645
Elías Ortiz Cervantes
- EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIES DE CEDRO ROJO (*Cedrela odorata* L.)** 1659
Olga Santiago Trinidad, Sandra Hernández Gertrudis y Edgar Hernández Máximo
- ¿CUÁNTO DISMINUYE LA TEMPERATURA A MEDIDA QUE NOS ALEJAMOS DEL NIVEL DEL MAR?: TASA DE CAMBIO VERTICAL DE LA TEMPERATURA Y SUS IMPLICACIONES** 1672
Pablo Antúnez y Guie´xhuuba Sánchez López
- ¿QUÉ TIPO DE COMPETENCIA AFECTA MÁS A LA POBLACIÓN DE *Abies hickelii* (FLOUS Y GAUSSEN), LA INTRA-ESPECÍFICA O LA INTER-ESPECÍFICA?** 1684
Pablo Antúnez e Iván Hernández Cruz

ACUÍCOLA Y PESQUERÍA

- PRODUCCIÓN ACUÍCOLA CON ALIMENTO SUSTENTABLE** 1695
Abimael Lagunes Domínguez, Diego Esteban Platas Rosado, Alberto Asiain Hoyos, Rosa Isela Castillo Zamudio, Juan Cristóbal Hernández Arzaba y Juan Carlos Martínez Núñez
- CRECIMIENTO DE *Nannochloropsis oculata* (DROOP, 1955) CON DIFERENTES MEDIOS NUTRITIVOS Y FOTOPERIODOS EN LABORATORIO** 1709
José Alfredo Solís Echeverría, Ángel Ancona Ordaz, Rodrigo Raúl García Torcuato, Juan Quintín Román Tiburcio y Rogelio Darío Balan Calan
- ACONDICIONAMIENTO ALIMENTICIO EN CAUTIVERIO DE JUVENILES DE SARGO *Archosargus probatocephalus*, WALBAUM, 1792, (TELEOSTEI: SPARIDAE)** 1723
Ma. de la Luz Merino Contreras, Froylán Sánchez Morales, Ma. de Lourdes Jiménez Badillo, Carlos Alfonso Álvarez González e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi
- EVALUACIÓN DEL CULTIVO COMERCIAL DEL CARACOL TEGOGOLO *Pomacea catemacensis* (Baker, 1922), GASTROPODA: AMPULLARIIDAE** 1739
Ma. De la Luz Merino Contreras, Froylán Sánchez Morales, Sara Coto Leal, Ian O. García Cruz e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi
- RELACIÓN ENTRE CORTICOSTERONA Y HORMONAS SEXUALES EN COCODRILOS SUBADULTOS (*Crocodylus moreletii*) DE CRÍA INTENSIVA** 1754
Adrián Gutiérrez Cervantes, Concepción Ahuja Aguirre, Lorena López deBuen, Sergio Viveros Peredo, Jorge Morales Mávil y Felipe Montiel Palacios
- PREPROCESAMIENTO DE DATOS ORIENTADO A LA CRIANZA DE TILAPIAS Y A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA** 1771
Alejandro Leyva Barrientos, Diego Esteban Platas Rosado, Virginia Lagunes Barradas, Irma Angélica García González y José Gustavo Leyva Retureta



Índice

ACUÍCOLA Y PESQUERÍA

- ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DEL BIENESTAR ANIMAL DE LA ACUICULTURA ENFOCADO A *Oreochromis niloticus*** 1785
José Axel Solano Aguilera, Alberto Asiain Hoyos, Juan Lorenzo Reta Mendiola, Alejandra Ramírez Martínez, Verónica Lango Reynoso y Antonio Campos Mendoza
- EVALUACIÓN MULTICRITERIO APLICADA A SIG PARA EL CULTIVO DE LANGOSTINO (*Macrobrachium rosenbergii*) EN VERACRUZ, MÉXICO** 1795
Karla Teresa González Figueroa, Juan Lorenzo Reta Mendiola, Verónica Lango Reynoso y Felipe Gallardo López
- ANÁLISIS DE LOS INDICADORES PESQUEROS EN LA PESCA DE CAMARÓN EN CIUDAD DEL CARMEN CAMPECHE** 1806
Armando T. Wakida Kusunoki, Rodolfo Castro Barbosa y Ana Gabriela Diaz Alvarez
- ELASMOBRANQUIOS ASOCIADOS AL ARRASTRE CAMARONERO EN TAMAULIPAS DE MAYO-AGOSTO DE 2019-2020** 1819
Jorge Luis Oviedo Pérez, Guillermo Acosta Barbosa, Heber Zea de la Cruz, Luis Enrique Martínez Cruz y Pánfilo Lagunes Rivera

DESARROLLO RURAL

- INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE COMPOSTAJE PARA MEJORAR LOS SUELOS DE LA AGRICULTURA FAMILIAR, VALLE DE TEOTIHUACÁN, ESTADO DE MÉXICO** 1839
Aníbal Quispe Limaylla, Enriqueta Tello García y Hortencia Guarneros Manoatl
- PROBLEMÁTICAS EN LA PRODUCCIÓN DE HULE (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) EN EL MUNICIPIO DE TEZONAPA, VERACRUZ: UN ANÁLISIS DE REDES SOCIALES** 1852
Juan Pablo Quevedo Rodríguez, Susana Isabel Castillo Martínez, Carlos Humberto Dimas García y María Edith Quezada Fadanelli
- CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMIDOR FINAL DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS LOCALES EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO** 1865
Gabriela Macip Hernández, Carmen Aridai Hernández Estrada y Patricia Devezé Murillo
- DESARROLLO RURAL COMUNITARIO CON PERSPECTIVA DE GÉNERO: HISTORIAS DE VIDA DE MUJERES CAFETICULTORAS** 1876
Andrea Guadalupe Estrella García, María del Carmen Álvarez Ávila, Esteban Escamilla Prado y Alberto Asiain Hoyo
- COLECTIVO DE MUJERES PARTÍCIPES DEL SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ZONA RURAL: ANÁLISIS DE INVOLUCRAMIENTO Y LIMITANTES** 1889
Irma Zitácuaro Contreras, José Luis Marín Muñiz y Sergio A. Zamora Castro
- SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PRODUCTORES DE MAÍZ DEL TRANSECTO ANGOSTILLO-XOCOTITLA** 1905
Mario Torres Becerril y Gustavo López Romero
- TIPIFICACIÓN DE PRODUCTORES DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN LA REGIÓN DE MAZOCO, ISLA, VERACRUZ** 1915
Francisco Javier Alfonso Estrada, Noel Reyes Pérez, Marycruz Abato Zárate y Doris Guadalupe Castillo Rocha



Índice

DESARROLLO RURAL

PROPUESTA DE SISTEMA BIOINGENIERIL DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE NEJAYOTE 1925

Damaris González Rivadeneyra, José Luis Marín Muñiz, Gonzalo Ortega Pineda y Sergio A. Zamora Castro

ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS A PARTIR DE HARINA DE SORGO (*Sorghum bicolor*) 1942

José Felipe Fausto Juárez Cadena, María Del Rosario Bernabé Salas, Alejandro Otlica Rosario y Karla Marina Flores Lozada

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

INNOVACIONES AL SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN VIVEROS FORESTALES Y TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA 1959

Miguel Ángel López López, Luis Enrique Martínez Velasco, Fanny Libertad González Torralva, Karla Ramírez Galicia, Guadalupe Montserrat Valencia Trejo, Rafael Ricardo Hernández Valera, Adriana Sánchez Guerrero y Ferman Juárez Mirón

TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE GUAYABA MEDIANTE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES HERBÁCEOS 1974

Jaime Negrín Ruiz, Wendy Espinoza Sandoval, Tania Romero Figueira, Sandra Luz Hernández Valladolid, Anastasio Nanco Ortiz y Monserrat Sorcia Morales

IMPORTANCIA DE LAS LEGUMINOSAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE GLIFOSATO Y OTRAS BONDADES 1988

Manuel Ángel Gómez Cruz, Laura Gómez Tovar y Remedios Jaqueline Sánchez López

APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) MODIFICADO CON EL SILENCIAMIENTO DEL GEN *TomLoxB* 1999

Wendy Marisol Mazón Abarca, Elizabeth León García, José Alberto Ramírez De León, Javier De la Cruz Medina y Hugo Sergio García Galindo

OBTENCIÓN DE CUBOS DE MANGO DESHIDRATADOS A PARTIR DE MANGO MANILA CLASIFICADO COMO REZAGA 2011

Nayeli Johana Ramírez Roano, Elizabeth León García, Alejandra Ramírez Martínez, Irving Rabasa, Héctor Cabrera Mireles y Javier De la Cruz Medina

MANUALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS: UN ESTUDIO COMPARATIVO 2025

Nelson Andrés Losada Rodríguez, José Luis Marín Muñiz y María del Carmen Célis Pérez

PROPUESTA DE MÓDULOS RÚSTICOS ACUAPÓNICOS DE TRASPATIO PARA EL COMBATE A LA POBREZA ALIMENTARIA 2040

Arturo García Saldaña, Alejandro Alonso López, Catalino Jorge López Collado, Francisco Osorio Acosta, Arturo Pérez Vázquez y Martín Alfonso Mendoza Briseño

CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES Y USO DE MANO DE OBRA EN EL SISTEMA MIAF DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA DE VERACRUZ 2052

Rigoberto Zetina Lezama, Ángel Capetillo Burela, Marco A. Reynolds Chávez y Ramón E. Camporredondo Mora



AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

LÍNEA SUPERIOR DE BOSQUE, UN INDICADOR DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS MONTAÑAS MEXICANAS	2070
Víctor Soto y Carlos M. Welsh	
MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN ARROYO MORENO	2088
Erika Michell Cazarín Luna, Itzel Galaviz Villa, Arturo García Saldaña, Virginia Alcántara Méndez, Irving David Pérez Landa e Isabel Araceli Amaro Espejo	
USO DE IMAGEJ® ANALIZADOR DE IMÁGENES PARA EVALUAR LA TOLERANCIA DE HONGOS FILAMENTOSOS AL GLIFOSATO	2099
Laura Marcela Durán Molina, Rosalba Argumedo Delira, Oscar García Barradas, María Esther Díaz Martínez, Mario J. Gómez Martínez, Guillermo Mendoza Cervantes y Ninfa Jiménez Acosta	
ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UN RODAL SEMILLERO DE <i>Cajanus cajan</i> EN UN CLIMA AW₂	2111
Manuel Villarruel Fuentes, Ignacio Garay Peralta, Rómulo Chávez Morales, Luis Alberto Montes Gutiérrez, José Carlos Rosado Santamaría, Juan Miguel Aguilar Cervantes y Carlos Eduardo Huerta Velázquez	
EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ESCORRENTÍA, ASOCIADOS A CICLONES TROPICALES Y CAMBIO CLIMÁTICO	2124
Claudio Hoyos Reyes, Uriel Antonio Filobello Niño, Ángel Emmanuel Zúñiga Tovar, María Inés Mota Gomez y Luis Renato Bello Delgado	
IDENTIFICACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN POBLACIONES DE <i>Vitis</i> spp. PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE SUELOS AGRÍCOLAS, EN LA REGIÓN DE LOS TUXTLA, VERACRUZ, MÉXICO	2141
Álvaro Palacios Mendoza, María del Refugio Castañeda Chávez y Humberto Mata Alejandro	
ANÁLISIS DEL PROCESO LLUVIA-ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ, MÉXICO	2155
Silvano Pozos Suarez, Claudia Araceli Dávila Camacho, Claudio Hoyos Reyes, María del Refugio Castañeda Chávez y Christian Reyes Velásquez	
PRINCIPIO PRECAUTORIO APLICADO AL ÁREA NATURAL PROTEGIDA ESTATAL ARROYO MORENO, VERACRUZ, MÉXICO: PERCEPCIÓN DE PROFESIONALES EN ESTUDIOS AMBIENTALES	2167
Sergio José Cházaro Martínez, Jesús Montoya Mendoza, Ángel Morán Silva, Sergio Cházaro Olvera, Fabiola Lango Reynoso y Rosa Elena Zamudio Alemán	
RECOLECTA Y CONSUMO DE HONGOS SILVESTRES EN DOS COMUNIDADES NAHUAS DE SOLEDAD ATZOMPA, VERACRUZ	2182
Wendy Rosales Rosales, A. Carolina Elizondo Salas y H. David Jimeno Sevilla	
APROVECHAMIENTO DE HONGOS SILVESTRES EN EL MUNICIPIO DE ATLAHUILCO, VERACRUZ	2193
Caballero Martínez Jessica, A. Carolina Elizondo Salas y H. David Jimeno Sevilla	
CARACTERIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PESCA COMERCIAL EN EL PUERTO DE ALVARADO, VERACRUZ	2207
José Antonio de Jesús Cotrina Hermida, Claudia A. Dávila Camacho, Verónica Lango Reynoso y Fabiola Lango Reynoso	

AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL MUNICIPIO DE COTAXTLA, VERACRUZ	2218
Sandra Luz Mendoza López, Isabel Araceli Amaro Espejo, Magnolia Salcedo Garduño, Rocío Guadalupe Bernal Rodríguez y Fabiola Lango Reynoso	
CONSORCIOS MICROBIANOS COMO MÉTODO DE REMEDIACIÓN PARA RESIDUOS DE UN SOLO USO: CASO CUBREBOCAS	2229
Luz María Campos García, María del Refugio Castañeda Chávez, David Reynier Valdés, Isabel Araceli Amaro Espejo y Fabiola Lango Reynoso	
PROPUESTA DE DOS NUEVOS INDICADORES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA “ARROYO MORENO”, VERACRUZ	2245
Marcos Hernández López, Fabiola Lango Reynoso, Olaya Pirene Castellanos Onorio, Leonardo Martínez Cárdenas, María del Refugio Castañeda Chávez, Jesús Montoya Mendoza y Mario Díaz González	
RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS PLAYAS TURÍSTICAS DE VERACRUZ-BOCA DEL RÍO	2255
Alejandra del Carmen Huesca Alvarado, Magnolia Grisel Salcedo Garduño, Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez, Itzel Galaviz Villa, Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez y Claudia Araceli Dávila Camacho	
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON HUMEDALES CONSTRUIDOS: IMPORTANCIA Y FUNCIONALIDAD CON CASO DE ESTUDIO EN PASTORÍAS, ACTOPAN, VERACRUZ	2270
José Luis Marín Muñiz, Irma Zitácuaro Contreras y Sergio Zamora Castro	
ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL SOBRE HUMEDALES URBANOS Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ESTUDIANTES	2283
Yennis Ramos Pérez, José Luis Marín Muñiz y María Elizabeth Hernández Alarcón	
EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA DE EXCRETAS DE VACA Y DE POLLO	2299
Heidi Arano Cruz, C.A. Sosa Villalobos, G. Domínguez Sánchez, Iván Valencia Salazar y Leonor Onofre Chacón	
PRESENCIA DE <i>Dirofilaria immitis</i> EN PERROS DE UNA CLÍNICA PRIVADA EN TUXPAN, VERACRUZ	2312
Yarezi De la Cruz Pacheco, Javier Cruz Huerta Peña, Daniel Sokani Sánchez Montes, Miguel Ángel Lammoglia Villagómez, Jorge Luis Chagoya Fuentes, José Alfredo Villagómez Cortés y Gabriela Romina Hernández Carbajal	
TRANSFORMACIONES MEDIOAMBIENTALES Y SUPERFICIALES DEL SISTEMA DE LAGUNAS INTERDUNARIAS DE LA CIUDAD DE VERACRUZ	2322
Cecilia Aurea Hernández Vidal, Fabiola Lango Reynoso, María del Refugio Castañeda Chávez, Isabel Araceli Amaro Espejo, Ángel Morán Silva y Mario Díaz González	
DIAGNÓSTICO SOBRE CONOCIMIENTOS DE HUMEDALES NATURALES, SUS SERVICIOS AMBIENTALES Y USO DE REDES SOCIALES PARA IMPLEMENTAR EDUCACIÓN AMBIENTAL	2334
Aarón López Roldán, José Luis Marín Muñiz y María Elizabeth Hernández Alarcón	
CLÚSTER ESTRATÉGICO, AGROPECUARIO E INDUSTRIAL CENTRO - VERACRUZ	2349
Edgar Nicolás Tivo Fernández y Federico Gabriel López Medel	

AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

- DIVERSIDAD ARBÓREA DEL CERRO MACULTÉPETL EN XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO** 2356
 Angélica Patricia Figueroa Solís, Samaria Armenta Montero, César I. Carvajal Hernández, Ofelia Andrea Valdés Rodríguez y María de los Ángeles Piñar Álvarez
-
- REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA REPRODUCCIÓN DE ESPORAS DE *Trichoderma* spp. EN SISTEMAS A PEQUEÑA ESCALA** 2367
 Juan Díaz Vela, Blanca Contreras Romero, María Fernanda Mirón Cortes, Aurora Vázquez Rodríguez, Naomi Martínez Martínez, José Luis Sánchez Hernández y Luis Antonio López Escobar
-
- Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. INOCULADA CON *Trichoderma* sp. UNA ALTERNATIVA PARA LIMPIAR SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS** 2380
 Caliope Mendarte Alquisira, Ronald Ferrera Cerrato y Alejandro Alarcón
-
- USO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA DESINFECCIÓN DE SEMILLAS DE *Tillandsia ionantha* PLANCH. *in vitro*** 2395
 Xareni Vázquez Flores, Edna Fabiola Valdez Hernández, Humberto Mata Alejandro y María del Refugio Castañeda Chávez
-
- ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DURANTE 2016- 2021 EN EL MUNICIPIO DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ** 2406
 Hirvin Gorospe Zetina, María Adelina Asís Cruz, Rodolfo Campos Tenorio, Francisco Javier Naranjo Luna, Manuel Chávez López, María Guadalupe De los Santos Zavala, Mario Adrián López Ortiz y Fabiola del Carmen Antonio Martínez
-
- BACTERIAS PATÓGENAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS AISLADAS DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS** 2423
 Elizabeth Herrera Utrera, José Antonio Fernández Viveros, Félix David Murillo Cuevas, Luis Carlos Sandoval Herazo y Jacel Adame García
-
- DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora* L.) ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE ZONGOLICA, VERACRUZ** 2433
 Aristarco Aguas Atlahua†, Eliseo García Pérez, Ismael Quiroz Guerrero, Jesús Antonio Quevedo Rodríguez y Cristal Arany Guerrero Ortiz
-
- EVALUACIÓN DE RELACIÓN C:N EN ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN PLANTAS ACUÁTICAS EN HUMEDAL ARTIFICIAL PROTOTIPO** 2444
 Dalia Guadalupe Mendoza López, Lucero Portilla Romero, Gabycarmen Rodríguez Navarrete, Isabel Araceli Amaro Espejo y Fabiola Lango Reynoso
-
- CULTIVO DE *Monascus purpureus* PARA OBTENER PIGMENTOS DE INTERÉS BIOTECNOLÓGICO** 2456
 Oswaldo Guzmán López, Juan José Zamora Palma, Alejandro Salinas Castro, César Espinoza Ramírez, Daniela Luis Yong, Mahatma Gandhi Landa Cadena y Elmira San Martín Romero
-
- CRECIMIENTO INICIAL EN DIÁMETRO BASE Y ALTURA TOTAL DE SEIS CLONES DE *Hevea brasiliensis* Müell. Arg** 2468
 María del Carmen Pablo Mendoza, Rolando Misael Tlaxcala Méndez y Olga Santiago Trinidad

Índice

AGROECOSISTEMAS

- USO Y MANEJO TRADICIONAL DE LOS SOLARES EN COMUNIDADES RURALES DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ** 2480
Juana Ortiz Timoteo y Odilón Sánchez Sánchez
-
- ÁFIDOS QUE DISEMINAN AL CTV RAZA SEVERA EN ÁLAMO, CAZONES Y TIHUATLÁN, VERACRUZ** 2497
Juan A. Villanueva Jiménez, Martha Escarlet Beristain Moreno y Francisco Osorio Acosta
-
- RENOVACIÓN DE LA COLECCIÓN DE TRABAJO DE PAPAYO (CTP) NATIVO DE MÉXICO MEDIANTE CONSERVACIÓN *ex situ in vivo*** 2510
David Sósol Reyes, Alejandra Soto Estada y Juan A. Villanueva Jiménez
-
- EVALUACIÓN DEL ANTAGONISMO DE *Bacillus* spp. SOBRE HONGOS FITOPATOGÉNICOS DE LIMA PERSA (*Citrus x latifolia* Tan.)** 2522
Teresa de Jesús Lira Hernández, Beatriz Gutiérrez Rivera, Ana Line Vázquez Larios, Paula Natalia Robledo Narváez, Francisco Hernández Rosas y Ángel Cárdenas Cágál
-
- HALLAZGOS DEL PROYECTO “ESTIMACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS EN DOS AGROECOSISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DE LA SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ”** 2533
Hilario García Martínez, Julio Díaz José, Rogelio Limón Rivera y Susana Isabel Castillo Martínez
-
- PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE LIMA PERSA (*Citrus latifolia* T.) EN LA REGIÓN CENTRO DE VERACRUZ** 2548
Ángel Cárdenas Cágál, Beatriz Gutiérrez Rivera, Francisco Hernández Rosas, José Andrés Herrera Corredor, Francisco Osorio Acosta y Josafhat Salinas Ruiz
-

Prólogo

La Trigésima Quinta Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria de Veracruz 2023 se realizó del 25 al 27 de octubre de 2023, en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, con la participación de diferentes instituciones de investigación y enseñanza del ámbito estatal, nacional e internacional.

La reunión científica en comento, representa un foro técnico científico consolidado y de reconocido prestigio en México, en el que se presentan resultados de investigación, validación y transferencia de tecnología, preponderantemente de aplicación para la región sur-sureste de México.

En la reunión se presentaron en total 196 trabajos que fueron seleccionados, a través de un minucioso proceso de revisión técnica realizado por un comité científico, integrado por reconocidos investigadores adscritos a distintas instituciones académicas y de investigación participantes como organizadoras.

Los trabajos se clasificaron como disciplinarios para los subsectores agrícola, pecuario, forestal y acuícola – pesquero, así como en temas estratégicos de agroecosistemas, desarrollo rural y ambiente, recursos naturales y cambio climático.

El objetivo principal de esta reunión científica es difundir los resultados recientes de investigación y apoyos a la transferencia de tecnología, lo cual se realizó mediante la presentación de trabajos en forma oral y en cartel. De ellos, y para coadyuvar al cumplimiento del objetivo principal, se elaboró el presente libro científico intitulado: “Ciencia y tecnología para un campo productivo y sustentable” con número de registro ISBN: 978-607-37-1573-7, el cual contó también con un proceso de edición, realizado por el Comité Editorial del Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias (INIFAP); y esto para garantizar la calidad del presente libro.

Esta publicación se pone a disposición de investigadores, académicos, profesionistas, técnicos y estudiantes, con la finalidad de servir como una referencia confiable de consulta y fortalecimiento de los vínculos interinstitucionales.

Dr. Rubén Santos Echeverría
Director del Centro de Investigación Regional
Golfo Centro-INIFAP





AGRÍCOLA





PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.) VARIEDAD QUERÉTARO CON ABONOS ORGÁNICOS

Gloria Esperanza De Dios León¹, Yaqueline Antonia Gheno Heredia^{1*}, María Alva Ángel Lara¹, Sergio Castillo Martínez¹ y Juan Eduardo Sosa Marcos¹

Resumen

En la actualidad existe una alta demanda a nivel mundial de alimentos obtenidos con manejos agronómicos y prácticas ecológicas que den como resultado productos inocuos para cuidar la salud humana y que permitan conservar el medio ambiente, utilizando los recursos naturales de manera sustentable y manteniendo los suelos en buen estado físico, químico y biológico. El tomate de cáscara es un producto agrícola de uso frecuente en la gastronomía de nuestro país; introducirlo como cultivo en regiones donde no se ha sembrado, brinda oportunidades de comercio y alternativas de producción. Por lo mencionado anteriormente, el objetivo del presente trabajo fue conocer el comportamiento agronómico del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) variedad Querétaro con un manejo agroecológico y condiciones de cielo abierto. Se usó un diseño completamente al azar con seis tratamientos (Tres densidades de siembra y dos niveles de abonos orgánicos: T1=D1SOL, T2=D1LIQ, T3=D2SOL, T4= D2LIQ, T5= D3SOL y T6= D3LIQ) cada uno con tres repeticiones. El tomate fue trasplantado a los 15 días después de la siembra (DDS) en camas preparadas a doble excavación. Los datos se analizaron con el programa R Commander®; de acuerdo con el análisis de varianza, no se observaron diferencias significativas en ninguna de las variables evaluadas, sin embargo, numéricamente sobresalen algunos datos; la mayor producción y rendimiento de obtuvieron con la densidad de siembra de 20 cm combinada con el abono sólido con 1.90 kg y 10.27 t/ha, respectivamente. A los 65 DDS la mayor altura se observó con el tratamiento D3SOL con 153. 14 cm; el mayor diámetro ecuatorial del tomate fue encontrado con el tratamiento D3SOL con 4.05 cm. En términos generales el abono sólido observó mejores resultados en el tomate de cáscara; además, los datos obtenidos son similares a los reportados por otros investigadores en evaluaciones con abonos orgánicos.

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba – Córdoba. Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: ygheno@uv.mx



Palabras clave: densidad de siembra, manejo agroecológico, abono sólido, abono líquido

Introducción

El tomate verde de cáscara (tomatillo, tomate de milpa) el cual pertenece a la familia de las solanáceas y al género *Physalis*, es una hortaliza a la cual se le ha dado uso desde épocas muy antiguas, desde antes de la conquista de México. Este vegetal tiene su origen en el continente americano en donde se encuentran 90 especies con distribución desde el norte en los Estado Unidos de América hasta el sur en el país de Argentina. Se le atribuye a México como centro de domesticación y origen, albergando 70 especies silvestres, de las cuales solo *Physallis ixocarpa* Brot., *P. Philadelphica* Lam. y *P. angulata* L., es cultivada (Vargas *et al.*, 2015). La mayor parte de estas especies se localizan en lugares silvestres, en los últimos años algunas prácticas agrícolas como la intensa aplicación de productos químicos y la implementación de sistemas pecuarios en áreas de amplia vegetación como bosques y selvas, han logrado impactar de forma negativa a la diversidad genética que existe sobre este género (Santiaguillo *et al.*, 2012).

El tomate de cáscara se produce comercialmente en 30 estados del territorio mexicano siendo los estados principales: Zacatecas, Sinaloa, Puebla, Jalisco y el Estado de México y para el año 2020 la superficie cosechada en todo el país fue de 38,865 hectáreas con una producción de 765, 394 t y rendimiento de 19.7 t/ha (SIAP, 2021); esta especie ocupa el quinto lugar nacional entre los cultivos hortícolas (SAGARPA, 2015). La producción obtenida se consume a nivel nacional y también se exporta a otros países que de acuerdo a datos de la SAGARPA (2022), en el año 2020 México exportó tomate verde a Estados Unidos, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Suiza, Reino Unido, Kuwait y Dinamarca.

El principal uso de esta especie es alimenticio, ya que forma parte importante en la dieta habitual de los mexicanos, aunque es necesario estudiar propiedades alternativas como la medicinal, la ornamental y la nutraceutica, pues algunas especies del género pudieran tener cualidades importantes en este sentido; es un fruto fundamental y básico que no puede faltar en la elaboración de salsas muy demandadas y como ingrediente exquisito de una gran variedad de platillos tradicionales y de vanguardia. Su valor nutricional y utilidad como fuente de alimento se infiere a partir del análisis de los elementos nutritivos (Tardío *et al.*, 2011).



Actualmente en nuestro país, en lugares como Xochimilco al sur de la ciudad de México los productores chinamperos que realizan actividades agrícolas cultivan diversas hortalizas como espinaca, acelga, lechuga, betabel, zanahoria, cebolla y plantas de ornato, con una producción agroecológica libres de herbicidas químicos, para ello utilizan diferentes prácticas de labranza manual, alta densidad de siembra y vinagre blanco con sal, abonos orgánicos, por citar algunos. El uso de los abonos orgánicos está tomando un gran auge, hoy en día hay una mayor demanda por el consumo de productos alimenticios obtenidos de manera más limpia desde el punto de vista agroecológico; por lo que se abre la oportunidad de disminuir el uso de fertilizantes químicos y un aumento por las enmiendas o abonos orgánicos. Dentro de los cultivos de mayor demanda se encuentran las hortalizas para consumo fresco principalmente formando una parte importante en la alimentación diaria de la población mexicana, por lo que surge la necesidad de producirlas de una manera sostenible a través del aprovechamiento de los recursos que para algunas industrias son considerados de “desecho” y al mismo tiempo contribuyendo al cuidado del ambiente.

Cuando se implementan prácticas agroecológicas se pueden consumir con toda seguridad los alimentos que se producen en el campo, además de que se puede contribuir a la conservación de diferentes especies de polinizadores, plantas silvestres, entre otros organismos que habitan en el medio ambiente natural, y sirven como indicador de un sistema amigable con el medio ambiente (SNICS, 2017). Se debe seguir fomentando la producción de alimentos de forma responsable y buscar formas de producción sustentables tanto de fertilización, control de plagas y enfermedades, prácticas agrícolas para lograr reducir los índices de contaminación presentes en el suelo y evitar que se siga dañando el ambiente en general. Por lo que el objetivo del presente estudio fue registrar el comportamiento agronómico y calidad química de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) variedad Querétaro con un manejo agroecológico y condiciones de cielo abierto, en el huerto universitario de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Campus Peñuela.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El experimento se realizó en el huerto de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana de la Región Córdoba-Orizaba, Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz,



México, que forma parte de la UMA-Universitaria SEMARNAT- UMA-IN-VIV-0290-VER/19 instalada en 2019. El sitio se ubica en las coordenadas geográficas 18° 51' 39.42" de Latitud Norte y 96° 54' 10.52" de Longitud Oeste a una altura de 746 msnm. La zona pertenece a provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur y subprovincia Llanura Costa Veracruzana; la geología de tipo de material Aluvial y la unidad geomorfológica es de planicie exógeno acumulativo.

Especie evaluada y manejo del cultivo

Se evaluó el cultivo de tomate de cáscara variedad Querétaro (*Physalis ixocarpa* Brot) en condiciones de cielo abierto; la semilla se sembró en charolas germinadoras para posteriormente ser trasplantadas a los 24 días después de la siembra. En el área experimental, se aplicó cal agrícola para posteriormente hacer nueve camas a doble excavación (3.70 m² cada una); el riego se aplicó de acuerdo a las necesidades del cultivo. Igualmente se administró un repelente producido a base de ajo, chile y cebolla cada tercer día después de la primera aplicación para controlar poblaciones de insectos de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y para controlar la palomilla del tomate (*Tuta absoluta*) se aplicó un repelente hecho a base de hojas de neem (*Azadirachta indica*). Las arvenses se controlaron de forma manual y se realizaron aporques a las plantas para protección de raíces, así como el tutoreo a los 14 días después del trasplante (DDT) con cinta de rafia y estacas de madera.

Diseño y unidad experimental

Se usó un diseño completamente al azar bifactorial; la unidad experimental consistió en una línea con longitud de 3.70 metros en la cual, dependiendo de la densidad de siembra, fue la distancia a la que se trasplantó la plántula y entre líneas se usó la distancia de 50 cm; se usaron un total de 18 unidades experimentales y el área total del experimento fue de 55 m².

Tratamientos

Se evaluaron seis tratamientos que resultaron de la combinación de los dos factores: Tres densidades de siembra: 30, 40 y 50 cm, respectivamente (9,009 plantas/ha, 6, 757 plantas/ha y 5,405 plantas/ha, respectivamente para cada densidad) y dos tipos de abonos orgánicos: sólido y líquido: Tratamiento 1: Densidad1*Abono sólido (D1SOL), Tratamiento 2: Densidad1*Abono líquido (D1LIQ), Tratamiento 3: Densidad2*Abono sólido (D2SOL), Tratamiento 4: Densidad2*Abono líquido (D2LIQ), Tratamiento 5: Densidad3*Abono sólido (D3SOL) y Tratamiento 6: Densidad3*Abono líquido (D3LIQ), cada tratamiento con tres repeticiones. Se aplicaron 70 gramos de abono sólido (producido con estiércol de bovino) por planta de acuerdo con los tratamientos 1, 3 y 5, los suministros se realizaron en intervalo de 15 días después de la primera aplicación. Para los tratamientos 2, 4 y 6 se



aplicó el abono líquido tipo “Biol” utilizando la dosis de 6 L/ha; la aplicación fue foliar; en los dos casos, se realizaron cuatro aplicaciones en total con intervalo de 15 días después de la primera aplicación.

Muestreos

El muestreo de altura de planta se realizó en intervalos de quince días con un total de cuatro (20, 35, 50 y 65 DDT). El diámetro ecuatorial, producción y rendimiento se midieron en tres cortes que fueron realizados a los 55, 70 y 92 DDT; el tomate fue pesado sin cáscara (en gramos).

Análisis estadístico

Para el análisis de varianza se utilizó el programa estadístico R Commander® versión R x64 4.0.5; se realizó la comparación de medias con la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$). Se verificaron los supuestos de normalidad por el estadístico de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965) y homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett para confirmar el uso de estadística paramétrica.

Variables evaluadas

Para medir la producción por parcela y rendimiento se usó una báscula graduada en kg y los muestreos correspondieron a diferentes días después del trasplante debido a que los frutos no se desarrollaron en una sola fecha: la altura de la planta se midió con apoyo de regla graduada en cm y los diámetros ecuatoriales y de tallo se midieron con vernier.

Resultados y Discusión

No se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables agronómicas evaluadas; sin embargo, numéricamente sobresalen algunos datos. En el Cuadro 1 se muestran los promedios de producción y rendimiento del tomate de cascara; se observa que el tratamiento 1 (DISOL) obtuvo el mayor peso de cosecha con un promedio de 1.90 kg y un rendimiento de 10.27 t/ha; y el tratamiento con menor producción fue el 3 (D2SOL= Densidad 2 y abono solido) con 1.16 kg y 6.25 t/ha de producción y rendimiento, respectivamente a los 92 DDT, cuando ya se habían realizado las cuatro aplicaciones de los dos abonos.

López (2012) evaluando tomate variedad Río Grande no encontró diferencia significativa entre tratamientos, uno con ácidos húmicos y un control; reporta rendimientos promedios de 9.36 y 11.60 t/ha, respectivamente sin especificar edad de la planta, observando que en ese estudio el testigo observó



un mejor rendimiento, numéricamente. Aguirre y Goyes (2017) encontraron diferencia entre tratamientos testigo y abonos orgánicos de origen animal y vegetal (ganado vacuno, gallinaza, cuyinaza, pulpa de frutas) en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill); obtuvieron un mayor rendimiento el tratamiento uno (aplicación de 500 gramos de abono orgánico al momento de la siembra) con rendimiento de 6 kg/planta comparado con el tratamiento 3 (testigo); argumentan que hay respuesta positiva a la aplicación de abonos orgánicos en el cultivo de tomate bajo condiciones controladas y que este se debe de aplicar de preferencia al momento de la siembra, inclusive antes para que se mineralice y sea aprovechado por la planta ya que su asimilación es tardía.

Cuadro 1. Producción y rendimiento del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) a los 92 DDT.

Tratamiento	Producción (kg)	Rendimiento (t/ha)
1. D1SOL	1.90 ^a	10.27 ^a
2. D1LIQ	1.41 ^a	7.62 ^a
3. D2SOL	1.16 ^a	6.25 ^a
4. D2LIQ	1.76 ^a	9.52 ^a
5. D3SOL	1.55 ^a	8.36 ^a
6. D3LIQ	1.83 ^a	9.94 ^a
EE±	0.73	3.93

^aMedias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). D1=Densidad 1 (30 cm), D2= Densidad 2 (40 cm), D3=Densidad 3 (50 cm), SOL= Abono sólido, LIQ= Abono líquido, EE±= Error estándar, DDT= Días después del trasplante

El Cuadro 2 muestra que numéricamente, en las primeras dos fechas de evaluación, el tratamiento 1 (D1SOL) observó los mejores resultados en altura de la planta, hasta el momento se habían realizado dos aplicaciones de fertilización orgánica de la primera habían transcurrido 30 días y de la segunda 15.

Cuadro 2. Altura (cm) del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) en cuatro fechas de muestreo con aplicación de abonos orgánicos.

Tratamiento	20 DDT	35 DDT	50 DDT	65 DDT
1. D1SOL	37.02 ^a	94.65 ^a	115.84 ^a	142.12 ^a
2. D1LIQ	33.79 ^a	91.00 ^a	115.45 ^a	137.55 ^a
3. D2SOL	27.42 ^a	84.68 ^a	114.23 ^a	149.31 ^a



Tratamiento	20 DDT	35 DDT	50 DDT	65 DDT
4. D2LIQ	31.10 ^a	85.68 ^a	111.67 ^a	145.20 ^a
5. D3SOL	30.20 ^a	86.70 ^a	115.92 ^a	153.14 ^a
6. D3LIQ	34.50 ^a	92.68 ^a	118.96 ^a	131.73 ^a
EE±	3.42	6.21	7.50	9.47

^a Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). D1=Densidad 1 (30 cm), D2= Densidad 2 (40 cm), D3=Densidad 3 (50 cm), SOL= Abono sólido, LIQ= Abono líquido, EE±= Error estándar, DDT= Días después del trasplante.

Para la tercera fecha (50 DDT) el tratamiento 6 (D3LIQ) registró 118.96 cm de altura teniendo tres aplicaciones de abonos; en el último muestreo (65 DDT) se presentó una mayor elongación en el tratamiento 5 (D3SOL) con 153.14 cm, teniendo a la fecha cuatro suministros de abonos orgánicos.

Los datos obtenidos concuerdan con el autor López (2012) evaluando tomate variedad Río Grande el cual no encontró diferencia significativa entre tratamientos control y uno con ácidos húmicos y reporta alturas de 77.44 y 70.64 cm, respectivamente sin especificar edad de la planta. Pérez *et al.* (2020) al evaluar tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando diferentes dosis de estiércol de bovino, la altura de planta no fue afectada el abono orgánico; las alturas registradas para esta hortaliza fueron de un rango de 190-195 cm sin especificar la edad del cultivo.

La Figura 1 muestra el comportamiento de la altura de planta de acuerdo a las fechas de muestreos; se observa el comportamiento normal de esta variable conforme avanza la edad de la planta (relación directamente proporcional); este proceso está relacionado con el crecimiento del vegetal al definirse como un incremento irreversible en el tamaño de las plantas el cual a menudo es acompañado por procesos de morfogénesis y la diferenciación celular y que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, la elongación, la diferenciación, entre otros, y que además está influenciada por factores como temperatura, intensidad de luz, densidad de población, calidad de la semilla, disponibilidad de agua y de nutrientes (Mohr, 2012; Taiz & Zeiger 2006;), por lo que la planta tiene más tiempo de aprovechar los recursos y crecer.

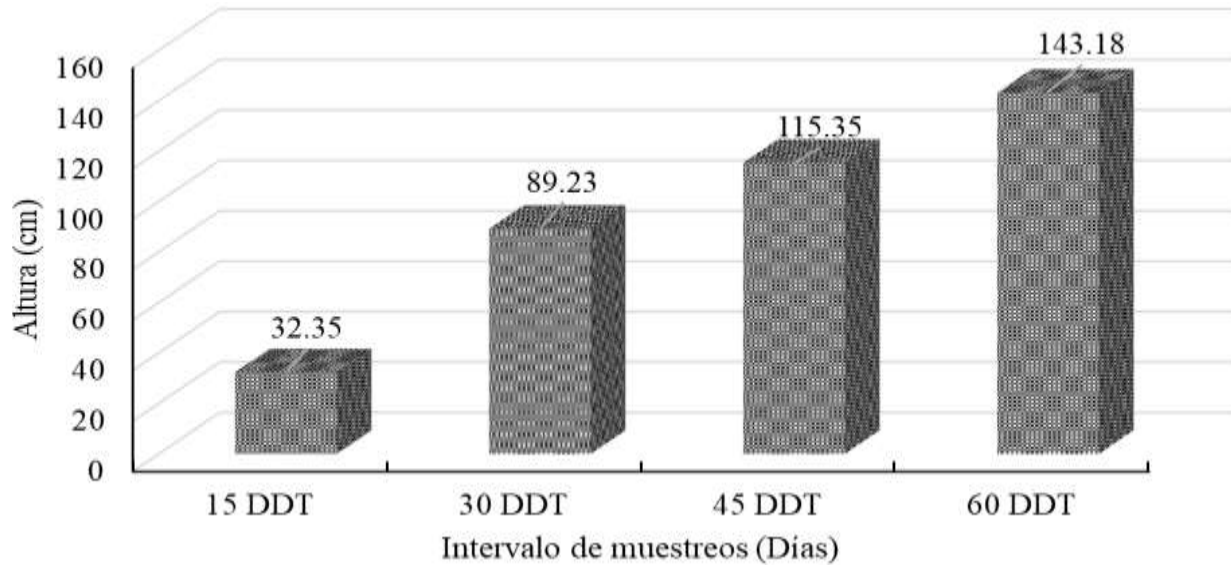


Figura 1. Efecto diferenciado de la altura de la planta con relación a los días después del trasplante (DDT).

Respecto al diámetro ecuatorial del fruto de tomate (Cuadro 3), numéricamente el tratamiento con la densidad uno y abono líquido mostró el mayor diámetro en la primera fecha de muestreo con 3.52 cm y el menor, se encontró con el tratamiento con la densidad 1 y abono sólido (2.81 cm); en esta primera fecha, en el tratamiento de la densidad 2 y abono sólido aún no había producción de tomates, pero ya se habían realizado cuatro aplicaciones de abonos orgánicos. Para el segundo muestreo (70 DDT) se pudo registrar que el tratamiento 3 (D2SOL), obtuvo frutos con mayor diámetro ecuatorial con 3.24 cm, y para la última toma de datos 92 DDT fue en el tratamiento 5 (D3SOL) el cual que presentó 4.05 cm de diámetro.

Cruz (2015), evaluó tomate de cáscara con aplicación de abonos orgánicos, no observó diferencia significativa en el diámetro ecuatorial del fruto y muestra promedios de 2.69, 2.79 y 2.83 cm, respectivamente en tratamientos testigo, lombricomposta + humus y lombricomposta, respectivamente; la evaluación la realizaron a los 73 días después de la siembra, estos resultados son similares a los encontrados en este experimento en todos los tratamientos a los 70 DDT. López (2012) evaluando tomate variedad Río Grande no encontró diferencia significativa entre tratamientos control y uno con ácidos húmicos, reporta diámetro ecuatorial promedio de 4.79 y 4.78 cm, respectivamente sin especificar edad de la planta.



Cuadro 3. Diámetro ecuatorial (cm) del fruto del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) en tres fechas de muestreo.

Tratamiento	55 DDT	70 DDT	92 DDT
1. D1SOL	2.81 ^a	2.90 ^a	4.00 ^a
2. D1LIQ	3.52 ^a	2.75 ^a	3.82 ^a
3. D2SOL	-----	3.24 ^a	3.70 ^a
4. D2LIQ	2.61 ^a	3.07 ^a	3.97 ^a
5. D3SOL	3.29 ^a	2.82 ^a	4.05 ^a
6. D3LIQ	3.23 ^a	2.96 ^a	3.91 ^a
EE±	0.35	0.37	0.39

^a Medias con letras iguales dentro de la misma columna, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$). D1=Densidad 1 (30 cm), D2= Densidad 2 (40 cm), D3=Densidad 3 (50 cm), SOL= Abono sólido, LIQ= Abono líquido, EE±= Error estándar, DDT= Días después del trasplante.

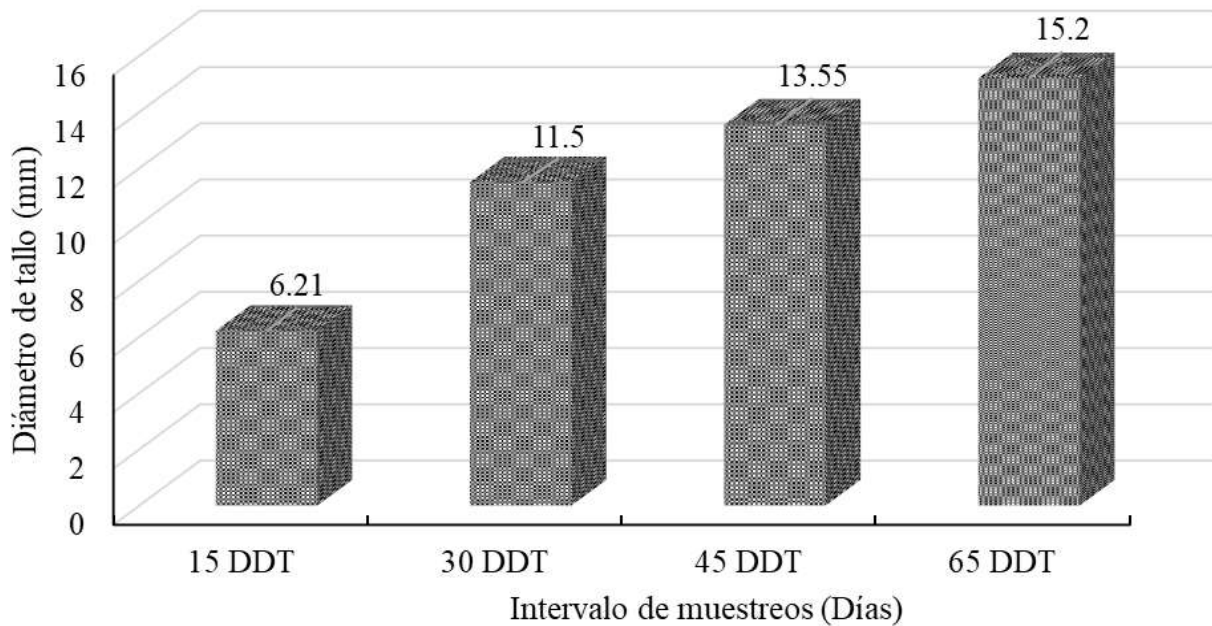


Figura 2. Efecto diferenciado del diámetro del tallo con relación a los días después del trasplante.

La Figura 2, muestra la relación directamente proporcional entre el diámetro del tallo y los días después del trasplante; se observa el comportamiento esperado ya que está comprobado que entre más edad tenga la planta, mayor tiempo tiene para el crecimiento y desarrollo celular.

En la primera fecha (15 DDT) el diámetro fue de 6.21 mm para resultar con 15.2 mm en la última fecha (65 DDT). Las funciones del tallo resultan ser fundamentales para un adecuado crecimiento y desarrollo de la planta. Por lo general, funciones se encuentran asociadas al transporte de agua y



nutrientes en las plantas y al soporte estructural; este último tiene como propósito hacer que las flores, hojas y frutos de las plantas se mantengan en su lugar y no caigan antes de tiempo (UNP, 2020). Anyega *et al* (2021) evaluando tomate con diferentes tipos de fertilizantes, reportan que el diámetro del tallo fue mayor conforme avanzaba la edad de la planta con compost hecho a base de bagazo de cervecería; el promedio a las 4, 6, 8 y 10 semanas de siembra de 5.6, 8.1, 8.9 y 9.8 mm, respectivamente.

Conclusiones

Se conoció el efecto de los dos abonos orgánicos (sólido y líquido) en combinación con las tres densidades de siembra en la producción del tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot) variedad Querétaro, sembrado a cielo abierto en un área perteneciente a la Región de las Altas Montañas del Estado de Veracruz. En términos generales, numéricamente el tratamiento 1 (DISOL= Densidad uno sólido), mostró mejor comportamiento en las variables de producción y rendimiento. Los resultados obtenidos en todas las variables evaluadas en este cultivo son similares a los reportados por otros autores por lo que se puede concluir que el manejo agroecológico del experimento fue el pertinente incluyendo el manejo orgánico de plagas y enfermedades.

Literatura Citada

Aguirre, O. M. T. y F. R. Goyes P. 2017. Implementación de abonos orgánicos en el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo invernadero en la finca la Esperanza, vereda el Carmelo, municipio de Mallama, Departamento de Nariño. Tesis de Licenciatura. Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales. Bogotá, Colombia. 51 p.

Anyega, O. A, K. Nicholas. K., D. Beesigamukama, Ch. Ghemoh J., K. Nkoba., S. Subramanian *et al*. 2021. Black Soldier Fly-Composted Organic Fertilizer Enhances Growth, Yield, and Nutrient Quality of Three Key Vegetable Crops in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in plant science* 12:1-14.



- Cruz, K. Y. P. 2015. Análisis comparativo de calidad suelo y productividad en dos sistemas de cultivo de tomate verde (*Physalis ixocarpa*) en Calakmul, Campeche. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur. Campeche, México. 64 p.
- López, P. N. S. 2012. Efecto de fertilizantes orgánicos sobre el rendimiento y calidad de tomate variedad Río Grande. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 47 p.
- Mohr, H. P. S. 2012. Plant physiology. Hardback. Springer Science & Business Media. Berlín, Alemania. 629 p.
- Pérez, V. E. A., R. Betancourt G., L. A. Valdez A., J. A. González F., B. A. Puente U., S. A. Lozano M. *et al.* 2020. Effects of the Morphology, Surface Modification and Application Methods of ZnO-NPs on the Growth and Biomass of Tomato Plants. *Molecules* 25:1-11.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Variedades de uso común. Un breve mirar a la riqueza mexicana. Tomate de cáscara. Volumen II. SAGARPA, SNICS, SINAREFI. Tlalnepanltla de Blas, Estado de México. México. 52 p.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2022. Tomate de cáscara. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tomate-a-la-mexicana?idiom=es#:~:text=Zacatecas%2C%20Sinaloa%20y%20Jalisco%20son%20los%20principales%20productores> [consultado el 14 de julio de 2023].
- Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika* 52 (3/4): 591-611.
- Santiaguillo, H. J. F., O. Vargas P., O. Grimaldo J., N. Magaña L., F. Caro V., F., A. Peña L. *et al.* 2012. Perfil del diagnóstico de la red tomate de cáscara. Prometeo Editores S.A. de C.V. SAGARPA, SNICS, SINAREFI. Universidad Autónoma Chapingo. México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México. 48 p.



DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE SANDÍA (*Citrullus lanatus*)

Miguel Ángel Rodríguez Chiunti^{2*}, Arturo Heribia Virues² y Adán Vidal Gamboa²

Resumen

Existe la necesidad de una mayor productividad de los cultivos por unidad de superficie debido al crecimiento de la población mundial y, al mismo tiempo, de promover el cuidado del medio ambiente mediante la utilización de energías limpias. Uno de los posibles enfoques para cubrir este tipo de necesidades son los sistemas de riego mediante el suministro de energía solar fotovoltaica. Considerando la disponibilidad de radiación solar y la carencia de energía eléctrica en el área experimental de estudio, se justifica el diseño de un sistema de riego por goteo mediante un mecanismo solar fotovoltaico para el cultivo de sandía en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz, donde la estimación de la radiación solar se realizó por medio de la ubicación geográfica y para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Blanney-Cridle, los datos del coeficiente de cultivo (K_c) se tomaron de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO. El objetivo general de esta investigación es diseñar un sistema de riego por goteo en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) que funcione a través de la energía solar fotovoltaica en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz, fomentando con esto el uso de energías renovables amigables con el medio ambiente en la agricultura. El análisis de los resultados indica que durante los meses que comprendió el desarrollo de proyecto de investigación se presentó un promedio de $11.18 \text{ MJ}\cdot\text{m}^2/\text{día}$ ($3.10 \text{ Kwh}/\text{m}^2/\text{día}$), se utilizaron dos paneles solares de 330 W cada uno para hacer funcionar la bomba de riego de 400 W la cual se encargó de proporcionar la demanda hídrica diaria promedio de $2.02 \text{ mm}/\text{planta}/\text{día}$ lo que equivale a aplicar $1.55 \text{ L}/\text{planta}/\text{día}$ de acuerdo a la superficie de influencia de cada planta de sandía de 0.81 m^2 .

Palabras clave: evapotranspiración, hídrico, coeficiente, goteo, renovable

² Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan. *Autor de correspondencia: agromiguelrc@gmail.com



Introducción

A nivel mundial, ya se han iniciado proyectos que solarizan diferentes tipos de riegos presurizados. En Europa, el proyecto Maslowaten, activo en 4 países, desarrolla 5 demostradores para 5 tipos diferentes de riego y genera un total de 820 KWP; también en Chile ya hay proyectos que utilizan energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo; otros países como Colombia también cuentan con proyectos similares. En Argentina, específicamente Buenos Aires se ha presentado un proyecto que utiliza energía solar para alimentar sistemas de riego por goteo aplicados a campos de cebolla alcanzando una eficiencia en el uso del agua del 90%, superando el 50% alcanzado con riegos por melga, permitiendo además de optimizar el recurso energético. En México, el uso de energía solar se ha ido implementando con el fin de brindar una solución y tecnificar de cierta forma los sistemas de producción agrícola. México cuenta con una capacidad para generar energía eléctrica constituida en su mayoría por hidroeléctricas, estas forman cerca del 60% del suministro total para abastecer la demanda a nivel nacional, esto debido a la gran cantidad de fuentes de recurso hídrico con el cual cuenta el país. Cerca del 26% corresponde a la generación de energía eléctrica a partir de la utilización de combustibles fósiles, como el carbón, gas y petróleo, de los cuales se tiene un tiempo estimado de reserva entre 15 y 100 años; el porcentaje restante (16%) corresponde a las fuentes de energía renovable menos usadas en México, como lo son la eólica, biomasa y energía solar. En la región de la Cuenca baja del Papaloapan no existe registro que sustente el uso de la energía solar fotovoltaica para el funcionamiento de sistemas de riego por goteo en algún tipo de cultivo, por tal motivo, con este proyecto de investigación se marcaría un precedente en el ámbito agrícola de la región utilizando energías renovables. La Agencia Internacional de Energía (AIE) prevé que la eficiencia energética y las energías renovables contribuirán a la mitigación del cambio climático en el 2050. El agua que se emplea en la actualidad para el riego de tierras agrícolas representa el 70% del consumo de este líquido a nivel mundial y se estima que el 60% de los alimentos extra que son requeridos, tales como cereales, frutas y verduras, para garantizar la alimentación mundial en el futuro, tendrán que provenir de la agricultura bajo riego, donde los países en desarrollo disponen del 75% del área de riego. La seguridad alimenticia del mundo depende del mejoramiento de las técnicas de riego, entre otros factores de los pequeños agricultores en países en desarrollo, estos países cultivan la mitad del área agrícola mundial; sin embargo, el 80% carece de acceso a los servicios eléctricos. Los sistemas de riego localizados contribuyen al mejor rendimiento de la eficiencia del manejo del agua debido a que las dosis relativamente pequeñas multiplican la



producción en un 25%; pero es evidente la necesidad de perfeccionar el diseño y manejo de éstos para que se logre mayor rentabilidad. El riego por goteo se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos (Van Campen *et al.*, 2000). El riego de manera general se adapta a las pequeñas áreas de terreno y a los sistemas de riego fotovoltaicos (Van Campen *et al.*, 2000). Esta característica es de gran importancia, debido a que en la actualidad crece la importancia económica de los sistemas fotovoltaicos (Van Campen *et al.*, 2000). En este proyecto se plantea el diseño de un sistema de riego por goteo en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*) en Cosamaloapan, Veracruz; usando como fuente energética la energía solar fotovoltaica, con el fin de contar con una solución sustentable que mejore el rendimiento de la actividad agrícola en la región. Por otro lado, la sandía es una fruta de la familia Cucurbitaceae originaria de África y sur de Asia de importancia comercial en nuestro país por su alto valor nutritivo y la buena rentabilidad que ofrece al productor, teniéndose zonas agrícolas aptas para su cultivo. En México, el principal estado productor es Sonora, quien aportó 36.7% del volumen nacional, seguido de Jalisco con 10.3% en el año 2021. Aun cuando Sonora es líder, la sandía se produjo en 369 municipios y Oaxaca es la entidad con mayor número de municipios productores de este fruto con 44, seguido de Yucatán con 43 y Veracruz con 42. En el sureste de México se cultiva en condiciones de temporal, de humedad residual y con riego por goteo. Una alta proporción del fruto cosechado se comercializa en fresco para consumo directo en el mercado local, nacional e internacional; sin embargo, la demanda de frutos de alta calidad excede la oferta actual de los productores. La sandía prefiere climas templados a cálidos, tolerando bien las sequías y el frío, con temperaturas óptimas para su crecimiento de entre 20 y 28°C, el sustrato debe ser franco o franco arenoso con buen drenaje, el suelo tiene que estar húmedo y fertilizado. En este sentido el objetivo general de esta investigación fue diseñar un sistema solar fotovoltaico para riego por goteo en el cultivo de sandía que funcione a través del uso del aprovechamiento de la radiación en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz, fomentando con esto el uso de energías renovables amigables con el medio ambiente en la agricultura.



Materiales y Métodos

Localización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el año 2022, en un área experimental de 308 m², en el Instituto Tecnológico Superior de Cosamaloapan (ITSCO), correspondiente a la carrera de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, en el municipio de Cosamaloapan, Veracruz, ubicado a 18°21'7.70" de latitud Norte y 95°48'38.42" longitud Oeste, a una altitud de 10 m. La zona se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano y otoño, con una precipitación anual de 1659 mm, con humedad relativa promedio de 75 a 80% y una temperatura media anual de 25.8°C, asimismo, una radiación promedio anual de 1825 Kwh/m² (5 Kwh/m² al día). Los datos meteorológicos necesarios para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se obtuvieron de la estación meteorológica número 30464 ubicada en el municipio de Chacaltianguis, Veracruz, ya que es la más cercana al municipio de Cosamaloapan, en la cual, las características climatológicas no varían a las de la zona de estudio. Para el cálculo de las demandas y programación del riego del cultivo se utilizó la metodología del coeficiente único, propuesta por el manual de FAO 56 (FAO, 1998) y el método de Blanney-Cridle.

Acondicionamiento del área

Se realizó el acondicionamiento y limpieza del área donde se estableció el proyecto de investigación para lo cual fue necesario desmalezar dicha área a través de una desbrozadora a gasolina y posteriormente se realizó la aplicación de herbicida paraquat + diuron para evitar que volviera a surgir la maleza.

Siembra del cultivo

La siembra se llevó a cabo en charolas de germinación con sustrato orgánico peat moos (turba canadiense) colocando dos semillas por cavidad para asegurar la germinación de una planta. Posteriormente el trasplante de las plántulas de sandía se llevó a cabo en suelo natural en 5 hileras sencillas cuyo marco de plantación por hilera fue de 22 m de largo y 1 m de ancho con una separación entre hileras de 1.5 m, las plantas estuvieron distanciadas a 0.9 m una de otra, teniendo un total de 120 plantas en el área experimental.

Determinación de la evapotranspiración

La evapotranspiración es un proceso simultáneo a través del cual un área de cultivo pierde agua por evaporación del suelo y transpiración del follaje, mientras que ET_0 es la tasa de evapotranspiración de



una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET₀), se utilizó el método Blanney-Cridle de la FAO en el cual se relacionan los valores del factor de uso consuntivo “f” y un factor de corrección por temperatura denominado coeficiente “K_t” a través de la siguiente ecuación: ET₀= f*K_t (Figura 1).

CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL CON EL MÉTODO DE BLANNEY - CRIDLE

Mes	No. de días del ciclo	Proporción del mes	Temperatura Promedio (T) (°C)	(T+17.8)/21.8	P (%)	f (cm)	k _t	Eto ⁽¹⁾ (cm/mes)	Eto ⁽²⁾ (cm/mes)	K _c	ETp' (cm)	ETp (cm)	ETp acumulada (cm)
May	31	1	30.8	2.23	9.097	20.30	1.2	24.4	24.4	0.54	13.2	10.0	10.0
Jun	30	1	29.7	2.18	8.939	19.50	1.16	22.6	22.6	0.76	17.2	13.1	23.1
Jul	31	1	28.8	2.14	8.545	18.30	1.13	20.7	20.7	0.77	15.9	12.1	35.2
Ago	18	0.58	28.8	2.14	8.907	11.10	1.13	21.6	12.53	0.68	8.5	6.5	41.7
				Suma f =		69.20				Suma Etp' =		54.80	

(1) Eto corresponde al mes completo.
 (2) Eto' corresponde a la parte del mes que abarca el ciclo vegetativo (es el valor que se utiliza para calcular la ETp)

RESUMEN

CULTIVO: Sandía
 CICLO VEGETATIVO: 110 días
 FECHA DE SIEMBRA: 1 de May
 NECESIDAD HIDRICA: 41.7 cm

Figura 1. Valores de la evapotranspiración de referencia (ET₀) para cada uno de los meses en la zona de estudio.

Coefficiente del cultivo

En el Cuadro 1, se presentan los valores generales del coeficiente de cultivo (K_c) y los datos fenológicos del cultivo de sandía. Los datos del coeficiente de cultivo (K_c) se tomaron de la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO y los datos fenológicos fueron los que se observaron en campo en cada una de las etapas del cultivo. Esta información se anexó al modelo para su posterior procesamiento en el cálculo del requerimiento hídrico del cultivo.



Cuadro 1. Valores del coeficiente de cultivo (K_c) y la duración en días de cada una de las fases o etapas del cultivo de sandía establecido en la zona de estudio.

Fase	Inicio	Desarrollo	Mediados	Final	Total
K_c	0.65	0.82	0.71	0.65	
Días	31	30	31	18	110

Evapotranspiración ET_c del cultivo

El cálculo de la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) se realizó a través del método de Blanney-Cridle de la FAO mediante el coeficiente único de cultivo (K_c), donde se integran los efectos combinados de la transpiración y evaporación del suelo en la relación: $ET_c = K_c * ET_0$ donde, ET_c es la evapotranspiración real del cultivo (mm), K_c el coeficiente del cultivo (adimensional) y ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores de la evapotranspiración real del cultivo (ET_c) para cada uno de los meses y fases del cultivo.

Mes	Días	Fase	ET_c (mm/mes)	ET_c (mm/día)
Mayo	31	Inicio	100	3.23
Junio	30	Desarrollo	131	4.37
Julio	31	Mediados	121	3.90
Agosto	18	Fin	65	3.61
Total	110		417	

Determinación del requerimiento de riego

Una vez calculada la evapotranspiración ET_c del cultivo se procedió a determinar el requerimiento de riego para cada fase del cultivo, descontando la precipitación efectiva que se presenta en cada uno de los meses que comprende cada fase (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores del requerimiento de riego RR diario y para cada uno de los meses y fases del cultivo.

Mes	Días	Fase	ET_c (mm/mes)	P	Pe	RR (mm/mes)	RR (mm/día)
				(mm/mes)	(mm/mes)		
Mayo	31	Inicio	100	52.5	19.6	80.4	2.59
Junio	30	Desarrollo	131	161.3	56.2	74.8	2.49



Mes	Días	Fase	ETc (mm/mes)	P		RR (mm/mes)	RR (mm/día)
				(mm/mes)	(mm/mes)		
Julio	31	Mediados	121	220	71.6	49.4	1.59
Agosto	18	Fin	65	156.5	47.4	17.6	0.98
Total	110		417	590.3	194.8	222.2	

Cálculo de la cantidad de agua por planta

Una vez determinado el requerimiento hídrico del cultivo en milímetros que se consume en cada fecha establecida para el riego, fue necesario calcular la cantidad de agua en litros que necesita cada planta de sandía en cada fecha del calendario de crecimiento, para posteriormente poder determinar los tiempos de riego que se emplearon para cumplir con el requerimiento hídrico de cada planta, cuya entrega de agua necesaria fue a través de la energía solar que hizo que funcionara el sistema de riego por goteo. Para el cálculo del volumen de agua necesario por planta, se utilizó la siguiente ecuación: $V = RR * S$ donde, V es el volumen o cantidad de agua requerida por planta (m^3), RR es el requerimiento hídrico del cultivo (m) y S es la superficie de influencia a regar (m^2). Para realizar el cálculo de la cantidad de agua a aplicar a cada planta se convirtió en primer lugar cada requerimiento hídrico del cultivo de milímetros (mm) a metros (m) y se consideró una superficie de influencia a regar de $0.81 m^2$, ya que cada planta se encontraba separada a 0.9 m, tanto en filas como en columnas y los orificios de la cinta de riego se encontraban espaciados a 30 cm. Por último, se realizó la conversión del volumen de m^3 a L para presentar de esta manera la cantidad de agua necesaria en L/planta al día (Cuadro 4). En el cuadro 4, se observa la cantidad de agua que necesitó cada planta de sandía con las características de establecimiento ya mencionadas anteriormente en cada una de las fechas que comprende el calendario de riego presentado para la zona de Cosamaloapan, Veracruz.

Cuadro 4. Requerimiento de riego diario del cultivo de sandía en la zona de Cosamaloapan, Veracruz.

Mes	RR (mm/día)	Requerimiento hídrico (L/planta/día)
Mayo	2.59	2.10
Junio	2.49	2.01
Julio	1.59	1.29
Agosto	0.98	0.79



Sistema de riego solar fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico fue instalado tomando en cuenta la cantidad de energía necesaria para abastecer a la bomba de riego sumergible de 400 watts de potencia, 48 volts y 3” de diámetro instalada la cual fue el medio de impulsión del agua al cultivo, por lo tanto, se instalaron 2 paneles solares de 330 watts cada uno en sus respectivos soportes especiales de aluminio para su correcta inclinación y orientación hacia el sol (Figura 2). Las características de cada panel solar utilizado se resumen en el Cuadro 5.



Figura 2. Instalación e inclinación requerida de los paneles solares.

Cuadro 5. Principales características eléctricas del panel fotovoltaico Pro-5012 Epcom Power Line.

Variable	Epcom Power Line
Potencia nominal (Pmax)	330 W
Voltaje máximo (Vmax)	37.87 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8.71 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	46.79 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.18 A
Dimensiones del modulo	1956x992x40 mm
Peso del modulo	22.8 kg

El ángulo de inclinación óptimo para la instalación del panel solar se ha determinado según Santamaría y Castejón (2010), teniendo un ángulo de inclinación de 18° y la orientación es sur para maximizar su rendimiento (hemisferio norte). Por otro lado, el sistema de bombeo funciona a partir de la corriente que es suministrada por el sistema fotovoltaico, este sistema es alimentado por un tanque de agua. Se



utilizó una bomba solar sumergible de 400 W con una salida de 3” de diámetro marca Connera kolos3-47-40-4 y un voltaje de 48 V capaz de entregar 40 L/min a una presión de 30 PSI (Figura 3). Esta bomba cuenta con una caja controladora de la entrada de la energía solar y además para el monitoreo en tiempo real de los parámetros de funcionamiento (voltaje paneles, RPM del motor, potencia al motor y amperaje del motor).



Figura 3. Bomba de 300 watts utilizada para el funcionamiento del sistema de riego.

El sistema de riego por goteo está constituido por una línea principal de distribución de 1” de diámetro en la cual se instalaron 5 hileras sencillas de cintilla de riego Aqua-Traxx Azul con un diámetro interior de 5/8” calibre 6000 con una separación a cada 30 cm entre orificio y un caudal de aplicación de 1 L/h (Figura 4).



**Figura 4. Sistema de riego instalado y funcional.
Monitoreo del desarrollo y cosecha del cultivo de sandía**



El desarrollo del cultivo se monitoreó desde la etapa de germinación hasta que los frutos de manera óptima pudieran alcanzar el tamaño y peso ideal para la cosecha (Figura 5 y 6), en la cual se lograron obtener 2 sandías de buena calidad por planta con un peso promedio de 4 kg por fruto, tomando en cuenta que se establecieron 120 plantas en el área experimental se obtuvieron 240 frutos, teniendo una producción total de 960 kg que comercializándose a un precio promedio de venta de \$20.00 por kg se generó un total de \$19200.00 de ganancia.



Figura 5. Fruto listo para la cosecha.

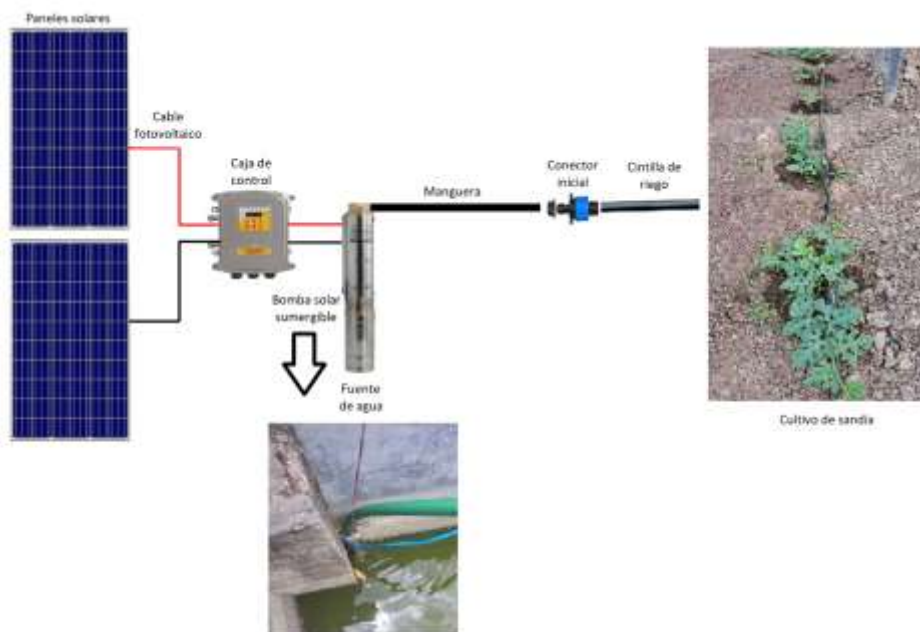


Figura 6. Representación gráfica del sistema de riego solar fotovoltaico.

Gasto de inversión del sistema de riego solar fotovoltaico

En el Cuadro 6, se describe el costo de inversión que se requirió para el establecimiento del sistema solar fotovoltaico para riego por goteo en el cultivo de sandía.

Cuadro 6. Costo del sistema solar fotovoltaico para riego por goteo en el cultivo de sandía.



Material	Costo
2 paneles solares de 330 W	\$5000.00
Bomba solar sumergible de 400 W y controlador	\$5500.00
Estructura aluminio para los paneles solares	\$1100.00
Cable fotovoltaico (15 m)	\$450.00
Cable para bomba sumergible (30 m)	\$1730.00
Accesorios para conexiones hidráulicas	\$750.00
30 m de manguera 1.5 "	\$600.00
5 conectores iniciales con goma para cintilla de riego	\$50.00
250 m de cintilla de riego 5/8" calibre 6000	\$700.00
Total	\$15880.00

Gasto de inversión de un sistema de riego por goteo convencional

En el Cuadro 7, se describe el costo de inversión que se requeriría para el establecimiento de un sistema de riego por goteo convencional en el cultivo de sandía en el área experimental utilizada para este proyecto de investigación.

Cuadro 7. Costo de un sistema de riego por goteo convencional en el cultivo de sandía.

Material	Costo
Instalación eléctrica	\$4000.00
Costo de la energía eléctrica utilizada	\$368.00
Bomba sumergible tipo bala 3/4 Hp	\$4300.00
Cable duplex (40 m)	\$1120.00
Cable para bomba sumergible (30 m)	\$1730.00
Accesorios para conexiones hidráulicas	\$750.00
30 m de manguera 1.5"	\$600.00
5 conectores iniciales con goma para cintilla de riego	\$50.00
250 m de cintilla de riego 5/8" calibre 6000	\$700.00
Total	\$13618.00



Resultados y Discusión

En Cosamaloapan, Veracruz el comportamiento de la radiación solar permite establecer sistemas solares fotovoltaicos ya que se cuenta con un promedio de $11.18 \text{ MJ}\cdot\text{m}^2/\text{día}$ ($3.10 \text{ Kwh}/\text{m}^2/\text{día}$), en este sentido fue posible utilizar un sistema de riego por goteo cuya operación es mediante el suministro de la energía a partir de paneles solares aplicado al cultivo de sandía. Se obtuvieron los datos climatológicos de la zona de estudio para los meses en los que se llevó a cabo este trabajo de investigación para poder calcular la evapotranspiración y se pudo determinar que la necesidad hídrica de la sandía promedio al día es de 1.55 L/planta en el periodo comprendido entre los meses de mayo a agosto. Esta cantidad de agua promedio diaria fue posible aplicarla a través del sistema de riego establecido, la bomba encargada de hacer fluir el agua hasta la zona del cultivo se encendió en promedio una hora con 33 minutos al día para cubrir los 1.55 L/planta requeridos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tiempos de riego diarios para cubrir la demanda hídrica del cultivo de sandía en cada uno de los meses en la zona de Cosamaloapan, Veracruz.

Mes	Requerimiento (L/planta/día)	hídrico Tiempo de riego (min/día)
Mayo	2.10	126
Junio	2.01	120.6
Julio	1.29	77.4
Agosto	0.79	47.4

En lo que respecta al rendimiento del cultivo se establecieron 120 plantas con un potencial productivo de 2 frutos de 4 kg por planta resultando un total de 960 kg de fruto en un espacio de 308 m^2 . Ahora bien, si extrapolamos estos resultados obtenidos en el área experimental de 308 m^2 a una hectárea, tendríamos un total de 3896 plantas que en teoría producirían 31.168 toneladas comercializadas a un precio promedio de venta de \$20.00 se obtendría una suma de \$623360.00, lo cual resulta altamente rentable comparado con los gastos de inversión de un sistema de riego solar fotovoltaico para una hectárea de riego, además que se generaría un ahorro en el consumo de energía eléctrica al utilizar un sistema riego por goteo convencional. Por otro lado, en el periodo del 01 al 31 de mayo fue cuando el cultivo de sandía requirió de la mayor demanda hídrica diaria 2.10 L/planta por lo cual se necesitó un



tiempo de operación de la bomba de 126 minutos ya que la cantidad de riego tenía una entrega de caudal de 1 L/h por lo tanto en ese tiempo se cumplía con la cantidad de agua requerida en ese periodo del mes de mayo. Por otro lado, el mes de agosto fue el que requirió menor tiempo de operación por parte de la bomba solar sumergible ya que únicamente se necesitaba cubrir una demanda hídrica de 0.79 L/planta al día por lo que el tiempo de funcionamiento de la bomba únicamente fue de 47.4 minutos. Los requerimientos de riego fueron de mayor a menor cantidad ya que en los meses de mayo y junio las condiciones climáticas de la zona son de elevadas temperaturas y lluvias escasas por lo tanto no existe humedad residual en el suelo que la planta pueda aprovechar y es necesario aplicar una lámina de riego mayor, sin embargo en los meses de julio y agosto las condiciones climatológicas de la región cambian y se hacen presentes lluvias abundantes que generan que exista una mayor humedad residual aprovechable por el cultivo y por lo tanto el requerimiento hídrico es menor. La utilización de sistemas de riego mediante el suministro de energía solar fotovoltaicos permite la utilización de fuentes de energía renovables con el fin de contar con una solución sustentable que mejore el rendimiento de la actividad agrícola en la región y el uso racional del agua. Finalmente se llevó a cabo la cosecha del cultivo de sandía al término de 4 meses de establecido el proyecto de investigación cumpliéndose de manera correcta el objetivo principal establecido del proyecto el cual fue diseñar un sistema de riego por goteo para cubrir con la demanda hídrica del cultivo de sandía que funcionara a través de la energía solar fotovoltaica en la localidad de Cosamaloapan, Veracruz.

Conclusiones

Si bien es cierto que los sistemas de riego son comúnmente alimentados por energía eléctrica o combustibles, el uso de energías alternas como la energía solar fotovoltaica permite disminuir los efectos contaminantes de las fuentes de energías tradicionales. Se logró utilizar el diseño establecido del sistema solar fotovoltaico para riego por goteo en el cultivo de sandía, el cual funcionó dada la cantidad de radiación presente en los meses de estudio del área experimental de la localidad de Cosamaloapan, Ver., fomentando de esta manera entre los productores de la región el uso de energías renovables amigables con el medio ambiente en la agricultura que permitan a su vez una mayor productividad de los cultivos por unidad de superficie. Se observó que el gasto de inversión inicial de un sistema de riego por goteo convencional es de \$13618.00 que resulta menor comparado con el gasto



de inversión del sistema de riego solar fotovoltaico (\$15880.00), en el sistema de riego por goteo convencional se tendrá que seguir pagando el costo de la energía eléctrica en cada ciclo del cultivo lo cual seguirá generando gastos, mientras que en el uso del sistema de riego solar fotovoltaico, la inversión será única ya que al utilizar energía solar no se generaran mayores gastos y como ventaja los paneles solares tienen una producción garantizada de energía de 25 a 30 años. Por otro lado, al comercializar los 960 kg de frutos obtenidos a un precio promedio de venta de \$20.00 por kilogramo se obtuvo un resultante de \$19200.00 que comparado con el gasto de inversión del sistema de riego solar fotovoltaico de \$15880.00 se contaría con una ganancia de \$3320.00. Estos datos obtenidos proporcionan nuevas referencias para futuras propuestas de investigación. El modelo realizado puede ser usado para analizar nuevos trabajos experimentales o teóricos, permitiendo un marco conceptual para interpretar los resultados obtenidos en diferentes ambientes, como un medio para mejorar el manejo de este tipo de sistemas en la región.

Literatura Citada

FAO, 1998. Manual de Riego y Drenaje. Número 56. Evapotranspiración del Cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ISBN 92-5-304219-2. 353 p.

Santamaría y Castejón, 2010. Instalaciones solares fotovoltaicas. Editorial Editex SA, España, 192 p. ISBN 9788497716550.

Van Campen, B., Guidi, D., Best, G. 2000. Energía solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles, Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 3. FAO, Roma, Italia.



POBLACIONES EVOLUTIVAS DE MAÍZ OLOTILLO DE CUATRO ENTIDADES DE MÉXICO

Bulmaro Coutiño Estrada^{3*}, Duhjadi Oliva García⁴, Alicia Mastretta Yáñez⁵, Noel Gómez Montiel⁶, Víctor Vidal Martínez⁷
y Flavio Aragón Cuevas⁸

Resumen

Una de las 59 razas de maíces criollos o nativos reportadas que existen en México es la Olotillo, la cual se cultiva en varios estados del país, principalmente por agricultores de autoconsumo, pero tienen cualidades especiales definidas por los productores y las amas de casa. Una forma de hacer mejoramiento evolutivo es propiciando mezclas de variedades para su recombinación genética y el estudio de su variabilidad en generaciones posteriores. Se estudió un grupo de variedades criollas de maíz colectadas en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Nayarit con objeto de formar poblaciones evolutivas y estudiar su variabilidad y su rendimiento. Se encontró amplia variabilidad fenotípica entre las poblaciones de Olotillo, en todas las variables medidas hubo diferencias significativas, sobresalieron en rendimiento de grano cuatro variedades de Chiapas, dos de Guerrero y la población evolutiva F1Local3 formada con poblaciones locales, indicando que hubo heterosis en algunas combinaciones y mejor comportamiento de las poblaciones locales; las poblaciones evolutivas F0 local y F1 local fueron superiores a la F2 en rendimiento de grano y pueden aprovecharse en un programa de mejoramiento genético de Olotillo, para ampliar su diversidad genética y formar variedades mejoradas para los productores que cultivan este tipo de maíz.

Palabras clave: maíz, variedades criollas, razas de maíz, olotillo

³ INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas. *Correspondencia: coutino.bulmaro@inifap.gob.mx

⁴ UNAM.

⁵ CONABIO.

⁶ INIFAP Campo Experimental Iguala, Gro.

⁷ INIFAP Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nay.

⁸ INIFAP Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca.



Introducción

Más que en otros países de América, en México el maíz tiene una gran diversidad genética y se considera el centro de origen de esta planta; esto se ha debido en buena parte a que los productores de maíz y los ambientes en donde se cultiva han tenido un importante papel en la selección y desarrollo de variedades criollas o nativas con características muy particulares, de acuerdo con las preferencias de los productores. La colección de estos maíces para estudiar su diversidad genética se inició desde 1940 por la Oficina de Estudios Especiales de la Secretaría de Agricultura (Wellhausen *et al.*, 1951), agrupándose las variedades según características en común denominados “razas”. Se han identificado y descrito en diferentes tiempos las razas de maíz; así, Wellhausen *et al.* (1951) describieron 25 y siete sin definir; Hernández y Alanís (1970) agregaron cinco más; Ortega *et al.* (1991) identificaron 41 y Sánchez *et al.* (2000) agruparon 59 en total.

Ortega (1972) reportó 16 razas de maíces criollos cultivados en Chiapas en la década de los 70's y más recientemente, Coutiño *et al.* (2009), Coutiño *et al.* (2021), basándose en las características fenotípicas de mazorcas de 700 colectas de variedades criollas realizadas en las zonas maiceras de Chiapas, identificaron 18 razas: Tuxpeño, Vandeño, Comiteco, Olotón, Olotillo, Zapalote grande, Zapalote chico, Tehua, Nal-Tel, Tepecintle, Elotero de Sinaloa, Tzit-bacal, Chiquito, Cubano amarillo, Complejo Cónico, Mountain yellow, Motozinteco y Tabloncillo.

La raza Olotillo se cultiva también en otros estados del país, como en Coahuila, Guerrero, Nuevo León, Oaxaca (Rincón *et al.*, 2010). Esta raza es muy apreciada por los productores para su autoconsumo, pues se produce bien en suelos pobres, rocosos, resiste a la sequía, y se caracteriza por tener de 8 a 10 hileras de grano, un elote muy delgado, que permite se doble fácilmente la mazorca y se le encuentra en colores de grano blanco y amarillo (Coutiño *et al.*, 2021).

Se reconocen poblaciones pequeñas de esta raza, lo que puede promover endogamia, bajos tamaños efectivos de población y esto a su vez depresión endogámica. Es un componente importante en los sistemas milpa de las zonas tropicales del país, por lo que se requiere estudiar y rescatar la diversidad existente en esta raza mediante el mejoramiento evolutivo, el cual implica la formación y evaluación de poblaciones evolutivas, mediante la mezcla de semillas con diferente origen, sometiendo a la progenie a los efectos de la selección natural (Suneson, 1956) y someter a poblaciones genéticamente diversas a la fuerza de la selección natural y artificial a lo largo de varias generaciones en el sitio final de siembra. El objetivo del presente trabajo fue determinar la respuesta de diferentes poblaciones de maíz de la raza



Olotillo mediante el mejoramiento evolutivo con la finalidad de conocer y aprovechar la diversidad existente entre ellas.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló del 2018 al 2021 en el Campo Experimental Centro de Chiapas, municipio de Ocozocoautla, en un suelo de textura areno-arcillosa, el cual está ubicado en el km 3 de la carretera Ocozocoautla-Cintalapa, a 16° 47' 02" N, 93° 24' 09" W y una altitud de 786 metros. El clima que predomina en esta zona es Awo (w) (i) g, que significa cálido subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media mensual de 22°C y una precipitación pluvial anual de 1100 mm.

La investigación se dividió en tres etapas. La primera etapa fue entre 2018 y 2019, tomando como referencia la base de datos del Programa de Maíz del Campo Experimental Centro de Chiapas, del 2009 y 2010, cuando se colectaron 700 variedades criollas en el estado de Chiapas (Coutiño *et al.*, 2021); esta actividad consistió en la colecta de semilla en mazorca de 12 variedades tipo Olotillo en varias comunidades del municipio de Ocozocoautla, a las cuales se les consideró como “locales”; también se colectaron 6 variedades en comunidades de los municipios de El Parral, Villaflores, Suchiapa, Cintalapa, Jiquipilas y Tonalá, consideradas como “regionales” y finalmente, se hicieron 17 colectas en otros municipios de los estados de Guerrero (11), Nayarit (4) y Oaxaca (2), a las cuales se les llamó “nacionales”.

La segunda etapa se llevó a cabo en el ciclo agrícola primavera – verano (P – V) del 2019, donde se sembraron las variedades para formar las poblaciones evolutivas, con los siguientes progenitores:

Cuadro 1. Poblaciones evolutivas formadas con variedades criollas de la raza Olotillo.

No.	Población	Nombre	Tipo de compuesto
1	L1	Local 1	6 al zar (de 12 Colectas)
2	L2	Local 2	6 restantes (de las 12 Colectas)
3	L3	Local 3	3 de L1 + 3 de L2 (las más pesadas)
4	R1	Regional 1	Colectas: 1,2,3,4,5,6 + 6 Regionales
5	R2	Regional 2	Colectas: 7,8,9,10,11,12 + 6 Regionales
6	R3	Regional 3	Colectas: 4,5,6,10,7,9 + 6 Regionales



No.	Población	Nombre	Tipo de compuesto
7	N1	Nacional 1	Colectas:1,2,3,4,5,6 + 6 Nacionales
8	N2	Nacional 2	Colectas:7,8,9,10,11,12+6 Nacionales
9	N3	Nacional 3	Colectas:4,5,6,10,7,9+5 Nacionales

Cada una de las nueve poblaciones se establecieron en parcelas de 40 surcos de 30 m de longitud. Se sembraron 3 semillas cada 80 cm, para ralea después a dos plántulas por mata, en surcos a 75 cm de separación, para tener una densidad de población aproximada de 33,250 plantas/ha, que es aproximadamente la que siembran los productores de maíz Olotillo. Las prácticas agronómicas que se le hicieron al cultivo fueron la aplicación del herbicida Glifosato + 2,4-D Amina, inmediatamente después de la siembra, en dosis de 2.0 y 1.0 L ha⁻¹, respectivamente; fertilización con la dosis 160-120-00, aplicando a los 10 días el 50% del N y todo el P₂O₅ mezclados y el resto del N a los 45 días. Cuando aparecieron larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó el insecticida Cipermetrina en dosis de 1.0 L ha⁻¹; para controlar la maleza y esta plaga se hicieron tres aplicaciones de los productos químicos indicados.

La cosecha se realizó en la parte central de cada una de las 9 parcelas, que fue un cuadro de 10 x 10 m, equivalente a 14 surcos de 10 m de longitud, con objeto de utilizar esta producción de mazorcas como semilla F1 para establecer el siguiente experimento en el 2021. Después de la cosecha, se realizó una selección de mazorcas, buscando principalmente las que tuvieran el fenotipo de la raza Olotillo, luego las que tuvieran influencia de la raza Tuxpeño, posteriormente, se contó el número de mazorcas de cada tipo, se pesaron 10 mazorcas con las características fenotípicas de la raza Olotillo, 10 con la de influencia de la raza Tuxpeño, y 10 mazorcas tomadas al azar, sin importar el tipo. Después de tomarles fotografías a las mazorcas de cada una de las nueve poblaciones evolutivas, se midieron (35) variables de mazorca, de olote, de grano, y se desgranaron las mazorcas para su tratamiento y su almacenamiento en el cuarto frío. Una muestra de 150 semillas se envió a la CONABIO para hacer determinaciones de ADN en plántulas de cada población.

La tercera etapa se hizo en el ciclo agrícola P – V del 2021 y consistió en la evaluación de las poblaciones evolutivas en F0, F1 y F2 (ésta última se obtuvo en el 2020, con un productor local). El material genético consistió en 35 colectas de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Nayarit, más 9 poblaciones F0, 9 poblaciones F1 y 9 poblaciones F2 (3 locales, 3 regionales y 3 nacionales), más dos variedades testigo: Chis-2021-21 y Chis-2021-04, colectadas en mayo del 2021 con los productores José Vázquez



y Ausencio Pérez de los ejidos Villa Morelos, municipio de Cintalapa y Rivera El Gavilán, municipio de Ocozocoautla, respectivamente, haciendo un total de 64 genotipos, los cuales fueron sorteados al azar en un diseño experimental Látice triple 8x8 (tres repeticiones), en parcelas experimentales de 2 surcos de 4.8 m de longitud, en surcos separados a 75 cm, con 7 matas de dos plantas cada uno, separadas a 80 cm, para tener una densidad de población aproximada de 33,500 plantas/ha, similar a la que utilizan los productores de Olotillo.

Para la preparación del terreno se utilizó una desvaradora para cortar la maleza que creció en este terreno durante el año 2020 (el cual no se pudo sembrar por la pandemia), las principales arvenses fueron gramíneas (*Cenchrus echinatus*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria ciliaris*, *Sorghum halepense*), de hoja ancha como *Convolvulus arvensis*, *Amaranthus hybridus* y Coquillo (*Cyperus rotundus*). Se hizo un barbecho y posteriormente se dieron dos rastreos y un surcado superficial a 0.75 cm de distancia entres surcos, para facilitar las labores de siembra manual y favorecer la germinación de las semillas. Antes de la siembra del experimento de maíz se hizo una aplicación de herbicida Glifosato + 2-4-D-Amina para eliminar la maleza presente, pero fue necesario hacer un total de 7 aplicaciones de diversos herbicidas de contacto, por la fuerte presencia de zacates y coquillo (*Cyperus rotundus*), tanto de semillas como de rizomas. También fue necesario hacer 4 aplicaciones de insecticidas para controlar la presencia de plagas de la raíz (*Phyllofaga* spp.) y follaje (*Spodoptera frujiperda*), en diversos estados de desarrollo de las plántulas. Cuando la humedad del terreno lo permitió, se dio la primera fertilización en forma mateada con la dosis 160-120-00, mezclando el 50% de la urea (N) y todo el fosfato diamónico (P_2O_5); a los 45 días de la siembra se aplicó el otro 50% de la urea.

Durante los meses de septiembre y octubre se midieron variables de altura de planta y mazorca, floración femenina y masculina. La altura de planta se midió aleatoriamente en cinco plantas de cada uno de los dos surcos, con un estadal, de la base del suelo a la punta de la espiga masculina, en cm. La altura de mazorca se midió en las mismas plantas anteriores, de la base del suelo al nudo de inserción de la mazorca principal, en cm. La floración femenina se tomó contando los días desde la siembra hasta cuando aproximadamente 50% de las plantas de cada parcela tenían los estigmas visibles, de una longitud de 2 a 3 cm fuera del jilote. La floración masculina se tomó contando los días de siembra hasta cuando el 50% de las plantas se encontraban liberando polen en más de la mitad de la longitud de la espiga masculina. Se cosecharon todas las plantas de ambos surcos de cada parcela y se pesaron. Posteriormente se desgranó una muestra de 5 mazorcas para determinar la humedad de grano, desgrane y se estimó el rendimiento de grano por hectárea corregido por humedad.



Se capturaron todos los datos en una hoja de cálculo de Excel para después realizar el análisis estadístico de las principales variables medidas, por medio del procedimiento Lattice del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS), versión 9.3; como la eficiencia del diseño experimental Látice triple 8x8 no fue más eficiente que el Bloques Completos al Azar (99.3%), se hizo el análisis de varianza con el procedimiento GLM del SAS y la prueba múltiple de medias de la DMS (5%); también se hicieron contrastes ortogonales entre las diferentes generaciones y entre generaciones por grupo, utilizando el procedimiento GLM del SAS.

Resultados y Discusión

Los resultados de este análisis de varianza indicaron diferencias altamente significativas entre todas las variables, tanto entre repeticiones como entre poblaciones, indicando la existencia de amplia variabilidad fenotípica entre ellas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios de las variables de planta, mazorca y grano de Olotillo.

FV	GL	FF	FM	AP	AM	DES	HUM	RE
Repeticiones	2	383.9*	414.0*	7016*	5674*	0.004*	1.96	1.2*
Poblaciones	63	74.0*	70.7*	2287*	1644*	0.001*	1.23*	0.7*

FV= Fuente de variación, GL=grados de libertad, FF= floración femenina, FM= floración masculina, AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, DES= desgrane, HUM= humedad de grano, RE= rendimiento de grano. * Diferencias altamente significativas.

Enseguida se presentan los promedios de cada una de las variables medidas en las poblaciones evolutivas de maíz Olotillo (Cuadro3).

Cuadro 3. Medias de las variables medidas en las 64 poblaciones de maíz Olotillo.

Orden	Nombre	Población	DFP	DFM	ALP	ALM	HUM	DES	REND
7	Local 1	CHIS_L08	71	69	265	122	16.4	0.84	3.110
27	Local 1	CHIS_L42	79	77	252	88	16.4	0.84	2.510
11	Local 1	CHIS_L43	73	75	275	112	17	0.83	2.900
12	Local 1 y 3	CHIS_L34	85	83	310	157	15.4	0.85	2.900
8	Local 1 y 3	CHIS_L35	86	84	277	127	16	0.84	2.920



Orden	Nombre	Población	DFE	DFM	ALP	ALM	HUM	DES	REND
15	Local 1 y 3	CHIS_L41	84	82	273	130	15.6	0.84	2.730
2	Local 2	CHIS_L36	81	79	247	95	17.9	0.82	3.390
5	Local 2	CHIS_L37	78	76	290	143	15.6	0.84	3.190
23	Local 2	CHIS_L44	77	75	268	105	16.2	0.84	2.590
60	Local 2 y 3	CHIS_L33	87	85	307	138	17.5	0.83	1.590
39	Local 2 y 3	CHIS_L45	83	81	285	127	15.3	0.85	2.300
53	Local 2 y 3	CHIS_L04	77	76	280	125	15.8	0.84	1.980
6	Nacional 1	GUE_N13	75	73	278	115	16.1	0.84	3.180
16	Nacional 1	GUE_N14	81	79	289	148	15.3	0.85	2.720
42	Nacional 1	GUE_N15	74	72	243	92	15.3	0.85	2.230
20	Nacional 1	GUE_N16	73	71	260	108	15.5	0.84	2.620
62	Nacional 1	OAX_N31	89	87	248	107	17	0.83	1.570
35	Nacional 1	OAX_N32	89	87	283	128	16.7	0.83	2.360
49	Nacional 2	GUE_N18	71	69	187	60	15.2	0.85	2.110
25	Nacional 2	GUE_N19	78	76	258	123	16	0.84	2.560
54	Nacional 2	GUE_N20	78	76	225	73	16.5	0.84	1.980
58	Nacional 2	GUE_N22	80	78	262	102	15.5	0.84	1.820
43	Nacional 2	GUE_N23	87	85	262	123	16.1	0.84	2.190
52	Nacional 2	GUE_N24	71	69	163	47	16.1	0.84	2.030
4	Nacional 3	GUE_N26	83	81	267	122	17.2	0.83	3.330
44	Nacional 3	NAY_N27	70	68	233	73	16.1	0.84	2.180
29	Nacional 3	NAY_N29	70	68	230	80	15.2	0.85	2.480
63	Nacional 3	NAY_N30	71	69	238	72	15.6	0.84	1.460
59	Nacional 3	NAY_N47	70	68	220	85	15.7	0.84	1.780
28	Regional 1,2 y 3	CHIS_R10	77	75	217	83	14.8	0.85	2.490
64	Regional 1,2 y 3	CHIS_R11	75	73	223	83	15.5	0.84	1.230
45	Regional 1,2 y 3	CHIS_R02	71	69	228	123	15.6	0.84	2.160
22	Regional 1,2 y 3	CHIS_R40	77	75	247	90	17.1	0.83	2.600
40	Regional 1,2 y 3	CHIS_R05	79	77	275	118	15.5	0.85	2.280
31	Regional 1,2 y 3	CHIS_R06	85	83	295	143	15.8	0.84	2.450
1	Testigo 1	Chis-04	74	72	250	88	16.1	0.84	3.630



Orden	Nombre	Población	DFE	DFM	ALP	ALM	HUM	DES	REND
30	Testigo 2	Chis-21	75	73	260	100	16	0.84	2.480
17		F0Local1	77	79	292	136	16.5	0.84	2.700
38		F0Local2	73	75	297	133	16.7	0.83	2.310
51		F0Local3	81	79	273	118	15.7	0.84	2.040
50		F0Nal1	78	76	262	88	16.2	0.84	2.090
57		F0Nal2	75	73	247	100	16.5	0.84	1.840
48		F0Nal3	82	80	257	108	16.8	0.83	2.150
61		F0Reg1	75	73	278	125	16.5	0.84	1.570
46		F0Reg2	77	75	268	115	17.2	0.83	2.160
41		F0Reg3	77	75	235	88	15.5	0.84	2.250
10		F1Local1	82	80	268	107	17	0.83	2.910
18		F1Local2	83	81	258	117	16.7	0.83	2.650
3		F1Local3	77	75	292	126	16.1	0.84	3.340
33		F1Nal1	74	72	280	130	16.5	0.84	2.390
14		F1Nal2	80	78	293	155	16.1	0.84	2.800
34		F1Nal3	73	74	270	127	17.2	0.83	2.390
19		F1Reg1	73	71	250	87	16.6	0.83	2.650
36		F1Reg2	77	75	257	103	16.1	0.84	2.350
24		F1Reg3	77	77	257	108	16.4	0.84	2.580
32		F2Local1	81	79	257	115	15.8	0.84	2.420
26		F2Local2	80	78	278	130	16.7	0.83	2.550
21		F2Local3	78	76	300	147	16.9	0.83	2.610
55		F2Nal1	84	82	285	132	16.5	0.83	1.940
37		F2Nal2	83	81	302	132	16.5	0.84	2.320
47		F2Nal3	80	78	262	115	16.5	0.84	2.150
9		F2Reg1	78	76	293	118	16	0.84	2.920
13		F2Reg2	83	81	295	142	16.5	0.84	2.880
56		F2Reg3	73	71	255	112	17.1	0.83	1.850
		DMS _{0.05}	9.8	9.6	50	41.1	1.368	0.014	0.525
		Medias	78	76	263	112	16	0.838	2.419

DFE=días a floración femenina, DFM=días a floración masculina, ALP=altura de planta (cm), ALM=altura de mazorca, HUM=humedad de grano (%), DESG=desgrane, REND=rendimiento de grano (t ha⁻¹), T1=testigo 1, T2=testigo 2.



Días a floración femenina

En general, las plantas de esta raza Olotillo son muy tardías. Los días a floración variaron de 89 a 70 días, con un promedio de 78 días y una desviación estándar de 5 días. Estadísticamente, un grupo de 24 poblaciones, de 89 a 80 días, fueron las más tardías, quedando entre las primeras cinco: OAX_N31, OAX_N32, CHIS_L33, GUE_N23 y CHIS_L35. Por el contrario, las poblaciones más precoces florecieron a los 70 días, entre ellas: CHIS_L08, GUE_N24, NAY_N47, NAY_N27 Y NAY_N29 (Cuadro 3).

Días a floración masculina

Las plantas de estas poblaciones de Olotillo tuvieron su periodo de derrame de polen de 87 a 68 días, con un promedio de 76 días y una desviación estándar de 5 días. Estadísticamente, un grupo de 24 poblaciones, de 87 a 78 días, fueron las más tardías, quedando entre las primeras cinco: OAX_N31, OAX_N32, CHIS_L33, GUE_N23 y CHIS_L35. Las poblaciones más precoces florecieron a los 68 días que corresponden a GUE_N24, NAY_N47, NAY_N27 y NAY_N29.

Altura de planta

Las plantas de la raza Olotillo, se caracterizan porque son muy altas. El promedio de crecimiento de estas poblaciones fue de 263 cm y su desviación estándar fue de 27 cm. Un grupo de 38 poblaciones fueron estadísticamente las más altas con alturas de 310 a 163 cm, siendo las cinco más altas: CHIS_L34, CHIS_L33, F2_Nal2, F2_Local3 y F0Local2; y las menos altas crecieron de 223 a 163 cm, quedando entre ellas: CHIS_R11, NAY_N47, CHIS_R10, GUE_N18 y GUE_N24.

Altura de mazorca

El promedio de la altura de la mazorca de estas poblaciones fue de 112 cm y su desviación estándar fue de 24 cm. Un grupo de 31 poblaciones tuvieron estadísticamente las mazorcas a mayor altura de 156 a 112 cm, siendo las cinco más altas: CHIS_L34, F1Nal2, GUE_N14, F2Local3 y CHIS_L37; y las menos altas crecieron de 223 a 163 cm, quedando entre ellas: NAY_N27, GUE_N20, NAY_N30, GUE_N18 y GUE_N24.

Desgrane

El desgrane o proporción del peso de grano sobre el peso de mazorca, es un indicativo de la eficiencia de la planta para producir más grano que olote. Aunque en forma general la raza Olotillo se caracteriza por tener un olote muy delgado y flexible, se encontraron diferencias significativas entre las poblaciones indicando unas con mayor cantidad de grano que olote. El promedio general de las 64 poblaciones fue de 0.8378, indicando un 83.78% de grano y un 12.12% de olote, pero la variación de



esta variable fue de 0.8923 a 0.7967, sobresaliendo estadísticamente un grupo de 51 poblaciones con los valores más altos, entre ellos: F2Nal2, CHIS-21, F1Reg1, CHIS_R02 y GUE_N13. Entre las poblaciones con menor desgrane (más peso de olote) estuvieron: CHIS_L45, OAX_N32, CHIS-R40, CHIS-04 y GUE_N15.

Humedad de grano

La cantidad de agua en el grano, cuando se cosechan las mazorcas, también es un indicativo del ciclo de madurez de las plantas, pues a mayor cantidad de agua, se requiere de más tiempo para su secado natural y esto retrasa la cosecha y la comercialización del grano. La humedad del grano varió de 17.8 a 14.8% y el contenido promedio de las 64 poblaciones fue de 16.2% (83.8% de materia seca), con una desviación estándar de 0.66%; 24 poblaciones fueron estadísticamente las de mayor humedad de 17.8 a 16.5%, entre las que estuvieron: CHIS_L36, CHIS_L33, F1Nal3, GUE_N26 y F0Reg2. Y entre las de menor humedad, indicando más precocidad, estuvo un grupo de 16.1 a 14.8%, entre ellas: GUE_N14, GUE_N15, GUE_N18, NAY_N29 y CHIS_R10.

Rendimiento de grano

Las condiciones ambientales del año 2021 no fueron muy buenas, pues al inicio del temporal hubo muchas lluvias, después se presentó una canícula y luego se reanudaron las lluvias, trayendo como consecuencia un desarrollo variable en las plantas de las poblaciones. El rendimiento promedio de grano de las 64 poblaciones fue de 2.419 ton/ha (Cuadro 3), siguiendo una curva de distribución normal las frecuencias relativas (Figura 1), con una desviación estándar de 0.502 ton/ha. Siete de ellas formaron el grupo estadísticamente sobresaliente, con rendimientos de 3.629 a 3.113 ton/ha: Chis-04, testigo local del Ejido El Gavilán, Ocozocoautla; CHIS_L36, del Ejido Benito Juárez, Jiquipilas; F1Local3, GUE_N26, de la localidad Paso Real municipio de Coyuca de Benítez; CHIS_L37, del Ejido San Jorge 18, Ocozocoautla; GUE_N13 de la localidad Yoloxochitl, municipio de San Luis Acatlán, y CHIS_L08, del Rancho San Isidro, Ocozocoautla, con muy bonito fenotipo de mazorca, como se observa en la Figura 2.

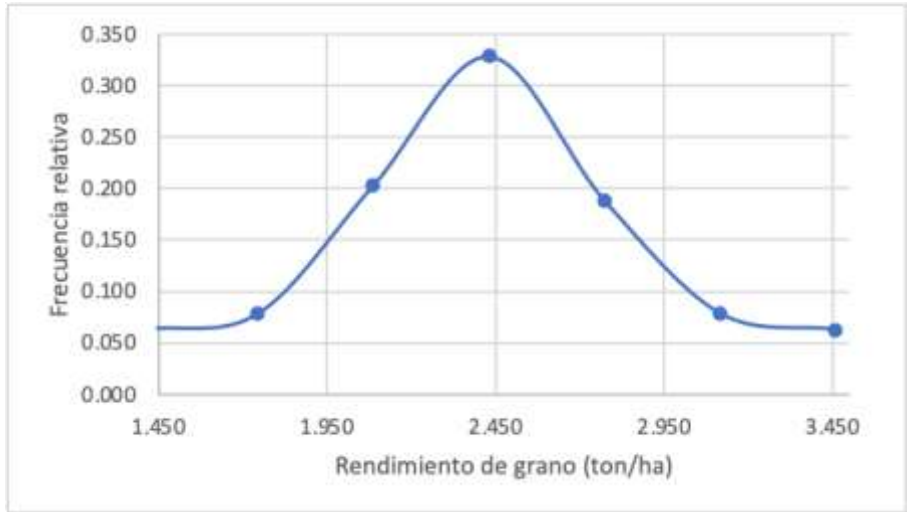


Figura 1. Distribución de frecuencias del rendimiento de grano de las 64 poblaciones.



Figura 2. Fenotipo de mazorcas de siete poblaciones sobresalientes.



Contrastes ortogonales

Para rendimiento de grano, se encontró significancia estadística en nueve de los doce contrastes, indicando variabilidad entre estas poblaciones. Donde hubo significancia fue en: F0 vs F1, F0 vs F2, F1 vs F2, F0 local vs F0 regional, F0 local vs F0 nacional, F1 local vs F1 regional, F1 local vs F1 nacional, F2 local vs F2 nacional y F2 regional vs F2 nacional (Cuadro 4).

Cuadro 4. Contrastes ortogonales entre generaciones y entre grupos de poblaciones.

Contraste	GL	SC	CM	F	Pr>F
F0 vs F1	1	4.06562017	4.06562017	38.50	<.0001
F0 vs F2	1	1.06288474	1.06288474	10.07	0.0019
F1 vs F2	1	0.97096446	0.97096446	9.19	0.0029
F0 local vs F0 regional	1	0.57066806	0.57066806	5.40	0.0217
F0 local vs F0 nacional	1	0.47824200	0.47824200	4.53	0.0353
F0 regional vs F0 nacional	1	0.00408006	0.00408006	0.04	0.8445
F1 local vs F1 regional	1	0.86067200	0.86067200	8.15	0.0050
F1 local vs F1 nacional	1	0.53664800	0.53664800	5.08	0.0259
F1 regional vs F1 nacional	1	0.03808800	0.03808800	0.36	0.5492
F2 local vs F2 regional	1	0.00198450	0.00198450	0.02	0.8912
F2 local vs F2 nacional	1	0.69384200	0.69384200	6.57	0.0115
F2 regional vs F2 nacional	1	0.77004050	0.77004050	7.29	0.0079

Los contrastes para el rendimiento de grano se presentan en el Cuadro 5. En el caso de las generaciones, se puede observar que la F1 superó el rendimiento de grano de la F0 y de la F2, indicando que existió heterosis al combinar los genes de las poblaciones, el uso de una mayor diversidad genética dentro del cultivo puede producir variedades con una mejor estabilidad del rendimiento y una buena confiabilidad del rendimiento en ambientes de cultivo variables e impredecibles, aseguraron Döring *et al.* (2015). Por generación y grupo, se observa que la F0 local superó a la F0 regional y nacional, lo que podría indicar una mejor adaptación de las poblaciones locales evaluadas en su ambiente, en Ocozocoautla, Chiapas, Döring *et al.* (2015) indican que los materiales genéticamente heterogéneos de los cultivos endogámicos, como las poblaciones evolutivas y las mezclas de líneas, podrían reducir la erosión genética y aumentar la estabilidad del rendimiento de los cultivos. La F1 local también produjo mayor rendimiento de grano que la F1 regional y F1 nacional,



lo que pudiera indicar heterosis y mejor combinación genética de las poblaciones locales, Annicchiarico *et al.* (2023) concluyen de su investigación que el mejoramiento evolutivo produjo poblaciones altamente valiosas, líneas endogámicas y mezclas de líneas y que las poblaciones evolutivas mostraron una rápida adaptación a ambientes específicos con un bajo costo de selección; Mientras que la F2 regional tuvo un mejor comportamiento que la F2 local y ésta última rindió más que la F2 nacional.

Cuadro 5. Diferencias de rendimientos de contrastes ortogonales entre generaciones y grupos.

Contraste	Rendimiento de grano ton/ha *	
F0 vs F1	2.123 b	2.673 a
F0 vs F2	2.123 b	2.404 a
F1 vs F2	2.673 a	2.404 b
F0 local vs F0 regional	2.350 a	1.993 b
F0 local vs F0 nacional	2.350 a	2.026 b
F1 local vs F1 regional	2.967 a	2.527 b
F1 local vs F1 nacional	2.967 a	2.527 b
F2 local vs F2 regional	2.527 b	2.550 b
F2 local vs F2 nacional	2.527 a	2.137 b

* Letras diferentes en hileras de ambas columnas indican diferencias significativas.

El mejoramiento participativo como método de mejoramiento genético produjo ganancias de rendimiento de grano al mezclar poblaciones locales, lo que sería de beneficio para los productores de Olotillo, Suneson (1956) resalta que este método de fitomejoramiento, a partir de pruebas a largo plazo con poblaciones híbridas de cereales pequeños constituidas de manera diversa, fueron cultivadas en masa bajo selección natural competitiva durante 12 a 29 generaciones y las ganancias de producción en estas poblaciones fueron iguales a las de los métodos de reproducción convencionales y que son más costosos. Por su parte, Ceccarelli *et al.* (2020) mostraron que un uso más dinámico de la agrobiodiversidad en la agricultura a través del cultivo de poblaciones evolutivas, en casi 100 años de investigación sobre poblaciones y mezclas evolutivas, es capaz de abordar la complejidad del cambio climático, al tiempo que estabiliza el rendimiento, disminuyendo el uso de la mayoría de los agroquímicos y las emisiones y produciendo alimentos saludables, como es el caso del maíz Olotillo, el cual se utiliza principalmente para auto consumo con un uso reducido de agroquímicos.



Estudiando estas mismas 49 variedades criollas de la raza Olotillo de cuatro entidades del país, Grajales-Herrera *et al.*, (2021) identificaron cuatro sobresalientes en sus características forrajeras y de elote, dos de Chiapas y dos de Guerrero, las cuales expresaron valores superiores en elote, forraje y grano y nueve de esas variables tuvieron una correlación positiva con el rendimiento de grano.

Estos resultados complementan los que en esta investigación se encontró afirmando que el mejoramiento evolutivo puede aprovechar más la variabilidad genética existente entre diversas poblaciones y sacarle provecho si se valoran las cualidades de estas, como es el caso de las variedades criollas de la raza Olotillo, que aún se cultivan en pequeña escala por productores, principalmente de autoconsumo. También se pueden aprovechar en un programa de mejoramiento genético para formar una o más variedades de maíz con las cualidades que tiene esta raza, muy apreciada no solo por los productores, sino también por las amas de casa que cocinan el grano para la elaboración de diferentes alimentos a base de maíz.

Conclusiones

Se encontró amplia variabilidad fenotípica entre las poblaciones de Olotillo. Siete poblaciones formaron el grupo estadísticamente sobresaliente en rendimiento de grano, cuatro fueron variedades locales de Chiapas, dos de Guerrero y una población evolutiva F1 formada con variedades locales (F1Local3), indicando la presencia de heterosis entre ellas. En el caso de las generaciones, las poblaciones evolutivas en F1 superaron el rendimiento de grano de las poblaciones F0 y F2, indicando que existió heterosis al combinar los genes de las poblaciones. Por generación y grupo, las poblaciones evolutivas F0 local y F1 local fueron superiores en rendimiento de grano y pueden aprovecharse en un programa de mejoramiento genético de Olotillo, para ampliar la diversidad genética y formar mejores variedades mejoradas de esta raza.



Literatura Citada

- Annicchiarico P., L. Russi, M. Romani, T. Notario and L. Pecetti. 2023. Value of heterogeneous material and bulk breeding for inbred crops: A pea case study. *Field Crops Research*. Volume 293. Article 108831.
- Ceccarelli S. and S. Grandó. 2020. Evolutionary Plant Breeding as a Response to the Complexity of Climate Change. *Science*. Volume 23 (12): 1-14.
- Coutiño E. B., C. Cruz V., G. Sánchez G., F. Cruz C., C. E. Aguilar J., N. Gómez M., *et al.* 2009. Diversidad de variedades criollas de maíz cultivadas en Chiapas, México. p: 16-20. *In: Memorias de la 55 Reunión Anual de la Sociedad del Programa Cooperativo Centro americano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales*. PCCMCA. Campeche, Camp., México.
- Coutiño E. B., C. Cruz V., J. M. Hernández C., N. O. Gómez M., F. J. Cruz C., V. A. Vidal M., *et al.* 2021. Diversidad fenotípica de razas de maíz cultivadas en Chiapas. Libro Técnico No. 14. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas, México. 303 p.
- Döring T. F., P. Annicchiarico, S. Clarke, Z. Haigh, H. E. Jones H. Pearce *et al.* 2015. Comparative analysis of performance and stability among composite cross populations, variety mixtures and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research*. 183: 235-245.
- Grajales-Herrera S., Coutiño-Estrada B., Vázquez-Carillo G., Cruz-Chávez F. y Vela-Gutiérrez G. 2021. Variabilidad fenotípica de variedades nativas de maíz Olotillo de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Nayarit. *Acta Fitogenética* 7:34.
- Hernández X. E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.



- Ortega P. R. 1972. Variación en Maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas 1940-1971. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ortega P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. *In*: Ortega P., R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A.
- Rincón S. F., Castillo G. F., Ruiz T. N. A. (eds). 2010. Diversidad y distribución racial de los maíces nativos en Coahuila, México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Chapingo, Méx. 116 p.
- Sanchez G. J. J., M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the Races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54 (1) pp: 43-59.
- Suneson C. A. 1956. An Evolutionary Plant Breeding Method. *Agronomy Journal* 48(5):188-191.
- Wellhausen E. J., L. M. Roberts, E. Hernández X., en colaboración con P. C. Mangesdorf. 1951. Razas de maíz en México: Su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería, México. 237 p.



INCLUSIÓN FINANCIERA DE PAGOS ELECTRÓNICOS PARA PRODUCTORES AGROPECUARIOS Y MICROEMPRESAS ECOTURÍSTICAS EN CUETZALAN, PUEBLA

Francisco Hernández Quinto^{9*}, Regina María Medina Sauza¹⁰, Perla Eva Carmona León¹¹, Marisol Pérez Palestina¹², Jorge Velasco Castellanos¹³ y José Alejo Martínez Castillo¹⁴

Resumen

La pandemia declarada por COVID-19, impactó a la economía mundial incluido al turismo, sin embargo, el sector alternativo y de naturaleza ha mostrado capacidad de adaptarse a la nueva realidad, misma que brinda oportunidades para la recuperación y potencialización de beneficios a las comunidades agrícolas que han apostado por actividades turísticas como alternativas de desarrollo. El ecoturismo, representa una de las principales actividades económicas a nivel internacional, presente en la estrategia de desarrollo de la gran mayoría de las naciones. El ecoturismo y su cadena de valor en México contribuyen de manera positiva al desarrollo económico, especialmente, a productores agropecuarios y microempresas de la región de Cuetzalan, Puebla, caracterizada por comunidades suburbanas y rurales que se dedican a dicha actividad, además de, su aporte a preservar el medio ambiente. Por tanto, dicha actividad resulta de vital importancia para asegurar un apropiado desarrollo, fundado en criterios de sostenibilidad cuyo compromiso este orientado a la solución de problemas productivos, sociales y financieros para la población local, esto es, mitigar problemáticas y reducir brechas comunitarias al perfilar acciones que articulen esfuerzos y promuevan el bienestar local. Así pues, el presente artículo se centra en la aplicación y validación de un instrumento para recolectar datos sobre el impacto de los medios de pago electrónico de la actividad ecoturística, con la finalidad de generar condiciones tecnológicas para la inclusión financiera. En este tenor, se obtuvieron coeficientes de Alfa de Cronbach 0.7 y 0.8, lo cual, indica altos niveles de fiabilidad del instrumento para realizar la

⁹ Tecnológico Nacional de México; Campus Instituto Tecnológico Superior de Perote. Correspondencia: doc-058@itsperote.edu.mx

¹⁰ Innovación de Trade E-fectivo Electrónico, SAPI de CV.

¹¹ Tecnológico Nacional de México; Campus Instituto Tecnológico Superior de Libres.

¹² Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario N 86.

¹³ Centro de Incubación e innovación empresarial del Instituto Tecnológico Superior de la región Sierra.

¹⁴ Trade E-fectivo Electrónico, SAPI de CV.



validación de la prueba piloto en un grupo control específico. Los resultados obtenidos pueden ser considerados un primer diagnóstico para productores agropecuarios y microempresas de la región que participan en la cadena ecoturística y brinda elementos que incidan en la toma de decisiones para la iniciativa privada, sociedad, comunidad y gobierno.

Palabras clave: Diagnóstico, condiciones tecnológicas, servicios financieros

Introducción

En el año 2009 la Organización Mundial del Turismo definió el turismo responsable como una “actividad turística que los turistas y los agentes turísticos realizan con respeto por los lugares de acogida desde el punto de vista medioambiental, cultural, social y económico, y que a su vez la comunidad receptora acepta y respeta y las autoridades protegen y fomentan” de acuerdo con Rivera y Rodríguez (2012). Así pues, tal definición responde a los principios recogidos por Zurab Pololikashvili en el Código Ético Mundial del Turismo, aprobado en 1999 por la Asamblea General de la Organización Mundial del Turismo y reconocido expresamente por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2001.

Por su parte, Mathew y Sreejesh (2017) debaten sobre la influencia del turismo responsable en la percepción de la sostenibilidad de las comunidades locales y, a su vez, en su percepción de la calidad de vida, dado que los beneficios reales del turismo responsable solo se cumplirán si las comunidades locales de estos destinos turísticos perciben que las actividades crean una sostenibilidad favorable del destino y un beneficio recíproco.

Actualmente, un reto importante en el turismo mundial es la manera de evitar o minimizar los efectos adversos y aprovechar al máximo los beneficios potenciales, así pues, se requiere de un enfoque más efectivo y ambientalmente responsable del turismo en áreas naturales. Este nuevo enfoque se conoce universalmente como 'turismo ecológico' o 'ecoturismo'. El término 'ecoturismo', así como su definición preliminar, fueron acuñados en 1983 por Ceballos-Lascuráin (1994), asimismo, esboza que la UIC4 (Unión Mundial para la Naturaleza) define al ecoturismo como "aquella modalidad turística ambientalmente responsable consistente en viajar o visitar áreas naturales relativamente sin disturbar con el fin de disfrutar, apreciar y estudiar los atractivos naturales (paisaje, flora y fauna silvestres) de



dichas áreas, así como cualquier manifestación cultural (del presente y del pasado) que puedan encontrarse ahí, a través de un proceso que promueve la conservación, tiene bajo impacto ambiental y cultural y propicia un involucramiento activo y socioeconómico benéfico de las poblaciones locales".

Por otro lado, Higgins-Desbiolles (2020), considera que a partir de la pandemia del COVID-19, fue inevitable la reflexión entre los empresarios para pensar en un turismo socialmente responsable, que considere, más allá de las ganancias propias, proteger a las comunidades, a ello se suma que en la etapa post COVID-19, las dinámicas de consumo han cambiado instigadas por la desconfianza, la austeridad y la incertidumbre; variables que seguirán influenciando la toma de decisiones del consumidor, especialmente en las lógicas de los viajeros de acuerdo a Rodríguez y Martínez (2022).

Aunque el ecoturismo y el turismo naturaleza son actividades de reciente incorporación a la política turística nacional de acuerdo con Palomino y López (2005) ha sido gracias a que se cuenta con una enorme diversidad biológica (albergada en 161 áreas naturales protegidas, con una extensión equivalente a 11.56% del territorio nacional) y cultural, así como con múltiples culturas indígenas; en México se vive, al igual que en otros sitios, el boom del ecoturismo. Actualmente es posible encontrar por lo menos 602 destinos en las 32 entidades de la república en los que es posible practicar alguna de sus actividades.

No obstante, algunos de estos destinos son áreas naturales que no cuentan con infraestructura turística permanente y cuya explotación turística poco favorece a las comunidades cercanas, ya que los beneficios son acaparados por los operadores del ramo. Otros de estos destinos son parte de circuitos turísticos y concentran mayor infraestructura del sector, como Mundo Maya, Barrancas del Cobre, Corredor de Baja California, etc. Por tanto, el resto de los destinos son pequeños sitios ecoturísticos con una infraestructura permanente y son impulsados por las comunidades locales, por ejemplo, San Nicolás Totolapan, en el Distrito Federal; Pueblos Mancomunados, en Oaxaca; Las Nubes, en Chiapas; Cuetzalan, en Puebla; San Juan Nuevo, en Michoacán; el Parque Eco Alberto, en Hidalgo; etcétera.

Conviene subrayar que, la mayoría de esos destinos se encuentran en zonas rurales y en áreas naturales protegidas, y más de 70% del territorio nacional es de propiedad de ejidos y comunidades rurales e indígenas, también, el turismo en general y el alternativo se han convertido en una actividad emergente potencialmente capaz de atenuar en parte la crítica situación del sector agrario, al generar empleos y un mercado adicional a los productos del campo. (Palomino y López, 2005).

Concretamente, los ecosistemas de economía social y solidaria han sido contextos a través de los cuales, se propagan, diseñan e implementan soluciones territoriales a necesidades colectivas que se



dirigen con acciones a productores agropecuarios y de alimentos articulados al turismo, lo anterior, con la finalidad de apoyar a las cadenas de valor que incluyen desde la producción de productos agropecuarios y alimenticios saludables, hasta el turismo de naturaleza basados en el principio de respetar las prácticas, costumbres, y la cultura propia de la región y su perfil ecoturístico de la localidad de Cuetzalan, Puebla.

Perfilando a las comunidades catalogadas como semiurbanas y rurales de México, tienen la característica de contar con menos de 50 mil habitantes, además, se suma la existencia de alrededor de 1.5 millones de microempresas, de las cuales el 55% de ellas son informales. Asimismo, 4.65 millones de unidades productivas son agropecuarias y el 75.4% de ellas son de autoconsumo familiar, además, el 60% de estos adultos tienen nulos o deficientes servicios financieros con ciertos riesgos y costos del manejo de billetes y monedas tales como la escasez del cambio y el robo por contar con el dinero físico (Hernández, 2017).

En este mismo tenor, la población perteneciente a las comunidades rurales y semiurbanas de Cuetzalan, Puebla están dedicadas al comercio turístico, como productores agropecuarios y microempresas que han presentado necesidades para contar con medio de pago electrónicos que respondan a las condiciones actuales y a su vez sea fácil de usar, brindando seguridad y que ayude a generar oportunidades de negocio en la cadena de valor que integra al sector cada vez más cambiante.

En este contexto, las soluciones de pagos electrónicos que se encuentran en los productos y servicios financieros de las Cooperativas de Ahorro y Sociedades Financieras Populares, están enfocadas a microempresas y consumidores de zonas catalogadas como semiurbanas y rurales, se promueven economías locales y solidarias entre microempresas, productores y sus proveedores con esquemas cooperativos y de comercio justo, a través de aplicaciones seguras basadas en la plataforma de SPEI y CoDi para atender las necesidades de los usuarios de instituciones financieras de ahorro, inversión y crédito popular.

Las soluciones tecnológicas y medios de transferencia de sistemas de pago para los servicios del ecoturismo contribuyen a las condiciones de negocios actuales que conecta o vincula de forma más fácil a las empresas con alto compromiso a la solución de problemas productivos, sociales y financieros de poblaciones desprotegidas y clientes con uso de tecnologías en sus hábitos de consumo frecuentes, generando una demanda mayor de productos financieros de ahorro, crédito y medios electrónicos de pago, aprovechando esquemas de fidelidad a microempresas y consumidores empleando dispositivos



de mayor alcance. Por ejemplo, con la visita de turistas nacionales e inclusive del extranjero, las zonas ecoturísticas y arqueológicas se vuelven un atractivo turismo y de valor para los visitantes.

En suma, la inclusión financiera es necesaria para que los productores y establecimientos de zonas semiurbanas y rurales cuenten con mayores servicios financieros, siendo más accesibles y fáciles para todas aquellas empresas y consumidores con necesidades de transacciones para depositar dinero, enviar y recibir pagos, entre otros servicios comerciales para el desarrollo de negocios en el contexto del COVID-19 y otros retos que implica los nuevos hábitos de consumo. Por tanto, de acuerdo con Gutiérrez (2020) la inclusión financiera significa que las personas y las empresas tienen acceso a productos y servicios financieros útiles y asequibles que satisfacen sus necesidades (transacciones, pagos, ahorros, crédito y seguros) entregados de manera responsable y sostenible.

En el marco de la edición 2018 la encuesta sobre inclusión financiera considera cuatro componentes principales, estos son; a) Acceso a la infraestructura bancaria, referida a las sucursales, los cajeros automáticos, las Terminales Punto de Venta (TPV) y los corresponsales, sin embargo, es necesario ampliar los conceptos de la infraestructura ya que con el uso de la tecnología y la digitalización es más factible llegar a la mayor parte del territorio nacional, b) Uso de productos y servicios financieros, se refiere a la contratación de uno o más de ellos de la oferta existente en el mercado y a la frecuencia de uso de los mismos, cabe señalar que el principal producto utilizado es una cuenta de cheques o ahorro, seguido por el ahorro para el retiro, asimismo, el uso de créditos ocupa la tercera posición y finalmente el servicio de seguros, c) la protección al usuarios, de acuerdo a la Comisión Nacional Para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF) tiene una participación destacada, ya que uno de sus objetivos es supervisar y regular a las instituciones financieras, contribuyendo al sano desarrollo del sistema, orientando a los usuarios y fomentando la transparencia en la utilización de los productos y servicios financieros y d) la educación financiera que juega un papel fundamental, ya que participa en todo el proceso, desde el manejo y planeación de las finanzas personales, hasta el conocimiento y comparación de la oferta existente de los productos y servicios financieros en el mercado.

Por su parte, Ruiz y Ruiz (2020) argumenta que la tecnología ha resultado un gran aliado para fomentar la inclusión financiera digital, es por ello, que los principales retos que tiene la inclusión financiera digital en México son 1) la digitalización, 2) economía basada en el efectivo y 3) mejorar la educación financiera. En el caso particular del municipio de Cuetzalan, Pue., coexisten dos grandes factores que determinan sus potencialidades a nivel del Estado, estos son, por un lado, los recursos naturales en



abundancia como productos agrícolas (café, pimienta, plátano, etc.) derivados de los bosques y selvas húmedas; productos maderables (por ejemplo, cedro rojo tropical y caoba) derivados de los bosques de coníferas y; productos acuícolas (como truchas y sargos) derivados de los ríos y riachuelos. Sin embargo, los cultivos de café y pimienta no son rentables por los bajos precios en el mercado y altos costos de cultivo, al mismo tiempo, los árboles maderables no generan grandes cantidades de producto y la acuicultura es una actividad poco desarrollada en la región.

En este contexto, dichos recursos se presentan en la actualidad como servicios ambientales de belleza escénica y de conservación de la biodiversidad, más que agroforestales. Esto significa, que los recursos naturales del municipio sirven como atractivos turísticos, particularmente, los cultivos de café y pimienta son empleados para realizar senderismo a través de tales plantíos, por su parte, en la mayoría de los ríos al formar cascadas, son percibidos como atractivos para realizar actividades de turismo de aventura. De esta forma, el ecoturismo representa un uso del suelo con una rentabilidad económica por encima de otros usos del suelo, haciendo posible con ello aprovechar y conservar, de forma más adecuada, los recursos naturales (Hernández, 2007; p. 219). Conjuntamente, la cultura indígena y la arquitectura colonial y prehispánica juegan su papel, puesto que en el municipio se ubican más de 500 localidades indígenas, la mayoría hablantes de la lengua náhuatl y descendientes de la cultura Totonaca, con lo citado hasta aquí, se planteó el objetivo de diagnosticar las condiciones y expectativas financieras de los productores agropecuarios, establecimientos de Ecoturismo y su cadena de valor, a través de un estudio de campo para comunidades rurales e indígenas de la región de Cuetzalán, Puebla con el propósito de identificar las necesidades financieras a partir de la pandemia del COVID-19.

Materiales y Métodos

En esta investigación se realizó una recopilación de información sobre las condiciones y expectativas en las que están relacionadas las microempresas y consumidores con los medios electrónicos de pago durante el año 2022, con la intención de conocer la demanda potencial existente para llevar a cabo una encuesta que permita conocer el grado de aceptabilidad sobre un nuevo producto y servicio que desarrolle una mayor inclusión financiera, por ejemplo, identificar si poseen alguna cuenta bancaria, los beneficios al usar medios electrónicos, así como, problemáticas que tienen al usar dinero en efectivo



entre otros aspectos que permitan perfilar las condiciones y necesidades actuales del sector financiero y ecoturístico en la zona.

Para la recopilación de información sobre las preferencias de medios electrónicos y las preferencias de los consumidores potenciales, además de la forma de pago que reciben las microempresas y proveedores, así como, porque prefieren pagar de esa forma, se aplicó la encuesta para poder describir las necesidades de la segmentación del grupo de control.

El instrumento diseñado tiene la característica de ser descriptivo para conocer la opinión que los medios de pago electrónico que generan en el grupo control que estuvo conformado por productores agropecuarios y microempresas de la región de Cuetzalan, Pue., apoyados también de herramientas como *Google Forms* para el diseño del cuestionario, simultáneamente, para observar los resultados de manera gráfica al procesar los datos obtenidos. La encuesta constó de diecisiete preguntas divididas en cuatro secciones, en la primera parte, una introducción a la encuesta y objetivos de la misma, en segundo lugar, comprendió los datos generales del encuestado en cuanto a la actividad económica a la que se dedicaba, en tercer lugar, correspondió a los impactos que generan el uso de los medios de pago electrónico, y finalmente, en el cuarto apartado, corresponde al impacto que genera la falta de uso de éstos tipos de pagos digitales o electrónicos.

Para iniciar, se contempló el muestreo de la investigación de tipo exploratoria en un grupo control al cual se le aplicó la encuesta, dividida en dos subgrupos diferentes: 8,045 productores agropecuarios y 778 microempresas, por tanto, fue necesario obtener una muestra representativa para cada uno respectivamente, en primer lugar, para el análisis estadístico de los productores agropecuarios se utilizó el cálculo de la aplicación *Microsoft Excel* y con ello, se obtuvieron los datos mostrados en el Cuadro 1 y considerando el tipo de población finita, corresponde a 8,045 productores agropecuarios, por tanto, para el tipo de levantamiento se empleó un muestreo estratificado aleatorio simple, en virtud a la población a examinar que estuvo dividida en dos grupos elegidos, así, la fórmula correspondiente se presenta en la Figura 1.

Cuadro 1. Valores de Z para productores agropecuarios.

% Error	% Nivel de confianza	Valor de Z calculado en tablas
0.01	99	2.58
0.05	95	1.96
0.10	90	1.65



$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

- n= Tamaño de muestra buscado
- N= Tamaño de población o universo
- Z= Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza
- e= Error de estimación máximo aceptado
- p= Probabilidad de que ocurra el evento
- q= Probabilidad de que no ocurra el evento

Figura 1. Fórmula y simbología para la estimación de la muestra.

El nivel de confianza elegido para esta investigación fue de 90%, por tanto, el porcentaje de error corresponde 0.10 y el valor de Z calculado en el Cuadro 1 es de 1.65.

Los valores de p y q se consideran 50% y 50% respectivamente, que en decimales corresponde a 0.5. En el Cuadro 2 se muestran los datos pertenecientes a cada variable.

Cuadro 2. Valor de variables para productores agropecuarios.

Parámetro	Valor
N	8045
Z	1.65
e	0.10
p	0.5
q	0.5

Una vez obtenidos los datos que la fórmula solicitaba, se realizó la sustitución de la fórmula, basada en dos partes, primero, se calculó el numerador para posteriormente continuar con el denominador, obteniendo un tamaño de muestra de 41 personas en el marco de los grupos de estudio.

Conjuntamente se calculó la muestra a microempresas, el procedimiento es similar al planteado anteriormente, para obtener la muestra representativa de las 778 microempresas también se utilizó para el análisis estadístico *Microsoft Excel*, dicha población es finita por lo que corresponde utilizar la misma fórmula del muestreo señalado en la Figura 1.

Además, el nivel de confianza elegido para esta investigación fue de 90%, por tanto, el porcentaje de error corresponde 0.10 y el valor de Z calculado en el Cuadro 3 es de 1.65.



Cuadro 3. Valores de Z para microempresas.

% Error	% Nivel de confianza	Valor de Z calculado en tablas
0.01	99	2.58
0.05	95	1.96
0.10	90	1.65

Los valores de p y q se consideran 50% y 50% respectivamente, que en decimales corresponde a 0.5 como se observa en el Cuadro 4 se muestran los datos pertenecientes a cada variable.

Cuadro 4. Valor de variables para microempresas.

Parámetro	Valor
N	778
Z	1.65
e	0.10
p	0.5
q	0.5

Una vez obtenidos los datos basados en la fórmula, se sustituyó en dos partes, primero, se estimó el numerador y enseguida el denominador, obteniendo un tamaño de muestra de 40 personas o microempresas.

Por otra parte, para el proceso de aplicación de la encuesta se dividió en dos fases; en la primera de ellas, se aplicó la encuesta en la zona centro de Cuetzalan, Puebla a los negocios y productores, asimismo, se visitó la cooperativa Tosepan Kali dedicada a la actividad ecoturística que ofrece servicios turísticos y de hospedaje, además, la cooperativa Maseual Xicualis también dedicada al acopio y comercialización de pimienta y café, y finalmente a la cooperativa de salud Tosepan Pajti que se dedica a la medicina alternativa que ofrece productos herbolarios.

El instrumento se aplicó de manera personal a través del programa *Google Forms* para facilitar el procesamiento de datos, logrando encuestar alrededor de 40 microempresarios estimados en la muestra y conjuntamente a 24 productores agropecuarios de una muestra de 41 en total.

En la segunda fase del estudio de campo, fue necesario acudir al municipio para concluir de encuestar a los productores agropecuarios restantes, así pues, fue necesario visitar a la localidad de Tzinacapan en



donde se encontraban algunos productores, lográndose identificar a 9 de ellos. De igual manera, se concurreó a la localidad de San Andrés Tzicuilan, en donde se encuestaron a 8 personas que faltaban en la sumatoria de la muestra señalada para el grupo control.

Para la fase de validación de la escala empleada y su nivel de confianza fue utilizado *Alfa de Cronbach*, esto es, para medir la consistencia interna de la encuesta para medios de pago electrónico se contó con diecisiete preguntas con 33 ítems de tipo *likert*, sin embargo, sólo 27 de los mismos fueron validados al restar los cuestionamientos asociados a los datos generales, así pues, fue posible validar el 82% de la encuesta en su diseño. En este tenor, el proceso de validación de la encuesta se realizó en el programa *Microsoft Excel 2016*, no obstante, no fue posible hacer una sola validación dado que no todos los encuestados respondieron todas las preguntas, lo anterior, debido a los apartados en los que estuvo dividida la misma, por un lado en influencia en el uso e impactos de la falta de uso, conviene resaltar que, el proceso para ambas validaciones fue el mismo, es decir, se tabularon las respuestas de cada encuestado en la escala del 1 al 5 en una hoja de cálculo, tomando en cuenta éstos datos se aplicó la fórmula, y simultáneamente, se obtuvo el resultado del coeficiente de *Alfa de Cronbach* para cada sección respectivamente.

El apartado de impactos del uso contó con un total de 15 ítems que respondieron 28 personas y se obtuvo un coeficiente de *Alfa de Cronbach* de 0.70, factor que indica una fuerte relación entre las preguntas de este apartado. Por otro lado, el apartado de impactos de la falta de uso contó con 14 ítems, contestado por 53 personas y se obtuvo un coeficiente de *Alfa de Cronbach* de 0.81, lo que indica una correlación alta entre los ítems que conforman este apartado.

Resultados y Discusión

En seguida se presentan los principales resultados obtenidos para el grupo de control elegido. Conviene subrayar que, este estudio exploratorio presenta una aproximación inicial a las condiciones tecnológicas para favorecer el incremento de pagos electrónicos tanto en el sector agropecuario y de turismo de la región de Cuetzalan, Pue, lo anterior, plantea que no existe un estudio empírico que relacione el perfil de los actores que participan en la cadena de valor del sector ecoturístico en aspectos de inclusión financiera. Así pues, en primer lugar, para el caso de los productores agropecuarios en relación al perfil de sus negocios señalaron que el producto que siembran fue de un 30.8% de



productores con cosecha café orgánico, por otro lado, el 12.8% cosecha maíz, cítricos, verduras y hortalizas, teniendo así a éstos productos como los más sobresalientes, además, en relación al tipo de ganado con el que cuentan se identificó que en su mayoría cuentan con aves de corral con un 42.9%, también poseen ganado bovino o vacuno en su minoría en un 35.7%.

Por otro lado, se valoró si el productor cuenta con un teléfono con ciertas características, en concreto, el 51.21% de los productores señaló contar con un teléfono clásico que únicamente tiene funciones básicas como llamadas y mensajes de texto, además, el 34.14% respondió que cuenta con un teléfono inteligente que le permite hacer uso de internet, aplicaciones móviles, entre otras más, y finalmente el 12.19% de ellos, no cuenta con teléfono en su actividad diaria, conviene subrayar que, de las personas que cuentan con un teléfono inteligente, el 64.28% ha descargado sólo una aplicación, el 14.28% ha descargado dos aplicaciones y el 21.42% ha descargado tres, tal información permite conocer el almacenamiento aproximado que tienen en sus teléfonos para emplear una aplicación de pagos electrónicos para sus transacciones comerciales.

Otra evidencia importante, fue la frecuencia en el uso de medios de pagos electrónicos por productor, particularmente, el 87.80% no utilizan algún medio de pago para cobrar por sus productos, por otro lado, el 4.87% casi no lo utiliza y un 4.87% lo utiliza ocasionalmente, y sólo el 2.43% lo emplea casi todos los días. Conjuntamente, el medio de pago electrónico más usado por los productores es la transferencia bancaria, en segundo lugar, la tarjeta de débito, utilizando bancos como; 1) Compartamos banco, 2) Banco Azteca, 3) BanCoppel, 4) Banamex y 5) Banco del bienestar que son los medios para efectuar sus pagos electrónicos, posteriormente, le continúan las Cooperativas de Ahorro y Corresponsales como Oxxo y Yastas.

Además, el 40% de productores está de acuerdo en que el uso de los medios de pago electrónico contribuye a brindarle un mejor servicio al cliente, pues obtienen clientes más satisfechos debido a esta ventaja, coincidiendo el mismo porcentaje que casi siempre se incrementan sus ventas y que su negocio es más competitivo por implementar pagos electrónicos.

En contraste, los motivos más sobresalientes por el que los productores no cuentan con pagos electrónicos son la falta o fallas del servicio de internet, enseguida, la desconfianza del medio de pago, después, el uso complicado y con errores del plagio digital, y, por último, el costo del servicio como las comisiones, sin embargo, el 72.22% productores que cuentan con tales servicios opina que nunca le suspenden la compra por la falta de pago electrónico. Así pues, las características más sobresalientes que fueron consideradas para que un medio de pago electrónico sea primordial fueron que estuviera



diseñado especialmente para negocios de la región, usarlo sin la necesidad de un teléfono inteligente, además, que esté autorizado por el gobierno federal y que su base sea la economía solidaria y el bien común para que los pagos sean accesibles y seguros sin intermediarios bancarios.

Finalmente, en relación con la opinión respecto a una aplicación que publique el producto del productor, el 43.90% le gustaría muy poco que tuviera un medio de pago electrónico que le permita publicar su producto y desde allí recibir órdenes de compra, al 19.51% le gustaría de forma regular, al 17.07% le gustaría mucho, al 14.63% no le gustaría y al 4.87% le gustaría bastante esta opción.

En segundo lugar, los resultados obtenidos vinculados al perfil de los microempresarios de la zona de Cuetzalan, Pue., con respecto a los servicios más sobresalientes que ofrecen están los siguientes mostrados en la Figura 2.



Figura 2. Proporciones de productos o servicios ofrecidos.

Por otra parte, un 37.93% de microempresarios señalaron que cuentan con un teléfono inteligente que les permite hacer uso de internet, aplicaciones móviles, redes sociales, entre otras funciones más, y únicamente, el 3.7% cuenta con un teléfono clásico que sólo realiza funciones fundamentales como llamadas y mensajes de texto, conviene subrayar que, aquellos que tienen un teléfono inteligente, el 10.28% de los mismos, ha descargado 3 y 4 aplicaciones, el 4.11% ha descargado 6 aplicaciones, el 3.9% sólo ha descargado 1 aplicación y el 3.8% has descargado 2, 5 y 7 aplicaciones respectivamente. Estas respuestas permiten conocer el almacenamiento aproximado que tienen sus teléfonos móviles.



Complementando lo anterior, un 40% de los microempresarios no usan algún medio de pago electrónico para cobrar por su producto o servicio, un 32.5% lo utiliza ocasionalmente, el 17.5% lo utiliza casi todos los días, un 5% lo utiliza todos los días y el mismo porcentaje del 5% casi nunca lo usa. Es importante señalar que, los medios de pago electrónicos más utilizados son la tarjeta de débito, transferencia bancaria y en tercer lugar la tarjeta de crédito, contratando instituciones comerciales y financieras en el siguiente orden de frecuencia; 1) Compartamos banco, 2) Banco Azteca, 3) BanCoppel, 4) Banamex y 5) Banco del bienestar son los medios con emplean para sus pagos electrónicos, posteriormente, le siguen las Cooperativas de ahorro.

En este contexto, el 66.66% de los microempresarios está de acuerdo en que el uso de los medios de pago electrónico contribuye a brindar un mejor servicio al cliente y así obtener clientes más satisfechos, un 62.5% opina que siempre se incrementan sus ventas con su uso, al mismo tiempo, un 70.83% opina que siempre su negocio es más competitivo por implementar dichos medios. No obstante, algunas limitantes de los motivos más sobresalientes de los microempresarios para no contar con pagos electrónicos son el uso complicado y errores del plagio digital, falta o fallas del servicio de internet, el tiempo prolongado de depósito de los pagos, desconfianza del medio de pago, y finalmente, el costo del servicio, es decir, comisiones.

También, un 35.29% de los microempresarios opinó que algunas veces le suspenden la compra por la falta de pago electrónico, asimismo, el 29.41% señaló que rara vez esto puede pasar y las respuestas casi siempre y nunca obtuvieron un 17.64% respectivamente. Otras evidencias significativas, fueron las características más sobresalientes consideradas para que un medio de pago electrónico sea primordial fueron; pagos accesibles y seguros, un diseño especialmente adaptado a los negocios de la región, que se encuentre autorizado por el gobierno federal, así como, que su base sea la economía solidaria, el bien común y usarlo sin la necesidad de un teléfono inteligente. Finalmente, en cuanto a la opinión de sobre la publicación del producto o servicio, el 62.5% le gustaría mucho que tuviera un medio de pago electrónico que le permita publicar su producto y desde ahí recibir órdenes de compra, al 22.5% le gustaría bastante, al 10% le gustaría de forma regular, al 2.5% le gustaría poco y al restante 2.5% no le gustaría esta opción.



Conclusiones

Este estudio demuestra que los medios de pagos electrónicos tienen posibilidades de éxito en su implementación en la cadena de valor del sector ecoturístico de la zona de Cuetzalan Pue., dado que cuentan con un porcentaje de aceptación y consumo dentro del mercado actual con áreas de oportunidad para generar beneficios mutuos y una mejor experiencia de consumo para los turísticas con necesidades y expectativas cada vez más cambiantes.

La información generada permitirá la toma de decisiones de los actores involucrados; sector público, social y privado acerca de los requerimientos de la dimensión ecoturística entorno a la aceptabilidad y condiciones de pagos electrónicos que poseen los productores agropecuarios y microempresas a partir de la pandemia del COVID-19 y de sus propias limitaciones físicas y tecnológicas que predominan y limitan la inclusión financiera y el comercio electrónico.

Literatura Citada

- Ceballos-Lascuráin, H. 1994. Estrategia Nacional de Ecoturismo para México. MEXICO. Trabajo desarrollado por el Arq. Héctor Ceballos Lascuráin, director del Programa de Ecoturismo de la UICN (Unión Mundial para la Naturaleza). Secretaria de Turismo: México. Recuperado de <https://cedocvirtual.sectur.gob.mx/janium/Documentos/001928Pri0000.pdf> [consultado el 9 de febrero de 2021]
- Gutiérrez, I. 2020. Muy Financiero. <http://www.muyfinanciero.com/conceptos/inclusion-financiera/> [consultado el 9 de febrero de 2021]
- Hernández. 2007. Crecimiento económico, información asimétrica en mercados financieros y microcréditos. *Economía, Sociedad y Territorio*, 6(23), 773-805.



- Hernández. 2017. La financiación de las micro, pequeña y mediana empresa a través de los mercados de capitales en Iberoamérica. Fundación Instituto Iberoamericano de Mercados de Valores. Colombia.
- Higgins-Desbiolles, F. 2020. Socialising tourism for social and ecological justice after COVID-19. *Tourism Geographies*, 22:3, 610-623.
- Mathew y Sreejesh. 2017. Impact of responsible tourism on destination sustainability and quality of life of community in tourism destinations. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 31, 83-89.
- Palomino y López. 2005. Políticas públicas y ecoturismo en comunidades indígenas de México. *Teoría y Praxis*, 5, 33-50. Recuperado de <http://www.teoriaypraxis.uqroo.mx/doctos/Numero5/Lopez-Palomino.pdf> [consultado el 9 de marzo de 2021]
- Rivera y Rodríguez. 2012. Turismo responsable, sostenibilidad y desarrollo local comunitario. *Dialnet Métricas*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=525510> [consultado el 19 de febrero de 2021]
- Rodríguez, J. G. y Martínez, M. C. C. 2022. Turismo responsable: propuesta para gestionar destinos turísticos regionales en la etapa post-COVID-19. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1): 128-136.
- Ruiz, E. y Ruiz, E. 2020. Tres retos de la inclusión financiera. Recuperado de <https://idconline.mx/finanzas/2020/02/25/tres-retos-de-la-inclusion-financiera> [consultado el 9 de febrero de 2021]



ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL HONGO COMESTIBLE *Pleurotus albidus*

Marina Guevara Valencia^{15*}, Karla Olmos Esteban¹⁵, Fabiola Elvira San Juan¹⁵, Miriam C. Pastelin Solano¹⁵
y Régulo C. Llarena Hernandez¹⁶

Resumen

La medicina tradicional tiene creciente importancia debido al elevado consumo que se reporta de productos indicados para remediar diferentes enfermedades. Los conocimientos que se derivan del estudio de los productos naturales enriquecen el conocimiento científico y validan su aplicación en los diferentes problemas de salud para los que son recomendados. Como una fuente importante de estudio se encuentra la etnomicología que aporta el conocimiento tradicional de los hongos como principio alimenticio y medicinal. Las setas del género *Pleurotus*, presentan propiedades nutraceuticas de interés debido a su elevada composición de proteínas y fibras, además de ser ricas en ergosterol, relacionado con su capacidad antibacteriana entre otras propiedades reportadas. *Pleurotus albidus* es una especie con referencias de su uso comestible y medicinal, por lo que este trabajo tiene como objetivo evaluar extractos de *P. albidus* frente a bacterias de interés clínico, para determinar su actividad antibacteriana. Se emplearon esporóforos deshidratados de *P. albidus* realizando una extracción secuencial con acetato de etilo (EPaAE) y metanol (EPaM). Se utilizó el método de Kirby Bauer, como control (+) ceftriaxona y como control (-) los solventes empleados, se ensayaron 10 mg/mL de cada extracto. Las cepas bacterianas fueron donadas por el laboratorio de bacteriología del IMSS. Se empleó la escala de Mac Farland para obtener una concentración de 1×10^8 UFC/mL de cada una de las bacterias. Los resultados señalan que el EPaAE, cuenta con una capacidad de inhibición del 32% para *Pseudomonas aeruginosa* y del 21% para *Staphylococcus aureus*; el EPaM mostró capacidad de inhibición del 30% para *Pseudomonas aeruginosa* y capacidad bacteriostática en *Proteus mirabilis* y *S. aureus*. No se reportan resultados positivos para *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia marcescens*, *Salmonella* spp. y *Streptococcus pneumoniae*. Los resultados son promisorios, y se confirma la actividad antibacteriana de *P. albidus*, la cual puede atribuirse a la presencia de ergosterol componente reportado en las setas. Este trabajo es la primera aportación que se hace al estudio de *P. albidus*, por lo

¹⁵ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Orizaba, Ver. México. Correspondencia: mguevara@uv.mx

¹⁶ Facultad de Ciencias Biológico-Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Amatlán, Ver. México.



que resulta interesante establecer líneas de investigación que enriquezcan el conocimiento de esta especie.

Palabras clave: hongos medicinales, setas ostra, microorganismos nosocomiales

Introducción

Los indígenas de las comunidades boscosas tienen un gran conocimiento de los hongos comestibles silvestres y es un recurso muy estimado por ellos. Son recolectados en la temporada de lluvias identificándolos en base a su forma, color o consistencia, sitio donde crecen y época de desarrollo, han aprendido a clasificarlos por el conocimiento que han heredado de sus antepasados, nombrándolos en forma tradicional (Cano-Estrada, 2016).

México ha jugado un papel importante en el desarrollo de la etnomicología a nivel mundial, debido a su gran diversidad fúngica y biocultural. Esta riqueza es expresada en el uso de más de 370 especies comestibles y 160 utilizadas en la medicina tradicional de los grupos originarios de nuestro país (Bautista-González y Moreno-Fuentes, 2014; Garibay-Orijel y Ruan-Soto, 2014). La etnomicología es el estudio del conocimiento tradicional relacionado con el uso de los hongos por hombres y mujeres, incluyendo las manifestaciones, las implicaciones culturales, la nomenclatura y la clasificación relacionada con aspectos ecológicos, fenológicos y elementos relevantes para cada grupo cultural, además de los usos y formas de aprovechamiento de este valioso recurso (López-García *et al.*, 2020).

Casi todas las especies de hongos comercializadas hoy en día son hongos saprótrofos o lignícolas que se cultivan en sustratos a base de materia orgánica en descomposición, con mayor frecuencia madera (Muñoz *et al.*, 2019). Recientemente, el creciente uso de especies de hongos como: *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm., *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler, *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. y *Grifola frondosa* (Dicks.) Gray, para la alimentación (Royse *et al.*, 2017 y Ferraro *et al.*, 2022), como productos nutraceuticos y cosméticos (Taofiq *et al.*, 2016 y Ma *et al.*, 2018) ha motivado a los científicos a emprender nuevas investigaciones sobre las aplicaciones de los hongos formadores de setas (Di Piazza, *et al.*, 2021).

Las especies de *Pleurotus*, se cultivan ampliamente en todo el mundo, se encuentran principalmente en los bosques tropicales y suelen crecer en ramas caídas, tocones de árboles muertos y en



descomposición y troncos húmedos (Jegadeesh *et al.*, 2018). Estos son ricos en proteínas, fibra dietética, aminoácidos esenciales, carbohidratos, vitaminas hidrosolubles y minerales (Lee *et al.*, 2018; Bano *et al.*, 1988). Tienen una composición abundante en moléculas bioactivas funcionales, que influyen en la salud y se están encontrando aplicaciones únicas como saborizantes, aromatizantes y excelente calidad de conservación (Jegadeesh *et al.*, 2021). Las investigaciones han demostrado que las setas de este género tienen propiedades terapéuticas, como antihipercolesterolemias, antihipertensivas antidiabéticas, antiobesidad, antienviejecimiento, antimicrobianas, antioxidantes y hepatoprotectoras. Esto puede ser una alternativa importante al cambio de dieta de los pacientes en la prevención de enfermedades cardíacas (Valenzuela *et al.*, 2021), teniendo en cuenta todo este potencial de beneficios, los usos potenciales de los hongos *Pleurotus* son numerosos.

Las sustancias bioactivas contenidas en el micelio y los cuerpos fructíferos de las especies de *Pleurotus* presentan propiedades inmunoestimuladoras, antineoplásicas, antidiabéticas, antiateroscleróticas, antiinflamatorias, antibacterianas, antioxidantes, antiviral y antitumoral. Su influencia positiva multidireccional en el organismo humano es el resultado de la interacción de sustancias bioactivas. Los extractos de las distintas especies de *Pleurotus* pueden utilizarse para producir suplementos dietéticos que aumentan la inmunidad del organismo, cosméticos, añadirse a alimentos funcionales como probióticos, o utilizarse como conservantes naturales o ingredientes de alimentos especiales para pacientes con enfermedades específicas (Golak-Siwulska *et al.*, 2018).

Considerando esta información, ante la oportunidad de otorgar mayor valor a un recurso que aprovecha los residuos lignocelulósicos agrícolas, agroindustriales regionales como alimento, el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antibacteriana de extractos de *Pleurotus albidus* frente a bacterias de origen clínico, validando su uso en la medicina tradicional y añadiendo valor al consumo de esta seta.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el LADISER de Biotecnología y Criobiología Vegetal y en el Laboratorio de Microbiología en la Facultad de Ciencias Químicas perteneciente a la Universidad Veracruzana, situados en la ciudad de Orizaba, Veracruz.

El material vegetal fue donado por el laboratorio de hongos y el Área de Proyectos en Agroindustria de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana, ubicada en el

camino antiguo Peñuela – Amatlán km 1, en la localidad de Peñuela municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, en las coordenadas 18°51'39.4"N y 96°54'12.1"W. Los cuerpos fructíferos o esporóforos de *P. albidus* fueron cultivados y cosechados en sustrato de paja de avena (Figura 1a). Durante el cultivo para la producción de esporóforos se usó temperatura ambiente que osciló entre los 25 a 27°C con una humedad ambiental relativa del 90%. Una vez cosechados fueron deshidratados (Figura 1b) y se conservaron en bolsas ziploc® en desecador.



Figura 1. *Pleurotus albidus* a) Cuerpos fructíferos, b) Esporóforos deshidratados.

Los microorganismos fueron suministrados y caracterizados por el Laboratorio de Microbiología del Hospital Regional de Instituto Mexicano del Seguro Social, ubicado en Orizaba, Veracruz. La resiembra de microorganismos se realizó empleando medios selectivos (Cuadro 1) según sus requerimientos nutricionales y se comprobó su identificación de acuerdo las características morfológicas macro y microscópicas.



Cuadro 1. Bacterias, procedencia y medios de cultivo.

Microorganismo	Medio de cultivo	Procedencia	Microorganismo	Medio de cultivo	Procedencia
<i>Enterococcus faecalis</i>	Mac Conkey	Urocultivo	<i>Pseudomonas aeuroginosa</i>	Mac Conkey	Hemocultivo
<i>Escherichia coli</i>	EMB	Urocultivo	<i>Salmonella</i> spp.	Salmonella-Shigella	Coprocultivo
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Mac Conkey	Exudado faríngeo	<i>Serratia marcescens</i>	Agar sangre	Urocultivo
<i>Proteus mirabilis</i>	Mac Connkey	Exudado vaginal	<i>Staphylococcus aureus</i>	S-110	Exudado vaginal

Preparación del extracto de *Pleurotus albidus*

Los cuerpos fructíferos de *P. albidus*, fueron pesados en balanza analítica Marca OHAUS PA224 para posteriormente ser triturados. Se emplearon muestras de 17 g que se colocaron en matraces Erlenmeyer de 500 mL con protección de la luz, se adicionaron 250 mL de acetato de etilo, y se dejó en maceración por 5 días. Pasado ese periodo se filtró al vacío, posteriormente empleando un rotavapor marca Buchi se redujo el volumen hasta obtener 2 g del extracto que se conservó en un frasco ámbar con clave EPaAE. El material vegetal se dejó secar sobre papel adsorbente por 24 h en condiciones de esterilidad, para posteriormente continuar la maceración empleando 250 mL de metanol por 5 días, siguiendo el procedimiento ya mencionado el extracto se identificó como: EPaM. Los dos extractos se conservaron en refrigeración para su posterior análisis.

Escala de McFarland

La escala se basa en la capacidad de precipitación del cloruro de bario en presencia de ácido sulfúrico, se trata de un recuento indirecto de bacterias en donde se compara la turbidez de las muestras con la turbidez de la escala de McFarland. Por cada bacteria se utilizó un tubo de 20 mL con tapa rosca perfectamente etiquetado, conteniendo 15 mL de solución salina previamente esterilizados en autoclave por 15 min a 115 Lb de presión.

En condiciones de esterilidad total se tomó una asada de las colonias sembradas y fueron depositadas en el tubo de ensaye, se utilizó un vórtex marca Sciencie MED MX-S para ajustar la homogeneidad de la mezcla total y lograr la disolución completa en la solución salina. A continuación, se realizó la



lectura en el espectrofotómetro UV-VIS marca Metash V-5000 carga VIS a 600 nm para obtener una absorbancia entre 0.08 a 0.10. El patrón de McFarland más utilizado es al 0.5 y corresponde aproximadamente a una suspensión homogénea de 1.5×10^8 células bacterianas por mL.

Determinación de sensibilidad de bacterias por medio del método Kirby Bauer

Se utilizó agar Muller Hinton marca MCD LAB[®] preparando el medio de cultivo de acuerdo con las indicaciones del proveedor. Una vez disuelto se esterilizó en autoclave durante 15 min a 121°C. En campana de flujo laminar cuando el medio se encontraba entre 45 y 50°C, se vertió en cajas Petri, permitiendo la evaporación y evitando la formación de agua de condensación hasta solidificar, posteriormente las cajas se cerraron y se conservaron en condiciones de esterilidad para su posterior uso.

Se esterizaron discos de papel filtro Whatman N° 1, con un diámetro de 0.5 cm, los discos fueron usados para ser impregnados. Como control positivo (+) se utilizó 0.25 mg/mL de ceftriaxona y para el control negativo (-) se utilizó el solvente del extracto con el que se trabaja. Los discos fueron impregnados con soluciones de 10 mg /mL cada uno de los EPaAE y EPaM.

Para la inoculación de la placa se agitó la suspensión con los microorganismos a ensayar, a continuación, se sumergió el hisopo y se apoyó contra la pared del tubo para eliminar el exceso de microorganismos, en área estéril se inoculó en la caja Petri estriando de lado a lado sobre toda la superficie de la caja, repitiendo el mismo procedimiento hasta lograr una distribución homogénea, la caja inoculada se tapó y se dejó secar por 3 min.

En condiciones de esterilidad y empleando pinzas estériles, se colocaron discos sobre el medio de cultivo ya inoculado, oprimiendo suavemente para asegurar el total contacto con el medio de cultivo, los discos fueron colocados de manera que existiera un espacio considerable para el desarrollo de los microorganismos y evitar interferencias entre cada uno de ellos, posteriormente se etiquetó cada caja, llevándose a incubación a 35 a 37°C en estufa de cultivo por un periodo de 16 a 24 h. La zona de inhibición se midió empleando papel milimétrico. Para cada extracto se siguió el mismo procedimiento, se realizaron tres repeticiones por microorganismo. Los valores de inhibición se expresaron utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Valor de inhibición} = \% \text{ de inhibición} = \frac{\text{halo del extracto mm} - \text{halo del disolvente mm}}{\text{halo del antibiótico mm} - \text{halo del disolvente mm}} \times 100$$

Los valores de inhibición presentados corresponden al promedio de las tres repeticiones.



Resultados y Discusión

Pleurotus albidus, es una especie poco aprovechada, por lo que contribuir al conocimiento de las propiedades atribuidas al género, hacen aún más rentable su cultivo, ya que la región Córdoba-Orizaba, cuenta con la generación de residuos lignocelulósicos agrícolas y agroindustriales que pueden aprovecharse en su producción.

Por otro lado, los antimicrobianos de uso clínico ejercen su acción en algunas de las siguientes estructuras o funciones bacterianas: inhibiendo la síntesis de la pared bacteriana, alterando la integridad de la membrana citoplásmica, impidiendo la síntesis proteica o bloqueando la síntesis o las funciones de ácidos nucleicos. Hay también otros antimicrobianos cuya función es proteger otros compuestos de las enzimas hidrolíticas bacterianas, como es el caso de los inhibidores de β -lactamasas (Calvo y Martínez Martínez, 2009).

Los extractos de *Pleurotus albidus* ensayados, mostraron principalmente capacidad bacteriostática, es decir son capaces de inhibir el desarrollo de las bacterias e impedir su reproducción.

El EPaAE, mostró una capacidad de inhibición del 32% para *Pseudomonas aeruginosa* y el EPaM del 30% (Figura 2).



Figura 2. Ensayos de inhibición bacteriana de *Pseudomonas aeruginosa*, usando extractos de *Pleurotus albidus*.

Pseudomonas aeruginosa, es un bacilo Gram negativo no fermentador, ampliamente relacionado con la infección nosocomial, aeróbico, es un patógeno ubicuo, oportunista, y bastante persistente en el medio



ambiente, en ciertas condiciones de cultivo, desarrolla un color similar al cobre oxidado, como un verdeazulado, debido a un pigmento soluble en agua, llamado piocianina, su membrana celular tiene propiedades excepcionales de impermeabilidad. En la Figura 2, se presenta la prueba de inhibición empleando el EPaAE y como se aprecia se formaron halos de inhibición irregulares en los tres sensidiscos, también se aprecia en la parte superior derecha la presencia del Control (+), ceftriaxona, antibiótico que pertenece al grupo de las cefalosporinas de tercera generación, por lo que tiene acciones de amplio espectro en contra de bacterias Gram negativas y Gram positivas. que presentan como mecanismo de resistencia, transferencia horizontal Metalo- β -lactamasas-clase B, particularmente el EPaAE entre los principios activos que tiene se reconoce al ergosterol el cual es capaz de atravesar la célula bacteriana y destruirla.

De acuerdo con Trigos-Landa y Ortega-Regules (2002), el ergosterol (ergosta-5,7,22-trien-3 β -ol) es un componente importante de las membranas celulares de los hongos. Este esteroide puede transformarse fácilmente en peróxido de ergosterol por fotooxidación con oxígeno singlete, que es capaz de crear poros lo que ocasiona que los iones (fundamentalmente potasio y protones) y otras moléculas se filtren, para matar a las células.

Staphylococcus aureus son cocos Gram positivos, de 0.5 a 1.5 μm de diámetro, que se agrupan en parejas y en tétradas que en forma característica se dividen en más de un plano para formar racimos irregulares, son anaerobios facultativos. En la Figura 3 se muestra el efecto de la inhibición del EPaAE con un 21% de inhibición. Es importante señalar que el Control (+) empleado no es el más adecuado para esta bacteria; sin embargo, en la parte superior derecha se aprecia el efecto inhibitorio, así como en los sensidiscos impregnados con el extracto, mostrando el halo de inhibición.

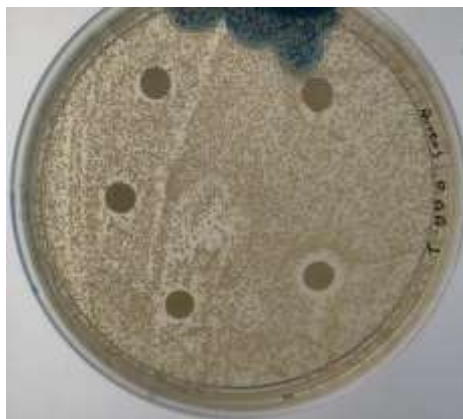


Figura 3. Ensayos de inhibición bacteriana de *Staphylococcus aureus*.



Ambos extractos también fueron ensayados frente a *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Serratia marcescens*, *Salmonella* spp. y *Streptococcus pneumoniae*, sin mostrar signos de inhibición. Los resultados obtenidos son prometedores y señalan la posibilidad de mejorarlos al elevar la concentración aplicada.

También Golak-Siwulska *et al.*, (2018), señalan que los cuerpos fructíferos de las setas ostra tienen un alto valor nutritivo y beneficioso para la salud, señalando que en especies pertenecientes al género *Pleurotus* se han utilizado como fuentes de sustancias con propiedades medicinales documentadas, como compuestos bioactivos de alto peso molecular (polisacáridos, péptidos y proteínas) y compuestos de bajo peso molecular (terpenoides, ésteres de ácidos grasos y polifenoles).

Conclusiones

Pleurotus albidus es una especie poco estudiada perteneciente a un género con importantes cualidades como precursores de la salud. Las pruebas realizadas en este trabajo son evidencia preliminar de su actividad biológica mostrando la capacidad de inhibición bacterial, ante microorganismos patógenos, atribuida al ergosterol. Se considera necesario dar continuidad a este trabajo para determinar una dosis que permita mejorar su efecto inhibitorio, así como para determinar los fitoquímicos responsables de esta actividad.

Literatura Citada

Bano, Z. y Rajarathnam S. 1988. *Pleurotus* mushrooms. Part II. Chemical composition, nutritional value, post-harvest physiology, preservation, and role as human food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 27(2): 87-158.

Bautista-González, J. y Moreno-Fuentes Á. 2014. Los hongos medicinales de México. 91-112.

Calvo, J. y Martínez-Martínez L. 2009. Mecanismos de acción de los antimicrobianos. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica* 27: 44-52.



- Cano-Estrada, A. 2016. Valor económico, nutricional y medicinal de hongos comestibles silvestres. *Revista Chilena de Nutrición* 43(1): 75-80.
- Di Piazza, S., Benvenuti M., Damonte G., Cecchi G., Mariotti M. G. y Zotti, M. 2021. Fungi and circular economy: *Pleurotus ostreatus* grown on a substrate with agricultural waste of lavender, and its promising biochemical profile. *Recycling* 6(2): 40.
- Ferraro, V., G. Venturella, L. Pecoraro, W. Gao y M. L. Gargano. 2022. Cultivated mushrooms: importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture. *Plant Biosystems*, 156(1): 130-142.
- Garibay-Orijel, R. y F. Ruan-Soto. 2014. Listado de los hongos silvestres consumidos como alimento tradicional en México (Á. Moreno-Fuentes & R. Garibay-Orijel, Eds.).
- Golak-Siwulska, I., A. Kałużewicz, T. Spiżewski, M. Siwulski y K. Sobieralski. 2018. Bioactive compounds and medicinal properties of Oyster mushrooms (*Pleurotus* sp.). *Folia Horticulturae* 30(2): 191–201.
- Jegadeesh, R., Lakshmanan, H., Kab-Yeul, J., y Raamanet, S. V. 2018. Cultivation of pink oyster mushroom *Pleurotus djamor* var. *roseus* on various agro-residues by low cost technique. *J Mycopathol Research* 56 (3): 213–220.
- Jegadeesh, Raman, J. Kab-Yeul, O. Youn-Lee y O. Minji. 2021. *Im Ji-Hoon, Lakshmanan Hariprasath and Sabaratnam Vikineswary*. *Mycobiology* 49: 1-14.
- Lee, K., U. Sim, Y. Choi y J. Lee. 2018. Nutritional compositions and antioxidant activities of frequently consumed mushrooms in Korea. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 47 (11): 1178-1184.



- López-García, A., J. Pérez-Moreno, M. Jiménez-Ruiz, E. Ojeda-Trejo, J. Delgadillo-Martínez y F. Hernández-Santiago. 2020. Conocimiento tradicional de hongos de importancia biocultural en siete comunidades de la región chinanteca del estado de Oaxaca, México. *Scientia fungorum* 50, e1280.
- Ma, G., W. Yang, L. Zhao, F. Pei, D. Fang y Q. Hu. 2018. A critical review on the health promoting effects of mushrooms nutraceuticals. *Food Science and Human Wellness* 7: 125-133.
- Muñoz, D., C. Kevin, M. Guajardo, L. Torres, C. Alberto, Ramírez *et al.* 2019. Producción de *Pleurotus ostreatus* (Pleurotaceae) ICFC 153/99 cultivado sobre diferentes residuos lignocelulósicos. *Arnaldoa* 26 (3): 1177-1184.
- Royse, D. J., J. Baars y Q. Tan. 2017. Current overview of mushroom production in the world. En *Edible and Medicinal Mushrooms* pp. 5-13. John Wiley & Sons, Ltd.
- Taofiq, O., A. M. González-Paramás, A. Martins, M. F. Barreiro y I. C. F. R. Ferreira. 2016. Mushrooms extracts and compounds in cosmetics, cosmeceuticals and nutricosmetics-A review. *Industrial Crops and Products* 90: 38-48.
- Trigos Landa, A. y A. Ortega-Regules. 2002. Selective destruction of microscopic fungi through photo-oxidation of ergosterol. *Mycologia* 94 (4): 563-568.
- Valenzuela, P. L., P. Carrera-Bastos, B. G. Gálvez, G. Ruiz-Hurtado, J. M. Ordovas, L. M. Ruilope *et al.* 2021. Intervenciones en el estilo de vida para la prevención y el tratamiento de la hipertensión. *Nature Reviews Cardiología* 18: 251-275.



DEFICIENCIAS DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE *Citrus latifolia* Tanaka EN LA COMUNIDAD DE TLALTETELA, VERACRUZ

Marissa Cortés Pavón¹⁷, Jenifer Mota Aguilar¹⁷, Yeriel Oswaldo Muñoz Morales¹⁷, Jahir Alejandro Sánchez Cortés¹⁷
y Alejandro Quirino Villarreal^{17*}

Resumen

El cultivo de limón Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en México enfrenta diversas deficiencias que pueden influir en su desarrollo y rendimiento. Estas deficiencias están relacionadas principalmente con factores nutricionales, sanitarios, y la falta de diversificación de cultivos asociados afectando la rentabilidad de los huertos de limón persa en el país. Es importante implementar estrategias de manejo adecuado, para superar estos desafíos y promover un cultivo con menores deficiencias fitosanitarias y hacerlo más sostenible. Al ser Veracruz el principal productor nacional de este cítrico la comunidad de Tlaltetela ha implementado su producción, sin embargo, se están presentando indicios de deficiencias en el cultivo y, por ende, en el rendimiento. Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo identificar las deficiencias en el sistema de producción del cultivo de limón en Tlaltetela. Para identificar estas deficiencias se aplicó una encuesta a productores de limón Persa en esta localidad, y así conocer el manejo que le dan a este frutal enfocado principalmente a los rubros de estado y cuidado del suelo, agua, plagas y enfermedades y diversificación de cultivos. Las repuestas fueron analizadas con tablas de frecuencias y gráficos de sectores en el software libre InfoStat versión 2020I. Los resultados demuestran una deficiencia en la disponibilidad del recurso agua, ya que en la comunidad los limonares dependen de la lluvia. También se encontraron deficiencias en el manejo de plagas (*Diaphorina* y ácaros) y enfermedades (Gomosis, Antracosis) y que existe poco conocimiento y cuidado del estado del suelo, ya que el 80% de los limonares están sobre suelos que anteriormente eran cañales y no se realizaron análisis de los mismos, antes de establecer el cultivo de limón Persa. La diversificación de cultivos es escasa, siendo el monocultivo el sistema dominante en la región. Con esto se concluye que el sistema de producción de limón Persa en la comunidad de Tlaltetela está delimitada en gran medida por la variable suelo, plagas y enfermedades y la disponibilidad de agua.

¹⁷ Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Campus Xalapa. Circuito Gonzalo Aguirre Beltrán S/N CP 91097. Zona Universitaria Xalapa, Veracruz, México. *Correspondencia: quirino@uv.mx



Palabras clave: Limón Persa, suelos, plagas, agua, diversificación

Introducción

En México se cultivan dos especies importantes, limón Persa (sin semilla) y el limón Mexicano (SADER, 2018), en el país los cítricos forman parte de la dieta de la población, el consumo de estos es muy elevado haciéndolo un producto agrícola básico (Montenegro, 2015). Tan sólo en el año 2021 en México se produjeron 2,547,834 millones de toneladas de limón y limas, colocándolo como el segundo productor en el ámbito mundial (FAO, 2023). México es el principal productor de limón Persa, seguido de la Unión Europea, Argentina, Estados Unidos y Turquía. En 2021, México aumentó un 4%, más la producción (2,964,621 toneladas) en comparación con lo obtenido en 2020 (2,851, 427) (SIAP, 2022).

La producción de limón del país está representada principalmente por el estado de Veracruz aportando el 27.3% del total nacional seguido por Michoacán con 27%, Oaxaca 10.3%, Colima 10.1%, Tamaulipas 4.8% y Jalisco 3.6%. Estos estados, aportan 83% de la producción de limón en el país (SIAP, 2022). Dentro del estado cuatro municipios son representativos en la producción de limón, ocupando el primer lugar Martínez de la Torre aportando 49%, Atzalan 17%, San Rafael 15%, Tlapacoyan 13% y Papantla el 6% de la producción del estado (Valderrama *et al.*, 2022).

Las características geográficas y climáticas de la zona, además, del manejo que se le da al cultivo de limón en Martínez de la Torre permiten obtener 108 toneladas en una superficie de 6 hectáreas (Valderrama *et al.*, 2022). Además del tipo de suelo rico en materia orgánica provee un suelo fértil para la producción de limón Persa, con buena retención de humedad (INEGI, 2010a), el control de plagas y enfermedades permiten mantener la calidad y aumentar la producción de limón en esta zona (Valderrama *et al.*, 2022).

Los rendimientos altos del limón Persa en diversas regiones de Veracruz han causado interés de los productores de otras zonas del estado para cultivarlo en sus tierras. La comunidad de Tlaltetela es considerada una nueva región limonera, iniciando con producciones significativas de limón Persa desde 2006. En la actualidad se registran rendimientos anuales que fluctúan desde 30 y 35 ton/ha. Con un aproximado de 600 productores de limón en un aproximado de 650 hectáreas (Vásquez, 2018). Por ello, con el trabajo en conjunto con el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria



(SENASICA), la producción de la comunidad de Tlaltetela, se suma al limón destinado a exportaciones principalmente a Corea del sur (SENASICA, 2023).

Dado que Tlaltetela es una zona donde no existe apoyo por ninguna institución gubernamental ni particular del rubro de la agricultura para el limón, la falta de estudios sobre los sistemas de producción de limón persa, así como el desconocimiento de algunos de los requerimientos y manejo del cultivo acorde al lugar donde está establecido. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo detectar deficiencias en el sistema de producción agrícola del cultivo de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) en Tlaltetela, Veracruz, para que sean del conocimiento de los tomadores de decisiones y de esta manera la región pueda contar con apoyos gubernamentales.

Materiales y Métodos

Descripción del sitio

El estudio se desarrolló en la comunidad de Tlaltetela, municipio de Tlaltetela, Veracruz. Se ubica en las coordenadas geográficas 19°11'40.92" N, 97°01'53.04" W. Ocupa el 0.39% de la superficie del estado, cuenta con 49 localidades, y una población total de 16,485 habitantes (INEGI, 2010b). Limita al norte con los municipios de Cosautlán de Carvajal, Teocelo, Coatepec y Jacumulco; al este con Jalcomulco, Apazapan y Puente Nacional; al sur con Puente Nacional, Totutla, Tenampa y Huatusco; al oeste con Huatusco, el estado de Puebla y los municipios de Ixhuacán de los Reyes y Cosautlán de Carvajal (Figura 1).

Tlaltetela presenta climas de los tipos cálido subhúmedo de humedad media (30.08% de la superficie municipal), semicálido húmedo (27.94%), cálido subhúmedo de mayor humedad (25.54%), semicálido húmedo (14.30%) y cálido subhúmedo menor humedad (2.14%). Con rangos de precipitaciones pluviales de 900 a 2,100 mm anuales. El territorio posee cinco suelos dominantes, Leptosol (70.44%), Andosol (13.52%), Luvisol (10.67%), Vertisol (2.79%) y Phaeozem (2.08%). De la superficie total de Tlaltetela el 48.21% es utilizado para la agricultura, el 25.32% corresponde a vegetación de pastizales, el 15.97% a selvas y el 10.00 a bosques (INEGI, 2010b).

El territorio de la comunidad corresponde a una gran meseta rodeada de dos barrancas principales, al norte la barranca que alberga la cuenca del río “La Antigua”, mientras que al sur se encuentra la cuenca del río “Poxtla”.



En la meseta, a una altitud menor a los 1000 m se encuentran la mayoría de los terrenos destinados al cultivo de limón persa. La vegetación originaria del lugar fue selva baja caducifolia, pastizales y bosque de encino, con pequeños arroyos de flujo temporal, activos en temporada de lluvias que comprende los meses de junio a noviembre y normalmente secos o con un nivel de agua muy bajo el resto del año (INEGI, 2010b).

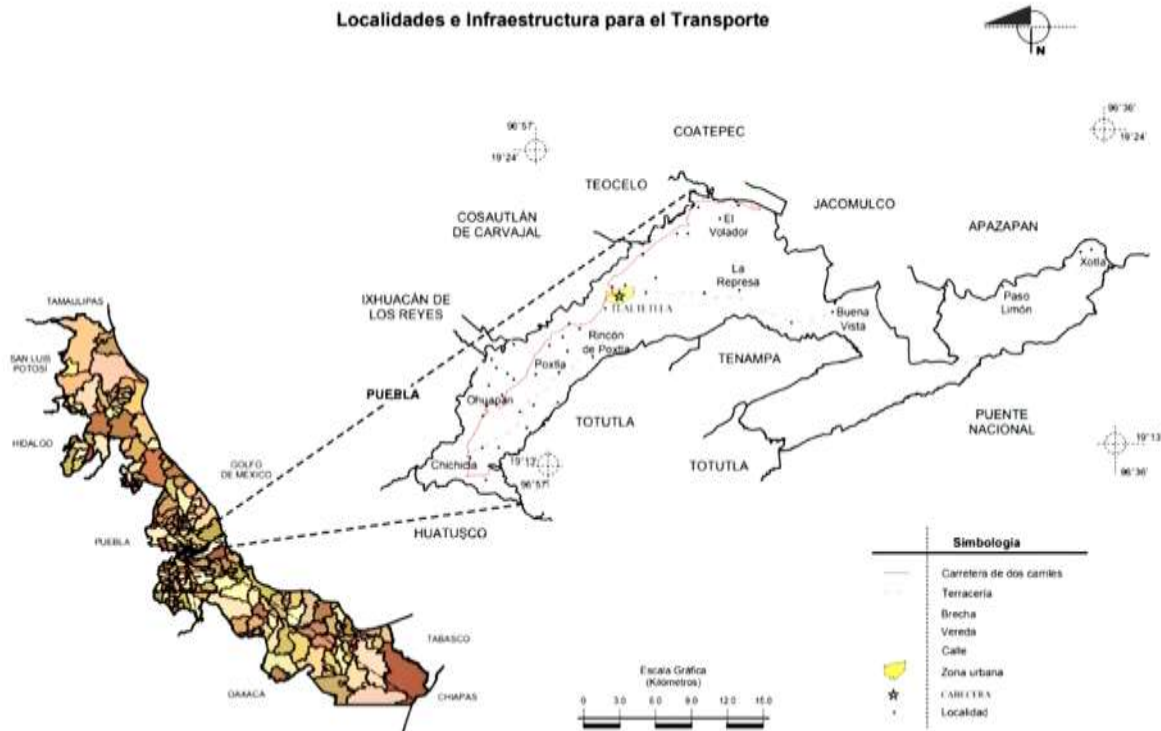


Figura 1. Ubicación geográfica y delimitación de la cabecera municipal de Tlaltetela, Veracruz, (INEGI, 2010b).

Métodos

El 4 de abril del 2023, se aplicó una encuesta de tipo estructurada, con preguntas abiertas para obtener información acerca del manejo que le dan a su limonar, a 20 productores de la comunidad Tlaltetela, Veracruz, que accedieron a participar.

Las preguntas fueron diseñadas para abarcar cuatro rubros: estado y manejo del suelo; agua; plagas y enfermedades; y diversificación de cultivos (Cuadro 1). Estas se basaron en la forma de recolección de



datos de AGRIS (Encuesta Agrícola y Rural Integrada) evaluada por la FAO, el Banco Mundial y otras instituciones de carácter internacional, sobre las dimensiones técnicas, económicas y ambientales de las unidades de producción agropecuaria (FAO, 2018).

Cuadro 1. Encuesta aplicada a productores de limón Persa de la comunidad de Tlaltetela, Veracruz.

Rubro	Preguntas
Estado y manejo del suelo	1. ¿Alguna vez ha mandado a realizar un análisis de suelo? ¿De ser así, le ofrecieron una explicación o recomendación de acuerdo con el resultado? ¿Aplicó esas recomendaciones? 2. ¿Ha recibido alguna vez un curso, apoyo u orientación por parte de alguna institución? ¿Qué institución? 3. ¿Ha aplicado alguna técnica de conservación de suelos en su parcela? 4. ¿Qué acciones ha implementado para mejorar la eficiencia de su cultivo?
Agua	5. ¿Qué tipo de riego utiliza y de donde obtiene el agua? 6. ¿Con que frecuencia riega en temporada de sequía?
Plagas y enfermedades	7. ¿Su cultivo ha presentado o presenta plagas o enfermedades? ¿Cuáles? 8. ¿Para el control de plagas, enfermedades o malezas ha aplicado productos orgánicos o inorgánicos?
Diversificación	9. ¿Tiene otro cultivo dentro del limonar? ¿Cuál o cuáles? 10. ¿Qué podemos encontrar alrededor de su parcela de cultivo? ¿Vegetación nativa, secundaria, plantaciones o asentamientos urbanos?

Para el registro de las respuestas se siguió la recomendación de AGRIS sobre el uso de tecnologías para la Entrevista Personal Asistida por Computadora (CAPI, por su sigla en inglés) (FAO, 2018), a fin de mejorar la calidad y oportunidad de los datos, para ello se creó una base de datos en el programa Excel versión 2306 dentro de la paquetería de Microsoft 365. Para el análisis de los datos se realizaron tablas de frecuencias y gráficos de sectores en el software libre InfoStat versión 2020I.



Resultados y Discusión

Estado y manejo del suelo

El 65% de los productores de limón de la comunidad de Tlaltetela encuestados no han recibido alguna orientación sobre el sistema de producción de limón Persa, los pocos productores que recibieron capacitación (35%) la obtuvieron de instituciones como: SEDARPA, Walmart, gobierno municipal, PROCAMPO y Universidad Veracruzana.

Con la finalidad de aumentar la productividad de su limonar y mejorar las condiciones del suelo, solo un 20% de los productores realizan actividades como podas, riegos más frecuentes y, adición de abono y pulpa de café al suelo. Como lo menciona Salgado *et al.* (2016) estas actividades son importantes en el cuidado y manejo del cultivo para evitar la pérdida de algunos nutrientes del suelo.

Los resultados de las encuestas demuestran que el 80% de los limonares están en tierras que anteriormente eran sembradíos de caña, un 15% donde existían cafetales y un solo un 5% en suelo virgen. El 75% de productores entrevistados no ha realizado algún análisis de suelo, cinco productores analizaron

suelo (25%), de los cuales, dos no recibieron interpretación de sus resultados ni recomendaciones, tres de ellos recibieron recomendaciones que fueron aplicadas (Cuadro 2).

Cuadro 1. Tabla de frecuencias de resultados sobre el análisis de suelos de la comunidad de Tlaltetela, Veracruz.

Rubro	Categoría	Frecuencia (%)	
		Absoluta	Relativa
Realizó análisis de suelo.	NO	15	75
	SI	5	25
Recibió interpretación y recomendaciones respecto al análisis de suelos obtenidos.	NO	2	40
	SI	3	60
Aplicó las recomendaciones que recibió.	NO	0	0
	SI	3	100



Como lo menciona Dúa *et al.* (2021) es muy importante conocer el estado del suelo ya que es un factor determinante para el desarrollo de las plantas. En este caso, se observa que los productores no tienen conocimiento de su estado de suelo, pero realizan algunas actividades para proteger y conservarlo ya que

se identificó que el 75% de los productores realizan alguna de acción, 35% de ellos, utiliza coberteras verdes (leguminosas principalmente), 10% aplica labranza, 10% incorpora materia orgánica y otro 10% realiza terrazas para retener el suelo y, por ende, la humedad.

Recurso agua

La disponibilidad del agua en la zona de Tlaltetela para el riego del limón proviene principalmente de lagunas de captación, arroyos, del sistema potable y algunos productores mantienen como cultivo de temporal al esperar la lluvia (Figura 2a). Independiente de la disponibilidad del recurso el tipo de riego con mayor representación es por goteo, aspersión, desnivel, algunos productores esperan las lluvias para que el limonar disponga de agua, otros realizan riego con manguera directamente de la red de agua potable (Figura 2b).

La frecuencia del riego con mayor representatividad fue cada 15 días, seguido de cada 20 días y cabe resaltar que un 5% no realiza riego esperando el temporal de lluvias (Figura 2c); estos lapsos de riego deberían ser un poco más prolongados, ya que se recomienda un lapso seco de al menos un mes, para estimular al árbol y aumentar la floración (Vanegas, 2002; Castelán 2017; Miranda *et al.*, 2017).

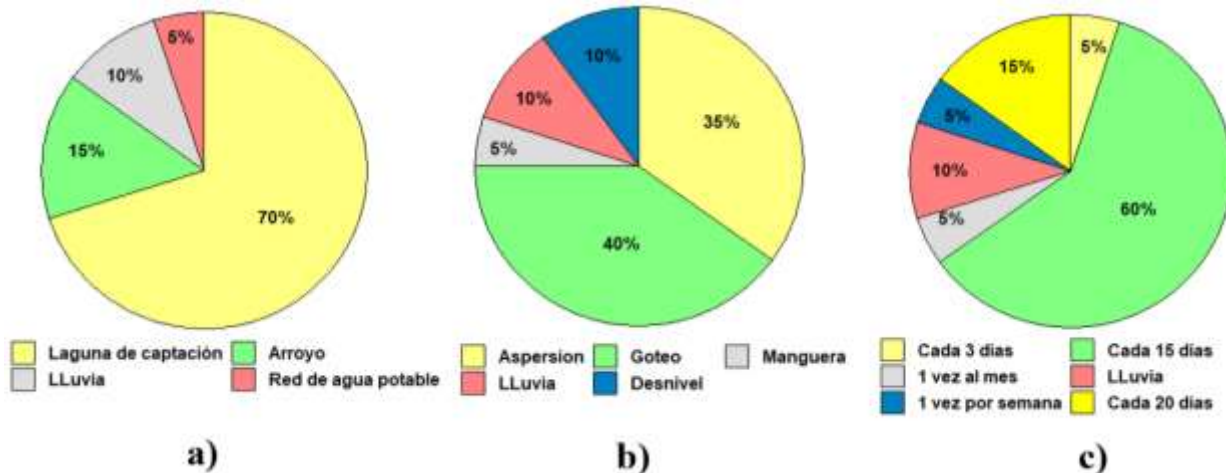


Figura 2. Importancia relativa de la a) fuente del agua, b) tipo de riego y c) frecuencia de riego resultante de las encuestas aplicadas a productores de limón Persa en Tlaltetela, Ver.



Plagas y enfermedades

El 100% de los productores encuestados en Tlaltetela mencionó tener problemas fitosanitarios en su limonar, de los más representativos fueron: gomosis (20%), antracnosis, *diaphorina* y ácaros (15%), araña roja (5%), arriera, fumagina y pulgón (5%), hongos (3%) y palomilla, gusano, *Phytophthora*, escama de nieve y virus de la tristeza (1%). De acuerdo con López (2019) estas plagas y enfermedades enlistadas son muy comunes en los sistemas de producción de limón y al presentar estas enfermedades la productividad de las plantas disminuye al no ser tratadas (Valderrama *et al.*, 2022).

Para el control de las plagas y enfermedades, el 45% de los productores usa mayormente productos orgánicos, el 35% no hace ningún control de ellas y el 20% restante las controla usando productos sintéticos. Para controlar las malezas, el 67% de los productores emplea productos químicos y el 33% restante lo hace manualmente mediante chapeos o ruedos realizados con azadón. El tratamiento en Tlaltetela, solo se aplican una vez al año y en su mayoría usan productos orgánicos como caldo sulfocálcico y sintético como “quemante” para controlar las malezas. La frecuencia de aplicación y el tipo de agroquímico es el determinante de la prevalencia de las plagas y enfermedades en el sistema de cultivo de limón, como lo mencionan García *et al.* (2021).

Diversificación de cultivo

En Tlaltetela, el 50% de los productores comentan no tener ningún cultivo asociado o alrededor de su cultivar de limón. Por lo que se recomendaría diversificar el cultivo principalmente para la protección del suelo, así como para un mejor control y manejo de plagas y enfermedades (Uphoff, 2015; Berdeja *et al.* 2018; FAO, 2020).

En contraste dentro del sistema de limón en Tlaltetela, el 50% de los productores tienen algún cultivo asociado, y se observó una disminución en un 30% de la incidencia de plagas y enfermedades. Los cultivos asociados más representativos fueron el café y maíz en las orillas de limonar y calabacita dentro del sistema. Independientemente del cultivo asociado, estos productores están atendiendo una de las necesidades para la conservación del suelo y reducción de impacto al suelo por un monocultivo (FAO 2020; Fortín y González, 2022), también estarían atendiendo una necesidad económica y la diversificación de sus ingresos por la obtención de otros productos (García *et al.*, 2009).



Conclusiones

1. En su mayoría los productores de Tlaltetela entrevistados no conocen el contenido nutricional ni características físicas del suelo en el que se estableció el sistema de producción de limón Persa.
2. Se detectaron deficiencias como la escasez de agua para riego, bajo control de plagas y enfermedades y la poca diversificación del cultivar en el sistema de limón Persa de la comunidad de Tlaltetela.
3. Para controlar la plagas y enfermedades, la mayoría de los productores usan productos de origen orgánico, mientras que el uso de agroquímicos sintéticos es casi nulo.

Agradecimientos

Se agradece a los productores entrevistados de la comunidad de Tlaltetela, Veracruz por su accesibilidad a responder el cuestionario y dar apertura al conocimiento del estado de sus sistemas de producción de limón Persa.

Literatura Citada

- Berdeja A., R, G. Martínez-Patricio, M. Medel-Simón J. Méndez-Gómez, A. Ibáñez- Martínez. 2018. La fertilización química y orgánica al suelo en lima Persa (*Citrus latifolia* Tan.) mantiene el rendimiento y calidad del fruto. Acta Agrícola y Pecuaria 4 (1):10–7.
- Castelán Primo M. A. 2017. Producción y calidad de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación en el estado de Campeche. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 85p.



Dua, S., P. Jain y A. Goyal. 2021. Impacto de las Prácticas de Manejo de la Salud del Suelo en el Crecimiento y Rendimiento de Limón (*Citrus limon* L.) bajo Condiciones Subtropicales. *Revista de Nutrición Vegetal* 44 (2): 235-244.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2023. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [consultado el 14 de junio de 2023].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. AGRIS Guía para la Encuesta Agrícola Integrada. Roma, Italia. 544 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. Fomento de la agricultura y del desarrollo rural sostenibles. Colombia. 35 p.

Fortín, M. y M. González. 2022. Manual de capacitación Diversificación productiva. IICA, San José, Costa Rica. 32 p.

García-Hernández, J., R. Valdez Cepeda, R. Servín-Villegas, B. Murillo-Amador, E. Rueda-Puente, E. Salazar-Sosa, *et al.* 2009. Manejo de plagas en la producción de hortalizas orgánicas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10 (1):15-28.

García-Lozano, M., E. Quintana-Rodríguez y ME. Sosa-Morales. 2021. Estrategias de control de enfermedades poscosecha de cítricos. *Tecnología de alimentos y bioprocesos* 14 (3): 357-377.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010, Martínez de la Torre, Veracruz de Ignacio de la Llave. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30024.pdf [consultado el 15 de junio de 2023].



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010b. Compendio de información geográfica municipal 2010, Tlaltetela, Veracruz de Ignacio de la Llave. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30024.pdf [consultado el 15 de junio de 2023].

López L., G. 2019. Nutrición del cultivo de Limón Persa (*Citrus latifolia*). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Facultad de ingeniería subsede Villa corzo. Villa Corzo, Chipas, México. 45 p.

Maya, C. J. 2017. Cítricos mexicanos en el mercado japonés: experiencias y oportunidades para Sinaloa. México y la cuenca del pacífico 6 (16):107-142.

Miranda, J.H., L.S. Cardoso, Rodrigues, W. P., J. M. Soares, C.R. de Souza y S.C. Martins. 2017. Influencia de diferentes sistemas de riego en los aspectos fisiológicos y nutricionales de las plantas de tilo persa. *Scientia Horticulturae* 224: 192-198.

Montenegro, A. 2015. "Los cítricos y su potencial", *El Debate*. <http://www.debate.com.mx/economia/Los-citricos-y-su-potencial-20150921-0135.html>. [consultado el 20 de junio de 2023].

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Limón mexicano, único en el mundo. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/limon-mexicano-unico-en-el-mundo> [consultado el 13 de junio de 2023].

Salgado-García Sergio, D.J. Palma-López, J. Zavala-Cruz, S. Córdova-Sánchez, M. Castelán-Estrada, L. C. Lagunes-Espinoza *et al.*, 2016. Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 3(9):345-356.



SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria). 2023. Huertos de limón persa para exportación a Corea del Sur, Temporada 2023. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/797153/DIRECTORIO_HUERTOS_COREA_24-01-2023.pdf [consultado el 13 de junio de 2023].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Oferta nacional de limón. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/694234/Nota_sobre_produccion_y_precio_de_limon_20ene22_.pdf [consultado el 13 de junio de 2023].

Uphoff, N. 2015. Sistema de Intensificación del Cultivo del Arroz. San José, Costa Rica, IICA, SRI-Rice. 55 p.

Valderrama, A. M., I. Caamal, V. G. Fernández y J. J. Ramírez. 2022. Sustentabilidad del sistema de producción de limón persa en Martínez de la Torre, Veracruz. Agricultura, sociedad y desarrollo 19 (2): 213-228.

Vanegas, M. 2002. Guía técnica cultivo de limón pérsico. IICA. <http://repiica.iica.int/docs/B0217E/B0217E.PDF> [consultado el 20 de junio de 2023].

Vásquez, J. 2018. Aromáticos y agridulces. Imaginarios sociales, autonomía y trabajo campesino en Tlaltetela Veracruz. Tesis de doctorado. Colegio de San Luis. Campus San Luis. San Luis Potosí, San Luis Potosí.



COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE GENOTIPOS DE GARBANZO TIPO *KABULI* EN CONDICIONES DE RIEGO NORMAL Y DEFICITARIO

Raúl Ávalos Castro^{18*}, Claudia M. Melgoza Villagómez¹⁸, José Denis Osuna Amador¹⁸, Pedro F. Ortega Murrieta¹⁹
y Gustavo A. Fierros Leyva¹⁹

Resumen

El estrés hídrico es el factor que más influye sobre la productividad de la planta, por lo que se deben generar propuestas encaminadas a mitigar los efectos del cambio climático y reducir el consumo de agua en la agricultura a través de la generación de variedades que hagan un uso eficiente del recurso hídrico, por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento de 16 genotipos de garbanzo tipo *Kabuli* en condiciones de riego normal (RN) y deficitario sostenido (RD) en el Valle de Santo Domingo, Baja California Sur, para ello se desarrolló un experimento de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, donde el riego constituyó la parcela grande y el genotipo la parcela chica. Las variables evaluadas fueron el rendimiento de grano en campo (RGC), rendimiento de grano cribado (RC) y calibre de grano cribado (Cal). Adicionalmente, se desarrolló un análisis económico de la implementación de RN y RD. Los resultados indicaron que los factores en estudio influyeron ($p < 0.001$) sobre todas las variables de respuesta. En cuanto a riego, RN presentó los mejores valores de RGC (2.92 t/ha), RC (2.57 t/ha) y Cal (44 granos en 30 gramos). Para genotipos G4, G5, G6, G7, G9, G11, G12, G13 y G14 resultaron con el mejor RC con valores de 2.13 a 2.62 t/ha. Las condiciones de riego deficitario sostenido en el cultivo de garbanzo redujeron significativamente el rendimiento de grano en campo y cribado, sin embargo, destaca la habilidad de G6, G4, G14 y G11 para lograr un rendimiento de grano cribado superior (1.95 – 1.99 t/ha) en condiciones de riego limitado. La implementación del RD limitó el retorno económico y la relación beneficio/costo, mientras que incrementó la productividad del agua; este último aspecto relevante ante el reto de producir alimentos con un recurso hídrico cada vez más comprometido y con una demanda de alimentos mayor en respuesta a una población creciente.

¹⁸ Campo Experimental Todos Santos – INIFAP. *Correspondencia: avalos.raul@inifap.gob.mx

¹⁹ Campo Experimental Costa de Hermosillo – INIFAP.



Palabras clave: *Cicer arietinum* L, estrés hídrico, irrigación por goteo

Introducción

El estrés hídrico en las plantas se presenta cuando la transpiración excede el agua absorbida por sus raíces, lo que influye en el crecimiento y productividad (Luna *et al.*, 2012; Ulemale *et al.*, 2013). El aumento en la recurrencia e intensidad de las sequías en zonas áridas y semiáridas del planeta ha sido pronosticado (IPCC, 2014; Ault *et al.*, 2016; Stevenson *et al.*, 2022), aunado a la condición deficitaria en acuíferos (CONAGUA, 2023), incrementan la probabilidad de que los cultivos agrícolas experimenten estrés hídrico. Para el cultivo de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), tercera leguminosa de mayor consumo a nivel global (Muehlbauer y Sarker, 2017) y de gran importancia para el Valle de Santo Domingo, Baja California Sur (Melgoza-Villagomez y Gutierrez, 2019), se ha documentado la tolerancia a estrés hídrico con respecto a otras leguminosas de grano (Turner *et al.*, 2001). Los efectos negativos provocados por el estrés hídrico en la planta consideran la alteración del metabolismo fisiológico y bioquímico (Rozrokh *et al.*, 2012) lo que deriva en una reducción del rendimiento, disminución del calibre y del porcentaje de grano de exportación (Durón *et al.*, 2004; Ulemale *et al.*, 2013). Una estrategia para enfrentar el estrés hídrico en los cultivos agrícolas y con esto de contribuir a la estabilidad del rendimiento se centra en la identificación de genotipos de mayor tolerancia a este tipo de estrés (Frahm *et al.*, 2003; Matta, 2004; Ulemale *et al.*, 2013; Guriqbal *et al.*, 2016). En la región noroeste de México, zona en la que se establecen 89,586.53 hectáreas del cultivo de garbanzo (SIAP, 2022), se cuentan con pocas experiencias sobre la evaluación de genotipos con irrigación óptima y las afecciones derivadas de la presencia de estrés hídrico (Osuna-Amador *et al.*, 2023), que además hayan identificado genotipos de mayor tolerancia a este tipo de estrés (Fierros-Leyva *et al.*, 2017). Con base en lo descrito el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento productivo de 16 genotipos de garbanzo tipo *Kabuli* en condiciones de riego normal y deficitario sostenido.



Materiales y Métodos

Sitio de estudio

La investigación se llevó a cabo en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Baja California Sur, localizado en 25° 00'36'' latitud N y 111°39'49'' longitud O, a una altitud de 48.3 metros sobre el nivel medio del mar. El clima es muy seco, la precipitación media anual es de 200 mm y la temperatura promedio de 22°C (CONAGUA, 2018). El experimento se estableció el 22 de diciembre de 2022, bajo condiciones de riego por goteo, en suelo franco arcillo arenoso, con 0.23% de materia orgánica, bajo nivel de NO₃ (0.87 – 17.6 ppm) y K₂O (9.9 – 28.7 mg/kg) y alto contenido de P₂O₅ (0.9 a 12 mg/kg), pH alcalino (8.9) y conductividad eléctrica de 0.76 dS/m.

Establecimiento del experimento

Se estableció un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones y con arreglo en parcelas divididas, considerando como parcela grande dos niveles de irrigación y como parcela chica la evaluación de 16 genotipos de garbanzo (Cuadro 1). La superficie total de la parcela experimental fue de 1,536 m² y cada bloque fue de 256 m², en donde cada genotipo se distribuyó en cuatro surcos de cuatro metros de longitud espaciados a 0.8 m (3.2 m x 4.0 m); se consideró una separación entre los genotipos contiguos de un metro. La siembra se desarrolló el 22 de diciembre utilizando una densidad de 10 semillas m⁻¹ en hilera sencilla. Se cultivaron siguiendo las recomendaciones de manejo locales para este cultivo (INIFAP, 2017). Para ambos niveles de irrigación, los riegos se aplicaron con cinta de goteo calibre seis milésimas y goteros separados a 20 cm, con una presión estimada de 11 psi. Se fertilizó con la dosis 90-40-0, con las fuentes UAN 32[®] y ácido fosfórico. El nitrógeno se fraccionó en partes iguales y se aplicó a los 15, 30 y 50 días después de la siembra; el fósforo se aplicó a los 15 días después de la siembra. Para el control de maleza, se hicieron aplicaciones preemergentes de oxifluorfen a dosis de 240 g i. a/ha disueltos en 270 litros de agua. Para el control de gusano minador (*Liriomyza sativae*), principal plaga presente en el sitio, se utilizó Clorantraniliprol a dosis de 150 mL/ha de material comercial.



Cuadro 1. Descripción de los niveles de riego (parcela grande) y genotipos (parcela chica) evaluados el ciclo O-I 2022-2023, Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del INIFAP, Comondú, Baja California Sur, México.

Parcela grande		Parcela chica	
Nivel de irrigación	Descripción	Identificación genotipo	de Descripción
RN	Riego normal recomendado. Consideró la aplicación de 40 cm de lámina de riego total, con intervalos semanales de aplicación.	G1	Blanoro
		G2	HOGA-2006-59-9
		G3	HOGA-2008-7-6
		G4	HOGA-2008-6-20
		G5	HOGA-2012-31-6
		G6	HOGA-2010-23-7
		G7	HOGA-2007-2-5
		G8	HOGA-2006-40-8
		G9	HOGA-2011-31-16
		G10	Blanco Sinaloa
RD	Riego deficitario. Consideró la aplicación de 20 cm de lámina de riego total, con intervalo semanal de aplicación.	G11	HOGA-2006-40-12
		G12	HOGA-2010-29-20
		G13	CUGA-09-20-31
		G14	HOGA-2006-27-1
		G15	Calisur
		G16	HOGA-2008-5-15

Variables productivas evaluadas

Los genotipos (parcelas chicas) fueron cosechados a los 130 días después de la siembra de manera manual, considerando una superficie de 4.8 m² para estimar rendimiento de grano en campo (RGC) y rendimiento de grano cribado (RC), ambos en t/ha, determinando a través del cribado del grano utilizando una malla de 9 mm. Adicionalmente, se estimó el calibre de grano cribado (Cal) contabilizando el número de granos en una muestra de 30 gramos. La trilla y limpieza del material se realizó en forma manual.



Análisis estadístico

A los resultados obtenidos se les aplicó un análisis de varianza con el procedimiento GLM y comparación de medias de tratamientos a través de la prueba de Tukey ($p < 0.05$) con el paquete estadístico SAS (2014).

Análisis económico

Se desarrolló un análisis económico y determinó la productividad del agua (kg de grano m^{-3}), a partir del cálculo de los costos de producción para cada estrategia de riego. Considerando el promedio de RGC obtenido en cada estrategia de riego se obtuvo el retorno económico neto, así como la relación beneficio/costo (B/C).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza mostró que tanto el tipo de riego como el genotipo tuvieron un efecto significativo ($p < 0.001$) sobre el RGC, RC y Cal (Cuadro 2). Para la interacción tipo de riego y genotipos, se observó diferencia ($p < 0.05$) solo en RGC y RC. (Cuadro 2), esto debido a que el comportamiento de los genotipos en dichas variables presentó un grado de afección variante al pasar de cierto nivel de irrigación.

Cuadro 2. Cuadrados medios de variables productivas de 16 genotipos de garbanzo tipo *Kabuli*.

Variable	GL	RGC	RC	Cal
Bloque	2	0.19 ^{ns}	0.03 [*]	1.91 ^{ns}
Tipo de riego (TR)	1	19.08 ^{**}	18.621 ^{**}	66.66 ^{**}
Error A	2	0.005	0.176	0.198
Genotipo (G)	15	0.381 ^{**}	0.430 ^{**}	33.84 ^{**}
TR*G	15	0.175 [*]	0.171 ^{**}	3.00 ^{ns}
Error B	60	0.089	0.074	2.79
CV		12.03	12.69	3.68

CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; RGC= rendimiento de grano en campo; RC= rendimiento de grano cribado; Cal= calibre de grano cribado; ** significativo a $p < 0.01$; * significativo a $p < 0.05$; ^{ns}= no significativo.



Nivel de irrigación

El RN presentó los mejores valores (Cuadro 3) de rendimiento de grano de campo y cribado, así como el mejor calibre (44 granos). La aplicación de RD redujo la producción de grano cribado (0.88 t/ha), además de incrementar el calibre (1.66 granos/muestra de 30 g), lo que infiere una reducción del peso de granos derivado de la limitación de agua al cultivo.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos de riego y genotipos sobre las variables productivas de garbanzo tipo *Kabuli*.

Tratamiento		RGC	RC	Cal
Tipo de riego	RN	2.923 ^a	2.579 ^a	44 ^b
	RD	2.030 ^b	1.699 ^b	46 ^a
Genotipo	G1	2.31 ^{bc}	1.94 ^{cdef}	46 ^{bcde}
	G2	2.60 ^{abc}	2.23 ^{abcdef}	46 ^{bcde}
	G3	2.04 ^c	1.73 ^f	47 ^{abcd}
	G4	2.59 ^{abc}	2.47 ^{abc}	40 ^g
	G5	2.48 ^{abc}	2.13 ^{abcdef}	45 ^{cdef}
	G6	2.90 ^{ab}	2.62 ^a	44 ^{def}
	G7	2.64 ^{abc}	2.35 ^{abcd}	45 ^{cdef}
	G8	2.35 ^{bc}	1.79 ^{ef}	48 ^{ab}
	G9	2.56 ^{abc}	2.31 ^{abcde}	43 ^{ef}
	G10	2.26 ^c	1.96 ^{cdef}	45 ^{cdef}
	G11	3.00 ^a	2.51 ^{ab}	45 ^{cdef}
	G12	2.46 ^{abc}	2.11 ^{abcdef}	49 ^a
	G13	2.52 ^{abc}	2.13 ^{abcdef}	47 ^{abcde}
	G14	2.51 ^{abc}	2.19 ^{abcdef}	45 ^{cdef}
	G15	2.23 ^c	1.95 ^{cdef}	42 ^{fg}
	G16	2.17 ^c	1.81 ^{def}	48 ^{ab}

^{abcdefg}= diferentes literales entre filas dentro de una misma columna, indican diferencia significativa ($p < 0.05$); RN= riego normal (40 cm de lámina por hectárea); RD= riego deficitario (20 cm de lámina por hectárea); RGC= rendimiento de grano en campo (t/ha); RC= rendimiento de grano cribado (t/ha); Cal= calibre de grano cribado (no. de granos en 30 gramos).



El comportamiento anterior concuerda con los resultados reportados por Fierros-Leyva *et al.* (2017), al evaluar 12 genotipos de garbanzo blanco en la Costa de Hermosillo, Sonora, México, observaron un decremento del rendimiento (81.8%) por efecto de restricción del riego. Otras investigaciones han documentado el efecto del déficit hídrico en la reducción del rendimiento y la eficiencia del uso del agua durante el déficit hídrico (Anwar *et al.*, 2003; Zhang, 2003; Sabaghpour *et al.*, 2006). Hirich *et al.* (2011) donde la aplicación de déficit de agua durante la etapa de llenado del grano reduce el peso y el área foliar de las hojas, lo que genera una disminución en la eficiencia del uso de la radiación. Debido a este efecto, la inhibición de la fotosíntesis durante la floración y llenado de vainas producen pérdidas de rendimiento que van del 50 al 80% (Leport *et al.*, 1999), información que coincide con lo observado en el presente estudio. Aun cuando, se observó una reducción del rendimiento de grano por la aplicación del riego deficitario, esta limitación generó un incremento en la productividad del agua al comparar la aplicación de RN (40 cm de lámina de riego) que obtuvo un RC= 2.92 t/ha con la obtenida por RD (20 cm de lámina de riego) que logró un RC= 1.69 t/ha, logrando así productividad del agua expresados en peso de grano de 0.64 vs 0.84 kg de grano m⁻³ de agua utilizada, respectivamente. Esta ha sido señalada como un elemento relevante en la búsqueda de hacer un uso más eficiente del agua disponible para riego.

Genotipos

Los genotipos G4, G5, G6, G7, G9, G11, G12, G13 y G14 resultaron con los mejores valores de rendimiento de grano en campo (2.48 – 3.0 t/ha, Cuadro 3) y rendimiento de grano cribado (2.13 y 2.62 t/ha, Cuadro 3). En cuanto al calibre de grano, los genotipos sobresalientes (mayor tamaño de grano) fueron G4, G5, G6, G7 y G9 con un rango de 39.83 a 45.00 granos. La respuesta variante de genotipos ante la limitación del nivel de irrigación coincide con lo reportado por Fierros-Leyva *et al.* (2017), quienes al evaluar 12 genotipos encontraron tres materiales con mayor tolerancia al déficit de irrigación.

En complemento, se considera pertinente la recomendación del mejor genotipo a partir de la variable RC, ya que esta variable pondera el potencial de rendimiento de grano de cada genotipo, pero a su vez toman en cuenta el tamaño de grano mínimo solicitado por el mercado internacional. Con base en lo anterior, el Cuadro 4, permite detectar elementos importantes, tales como: a) el potencial de líneas experimentales al superar el RC de variedades disponibles en el mercado local, b) los genotipos de mayor potencial en condiciones de no limitación de riego, y c) los genotipos de mayor RC en condiciones de irrigación deficitaria (G6, G4, G14 y G11).



Cuadro 4. Comportamiento del rendimiento de grano cribado (RC) en genotipos bajo condiciones de riego normal (RN) y deficitario sostenido (RD), Valle de Santo Domingo, Baja California Sur, México.

Genotipo	RC en RN (t/ha)	%	Genotipo	RC en RD (t/ha)	%
G6	3.26	100.0	G6	1.99	100.0
G11	3.07	94.2	G4	1.96	98.5
G9	2.98	91.4	G14	1.96	98.5
G4	2.98	91.4	G11	1.95	98.0
G2	2.85	87.4	G7	1.86	93.5
G7	2.84	87.1	G13	1.78	89.4
G5	2.81	86.2	G12	1.73	86.9
G12	2.50	76.7	G9	1.64	82.4
G13	2.48	76.1	G16	1.63	81.9
G15	2.45	75.2	G2	1.61	80.9
G14	2.42	74.2	G1	1.59	79.9
G10	2.38	73.0	G10	1.55	77.9
G1	2.30	70.6	G8	1.55	77.9
G8	2.02	62.0	G3	1.51	75.9
G16	1.99	61.0	G5	1.45	72.9
G3	1.95	59.8	G15	1.45	72.9

RC= rendimiento de grano cribado; RN= riego normal (40 cm de lámina por hectárea); RD= riego deficitario (20 cm de lámina por hectárea).

Análisis económico

El Cuadro 5, muestra como el costo total de producción al implementar la estrategia RD se redujo en \$1,760 ha⁻¹, lo que limitó el retorno económico neto y mostró una relación beneficio/costo menor con respecto a la utilización de la estrategia de RN. Por otra parte, al utilizar la estrategia de RD se incrementó la productividad del agua en un 31% al pasar de 0.64 kg m⁻³ a 0.84 kg m⁻³ en RN y RD, respectivamente. En este sentido, aun cuando el ingreso económico se ve comprometido al aplicar la estrategia de riego deficitario, es importante valor esta estrategia debido a que la producción agrícola necesita hacer un uso más eficiente del agua, recurso cada vez más comprometido (Ferere y Soriano, 2007; Kilemo, 2022) e indispensable para producir los alimentos que demanda una población creciente (The World Bank, 2023).



Cuadro 5. Análisis económico y productividad del agua en el cultivo de garbanzo en condiciones de riego normal (RN) y deficitario (RD).

ER	Volumen de agua m ³ /ha	RC* t/ha	Valor ¹ Grano\$/kg	Productividad del agua kg m ³	Costo parcial de producción [‡]	Costo unitario agua \$ m ⁻³	Costo total de producción ⁻¹	Retorno económico neto	B/C
RN	4000	2.58	22	0.64	20,480.0	0.88	24,000.0	56,738.0	2.36
RD	2000	1.70	22	0.84	20,480.0	0.88	22,240.0	37,378.0	1.68

ER= estrategia de riego; RN= Riego normal (40 cm de lámina aplicada). RD=Riego deficitario (20 cm de lámina aplicada). *RC= Rendimiento cribado, obtenido del Cuadro 3. ¹Valor consultado con el sector productivo (julio 2023) del Valle de Santo Domingo, referido como el límite inferior del precio pagado por tonelada de grano cribado. [‡]No incluye costo de aplicación de riego por volumen unitario. ⁻¹Considera el costo parcial de producción más el producto del volumen de agua requerido en cada estrategia de riego. B/C= Relación beneficio/costo.

Conclusiones

La aplicación del riego deficitario (RD) limitó la producción de grano de campo y cribado, así como la calidad del grano (disminución de peso/tamaño grano) en el cultivo de garbanzo. El potencial productivo varió entre los genotipos, identificándose a los genotipos G6, G4, G14 y G11 con mejor respuesta a riego deficitario. El RD limitó el retorno económico neto y mostró una relación beneficio/costo menor con respecto a la utilización de la estrategia de riego normal. Sin embargo, la implementación del RD incrementó la productividad del agua, aspecto relevante ante el reto de producir alimentos con un recurso hídrico cada vez más comprometido y ante una población creciente que los demanda. Se recomienda para trabajos futuros el evaluar la resistencia de genotipos al riego deficitario considerando como lámina de riego recomendada, aquellas que deriven del cálculo de la evapotranspiración del cultivo y tomando en cuenta las características físicas del suelo. Adicionalmente, se hace necesario evaluar estos genotipos bajo los diferentes sistemas de riego y microclimas de la región.



Literatura Citada

- Anwar, M.R., B. Mckenzie, A. and G. Hill, D. 2003. Water-use efficiency and the effect of water deficits on crop growth and yield of Kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) in a cool-temperate subhumid climate. *Journal of Agricultural Science* 141:285-301.
- Ault, T.R., J.S. Makin., B.I. Cook and J. Smerdon, E. 2016. Relative impact of mitigation, temperature, and precipitation on 21st-century megadrought risk in the American Southwest. *Science Advances* 2, e1600873.
- CONAGUA (Comisión Nacional del agua). 2018. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero santo Domingo (0306), Estado de Baja California Sur.: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0306.pdf. [Consultado en línea 7/08/2022]
- CONAGUA (Comisión Nacional del agua). 2023. Disponibilidad por acuífero. Disponible en: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html [Consultado el 09 de junio de 2023].
- Durón, N. L. J., G.B. Valdez y Morales, G. J. A. 2004. Manejo del agua In: El cultivo de garbanzo blanco en Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Editores: Morales, G. J. A.; Durón, N. L. J.; Martínez, D. G.; Núñez, M. J. H. y Fú, C. A. A. Libro técnico núm. 6. 117-120 pp.
- Ferere, E., M.A. Soriano. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 98: 147-159.
- Fierros-Leyva, G. A., P.F. Ortega M., P. F., J.A. Acosta G., I. Padilla V., V. Valenzuela H., Y. Jiménez H., y J.A. López G. 2017. Respuesta del rendimiento de genotipos de garbanzo blanco a la sequía terminal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 8 (5): 1143-1154.



- Frahm, M. J., C. Rosas., N. Mayek., E. López., J.A. Acosta y J. Kelly D. 2003. Resistencia a sequía terminal en frijol negro tropical. *Agronomía Mesoamericana* 14:143-150.
- Guriqbal, S., H. Ram, N. Aggarwal, and N. C. Turner. 2016. Irrigation of chickpea increases yield but not water productivity. *Experimental Agriculture* 52:1-13.
- Hirich, A., R. Choukr-Allah, S. E. Jacobsen and A. Hamdy. 2011. Improving water productivity of chickpea by the use of deficit irrigation with treated domestic wastewater. *Strategies* 3 (4): 5.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team, R.K.P., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland; pp. 8-16.*
- Kilemo, D.B. 2022. The review of water use efficiency and water productivity metrics and their role in sustainable water resources management. *Open Access Library Journal* 9: 1-21.
- Leport, L., N. C. Turner, R. J. French, M. D. Barr, R. Duda, S. L. Davies, *et al.* 1999. Physiological responses of chickpea genotypes to terminal drought in a Mediterranean-type environment. *European Journal of Agronomy* 11, 279.
- Luna-Flores, W., H. Estrada-Medina, J.J.M. Jiménez-Osornio, L.L. Pinzón-López. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plantas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana* 30 (4): 343-353.
- Matta, F. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insight for plant breeding. *Brazilian Journal of Physiology* 16 (1): 1-6.
- Melgoza-Villagómez, C. y E. Gutierrez P. 2019. Memoria Primer Reunión Estatal de Investigación en Garbanzo, en Baja California Sur. Campo Experimental Todos Santos del INIFAP. La Paz, Baja California Sur, México. 67 p.



- Muehlbauer, F.J. y A. Sarker. 2017. Economic importance of chickpea: production, value and world trade. *The Chickpea genome*. 142 p.
- Osuna-Amador, J. D., R. Méndez-Alonzo, A. Trasviña-Castro, R. Saldívar-Lucio, R. Hernandez-Martinez, and M. Georgianne W. 2023. "Regulated Deficit Irrigation during Vegetative Growth Enhances Crop Water Productivity in Chickpea (*Cicer arietinum* L.)" *Agronomy* 13 (3): 917.
- Rozrokh, M., Sabaghpour, S. H., Armin, M., and Asgharipour, M. 2012. The effects of drought stress on some biochemical traits in twenty genotypes of chickpea. *Eur J Exp Biol*, 2(6), 1980-1987.
- Sabaghpour, S.H., A. A. Mahmodi, A. Saeed, M. Kamel and R. S. Malhotra. 2006. Study on chickpea drought tolerance lines under dryland condition of Iran. *Indian Journal of Crop Science*, Vol. 1, No. 1-2, 70-73.
- SAS Institute. 2014. *Procedure Guide, SAS Version 9.3*; SAS Inc.: Cary, NC, USA; pp. 1-515.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario estadístico de la producción. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 12 de junio de 2023].
- Stevenson, S., S. Coats, D. Touma, J. Cole, F. Lehner, J. Fasullo *et al.* 2022. Twenty-first century hydroclimate: A continually changing baseline, with more frequent extremes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 119, e2108124119.
- Turner, N. C., G. C. Wright, and K. H. M. Sidique. 2001. Adaptation of grain legumes to water limited environments. *Advances in Agronomy* 71:193-231.
- Ulemale, C. S., S. N. Mate and D. V. Deshmukh. 2013. Physiological indices for drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *World Journal of Agricultural Sciences* 9 (2): 123-131.



The World Bank. Water in Agriculture, Disponible en: <http://www.worldbank.org/topic/water-in-agriculture> [consultado el 07 de marzo de 2023].

Zhang, H. 2003. Improving Water Productivity through Deficit Irrigation: Examples from Syria, the North China Plain and Oregon USA. In: J. W. Kijne, R. Barker and D. Molden (eds), CAB International.



POTENCIAL PRODUCTIVO DEL CULTIVO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN LA SUBREGIÓN DE LOS RÍOS, TABASCO

Mauricio Francisco Sánchez Pérez²⁰, Victorino Gómez Valenzuela^{20*}, Bernardino Ramírez Hernández²⁰, Román Roberto Vásquez Rendón²⁰, Ubaldo Guillermo Pérez Cruz²⁰ y Gonzalo Ortiz Gil²⁰

Resumen

México tiene un serio déficit de arroz por lo que compra al exterior alrededor del 80% de su consumo nacional. Su producción se concentra en trece entidades entre las cuales se encuentran Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Veracruz, Tamaulipas y Tabasco. La subregión de los ríos en Tabasco ha sido desde hace varias décadas una de las importantes zonas productoras de arroz (*Oryza sativa* L.) en el sureste mexicano, con finalidades productivas que van desde el autoconsumo en pequeñas áreas hasta grandes superficies comerciales. Sin embargo, se desconocen las áreas con mayor potencial productivo para este cereal en dicha Subregión debido a las características naturales de su territorio. Por esta razón, la presente investigación se enfocó en identificar y caracterizar las condiciones agroecológicas del cultivo de arroz en la citada subregión, utilizando la Metodología de Zonificación Agroecológica de la FAO, adaptada a las condiciones medioambientales mexicanas y específicas de la zona oriental de Tabasco, utilizando la información edafoclimática disponible procesada a través del software ArcGis 10.4.1. Se identificó una superficie de 388,400 hectáreas con diferentes potencialidades productivas, distribuidas en los 3 municipios de la subregión (Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique), de las cuales 20,400 hectáreas no presentan restricciones climáticas y edáficas para el cultivo de arroz (Muy Aptas), ubicadas principalmente en las márgenes del río Usumacinta, y 323,200 hectáreas presentan algún grado de restricción (Aptas), que pueden ser aprovechadas con algo de manejo agronómico para mejorar su productividad. Mientras que 45,200 hectáreas resultaron marginalmente Aptas, porque no reúnen los requerimientos agroecológicos del cultivo de arroz, por lo que no se recomienda su uso para cultivar este cereal. Las propiedades físicas del suelo (textura arenosa) constituyen el principal factor limitante para el desarrollo del arroz y ocupa una considerable superficie no apta de la subregión (198,500 ha).

²⁰ Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma Chapingo. *Correspondencia: vgomez62@hotmail.com



Palabras clave: ZAE, Niveles de Aptitud, cereal, sureste mexicano

Introducción

El cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es la principal fuente alimenticia en muchas de las regiones tropicales de América Latina y el Caribe (FAO, 2019; Zorrilla *et al.*, 2012), juega un papel importante dentro de la ingesta calórica diaria, pues aporta 20% más de calorías que otros cultivos (trigo, maíz, yuca o papa), ampliamente cultivados en la región; además de ser una importante fuente de proteínas para más del 20% de la población pobre de Latino América (Maclean *et al.*, 2013).

La producción de arroz tiene una gran relevancia social; sin embargo, México tiene un gran déficit de este cereal, ya que importa alrededor del 80% de su consumo nacional, en su mayoría proveniente de Estados Unidos, debido a diversos factores (Espinoza, 2002). Su producción se encuentra en 13 entidades entre las cuales se encuentran Campeche, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Veracruz, Tamaulipas y Tabasco (SAGARPA, 2014; SIAP, 2021). Tradicionalmente en la Subregión de los Ríos en Tabasco, específicamente la sabana de Balancán, junto con municipios colindantes del estado de Campeche, han formado parte del corredor de producción de arroz en el sureste mexicano (SIAP, 2021); de esta zona se obtenían (1975-1985) importantes volúmenes de producción (alrededor de 8,000 t), Flores (1991), que se aprovechaba para distribución en la región ya que este cereal ha formado parte de la canasta básica y componente principal de la dieta alimenticia de sus habitantes.

En esta investigación se aplicó la metodología de zonificación agroecológica de la FAO (1997), adaptada a las condiciones de México, con el fin de identificar áreas con mayor potencial productivo para el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en la subregión de los Ríos, Tabasco. Se utilizó información climática y edafológica disponible para determinar la aptitud de la tierra para el cultivo en cuestión y promover la planeación agrícola sustentable, así como un mejor aprovechamiento de los ecosistemas y las actividades productivas en la región.

Materiales y Métodos

Esta subregión se encuentra dentro de la región hidrográfica del río Usumacinta, a la que también pertenece la subregión de los Pantanos. La superficie es de 6,234.2 km², lo que representa el 24.67% del total del estado; su población, según cifras del INEGI era de 153,015 habitantes en el año 2020, es decir, el 6.36% de la población total de la entidad (INEGI, 2020). Está formada por los tres municipios más orientales del estado: Balancán, Emiliano Zapata y Tenosique (Figura 1).

Este territorio se caracteriza por ser preponderantemente plano con pocas elevaciones, excepto en su porción sureste, en las estribaciones y colindancias con la sierra norte de Chiapas y las sierras bajas del Petén. El relieve plano es el resultado del arrastre de materiales de las partes altas, provocadas por las escorrentías del río Usumacinta que ha conformado la subregión.

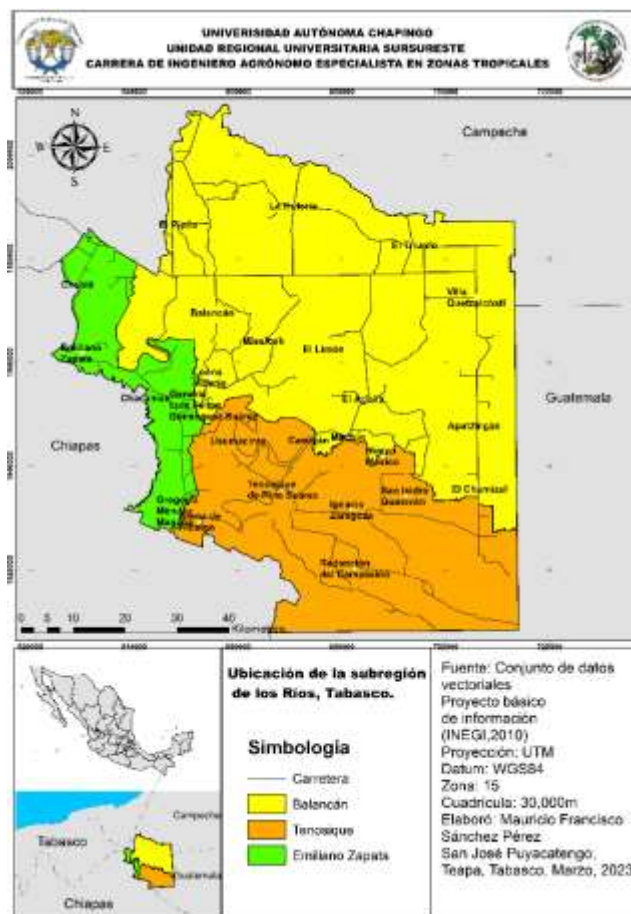


Figura 1. Ubicación de la Subregión de los Ríos, Tabasco, México.

La zonificación agroecológica realizada en la subregión utilizó una versión simplificada de la metodología propuesta por la FAO (1997), adaptada a las condiciones de la República Mexicana por Pájaro y Ortiz (1992), a la que se realizaron adecuaciones a partir de la información disponible. Las variables utilizadas fueron la precipitación media normal (mm), temperatura media normal (°C) y las subunidades de suelos (Figura 2).

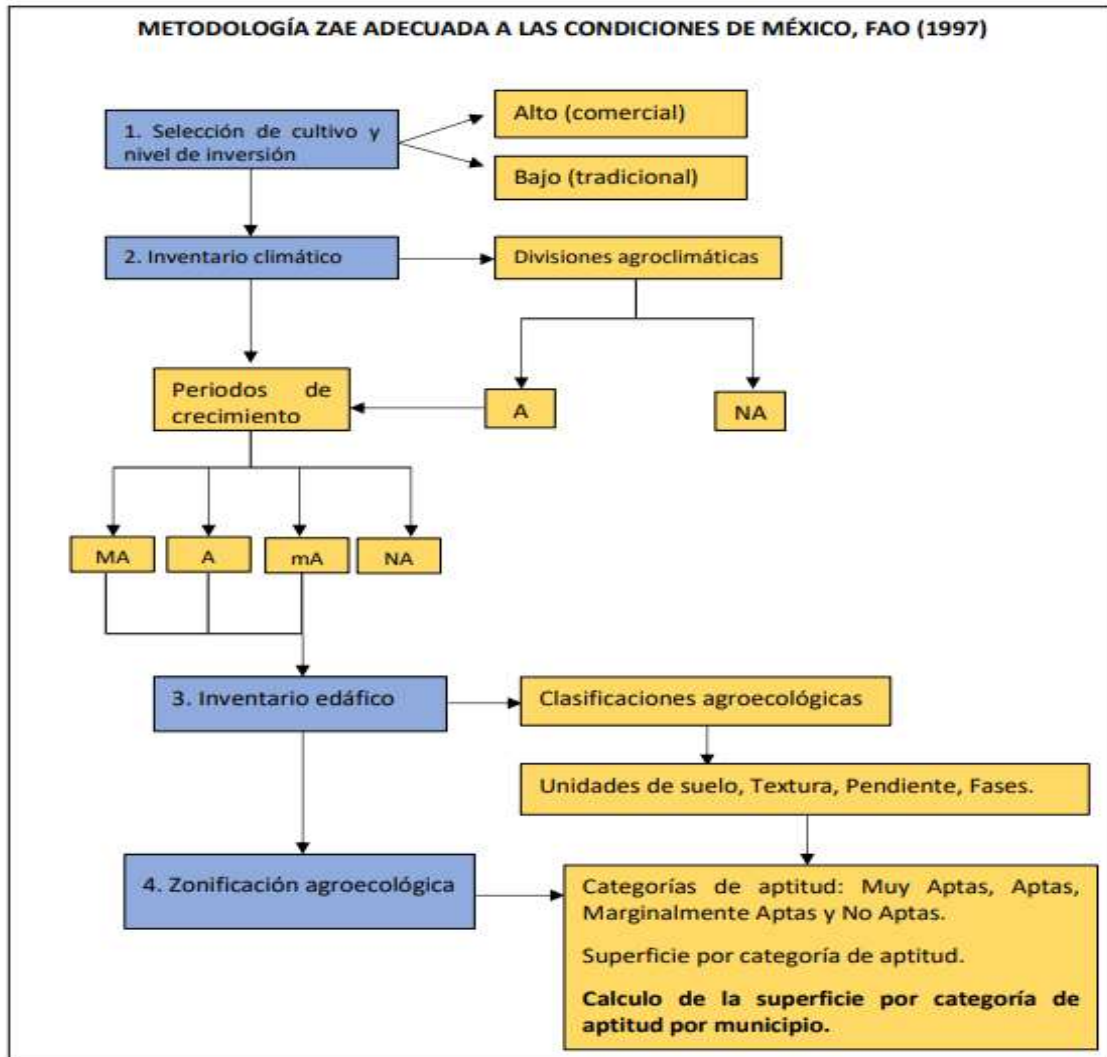


Figura 2. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica de cultivos. Adaptado de (FAO 1997). MA = muy apto, A = apto, mA = marginalmente apto, NA = no apto.

Inventario climático. El primer paso en la Zonificación Agroecológica de la FAO corresponde a la evaluación de los recursos climáticos. Este proceso se subdivide en dos etapas: la delimitación por



unidades climáticas y por períodos de crecimiento efectivo. Para realizarlo se recopiló información disponible sobre los diferentes tipos de clima de la subregión, particularmente la información sobre precipitación pluvial y comportamiento térmico, y se comparó con los requerimientos del cultivo de arroz (*O. sativa L.*) establecidos en el "Plan de Uso Sustentable de los Suelos de Tabasco" de la Fundación Produce Tabasco para verificar la cobertura de los requerimientos hídricos y térmicos del cultivo de arroz. Se utilizó la clasificación de la FAO/UNESCO según lo establecido por Palma-López *et al.* (2007).

Inventario edáfico. En la segunda etapa del proceso metodológico se realizó la evaluación del recurso edáfico a través de la elaboración de un inventario de suelos. Para determinar los criterios de evaluación de las subunidades de suelos existentes en la subregión se compararon sus características con los requisitos necesarios para el cultivo de *arroz (O. sativa L.)*. Mediante la superposición de los mapas temáticos generados, se elaboró un mapa de zonificación agroecológica que clasificó a la subregión de los Ríos en cuatro categorías de aptitud: Muy apto (MA), Apto (A), Marginalmente apto (mA) y No apto (NA).

Se utilizó la base de información de suelos del escala 1:250,000, Serie I, INEGI (2010a). Esta base de datos proporciona información detallada sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en el estado de la subregión de los Ríos. Además, se obtuvo información sobre el relieve del territorio a partir del Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) del INEGI (2013). El uso de un modelo de elevación digital (DEM) permitió delimitar los niveles de altitud del territorio y la pendiente del terreno. Esta información es importante para la identificación de áreas aptas y no aptas para el cultivo de arroz, ya que las condiciones topográficas de la subregión presentan ondulaciones que pueden afectar el desarrollo de la planta de arroz.

Procesamiento de datos. Utilizando la información recopilada en el área de estudio y el software ArcMap 10.4.1 de ESRI (2016), se aplicó el álgebra de mapas para crear mapas de clasificación de unidades climáticas, períodos de crecimiento, subunidades de suelo, textura, pendiente y áreas susceptibles a inundaciones. Se utilizaron datos (1980 a 2010) de veinticuatro estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio (incluidas diez y siete del contorno), se obtuvieron los valores medios de la precipitación pluvial y temperatura media con las cuales se calcularon los periodos de crecimiento efectivo; cartas topográficas en formato shape con escala 1:250,000 y modelos de elevación digital del INEGI (2013). Estos mapas se superpusieron para determinar los niveles de



aptitud del territorio para el cultivo de arroz (*O. sativa L*) de acuerdo con sus requerimientos agroecológicos óptimos.

Resultados y Discusión

Con base en el análisis de distribución de la temperatura en el estado, se encontró que no existen limitantes para el cultivo, toda vez que los valores presentes en la totalidad del territorio se ubican dentro del rango óptimo de temperatura para que la planta se desarrolle sin limitaciones; por lo tanto, todo el territorio se consideró Apto para el cultivo en esta fase. Se observa que la temperie que predomina en la subregión oscila entre los 26 y 28°. Este valor térmico corresponde al requerimiento de la planta de arroz, mientras que con temperaturas con rangos entre 21 a 34°C (temperatura optima) se puede alcanzar el rendimiento máximo (Pandey *et al.*, 2017).

Las precipitaciones en la subregión oscilan desde los 1,400 hasta los 2,200 mm, distribuidos a través del año siendo la parte norte, colindante con Campeche, la menos lluviosa y progresivamente aumenta conforme se avanza hacia la colindancia con Chiapas y Guatemala donde se registran las mayores precipitaciones. La distribución de la lluvia en la subregión mantiene un patrón diagonal con gradiente noreste-suroeste, en constante incremento conforme se avanza en dirección norte sur; es decir de la parte baja hacia las estribaciones de la sierra en territorio chiapaneco y guatemalteco. Al comparar los volúmenes y distribución de la lluvia con los requerimientos del cultivo de arroz (1,000 a 4,000 mm anuales), se observa que los valores registrados se ubican en la porción media (1,400 a 2,200 mm) de lo requerido por este cultivo (Benacchio, 1982).

Periodos de crecimiento. Respecto a periodos de crecimiento para el cultivo de arroz en la subregión de los Ríos, según lo planteado por Pájaro y Ortiz (1992) en la zona de estudio la clasificación corresponde a la categoría muy apta ya que presenta regímenes de precipitación de 1,300 a 2,200 mm anuales, los cuales corresponden a periodos de crecimiento de 240 a 330 días, es decir, que la precipitación no causa efectos negativos en el cultivo por lo que puede alcanzar su máximo potencial productivo (Pérez, 1989).

Clasificación por subunidades de suelos. De las veinte subunidades edafológicas presentes en el área de estudio se encontró que trece (provenientes de los gleysoles y cambisoles) son adecuadas para el cultivo de arroz, de ellas solo dos (provenientes del gleyisol) son las que reúnen totalmente las



características necesarias para que prospere bien la planta, las once restantes tienen alguna restricción, por lo que se degradaron una clase. Las siete subunidades edafológicas restantes no reúnen las condiciones que la planta de arroz requiere para ser productivamente aceptable, por lo tanto, se clasificaron como no aptas (NA).

En base a las características edafológicas de la subregión de los Ríos, Tabasco el 63% de los suelos son aptos para el cultivo de arroz, mientras que solo el 5% es muy apto, 32% del territorio quedó descartado debido a las características de los suelos (profundidad y consistencia rocosa), encontrados al sur del área de estudio, correspondiente a la zona serrana.

Clasificación por texturas. El área de estudio se ve modificada en su clasificación de aptitudes para el cultivo de arroz. La categoría que sufre modificación es la apta porque en el territorio que ocupa esta se localiza ahora a la categoría marginalmente apta; es decir que es la categoría que se degrada una clase. Se mantiene la distribución de la categoría apta en la dirección noroeste-sureste, con presencia de la categoría no apta hacia el norte, sur, este y oeste del territorio. Solo el 4% de la zona de estudio se encuentra en la categoría “Muy Apto”; la clase “Apta” ocupa el 55% del territorio, mientras que la clase “Marginalmente Apto” registra el 8%; finalmente, las zonas “No aptas” para el cultivo se incrementan leigeramente debido a la presencia de textura gruesa, pasando de 32% a 33%.

Aptitud por pendiente del terreno. En la subregión de los Ríos existe por lo general una topografía plana en donde se puede llevar a cabo el establecimiento de este cultivo sin limitaciones; sin embargo, también existe algunas elevaciones no mayores a 500 msnm, localizadas al sur de la subregión (INEGI, 2010b) en donde difícilmente prospera. Se mantiene en 55% la clase apta, mientras que la marginalmente apta se ubica en 8%, se amplía a 34% la clase no apta y se reduce a 3% la clase muy apta, solo en 452,000 hectáreas existen condiciones ideales para cultivar arroz en la subregión debido a esta condición de los suelos.

Zonificación agroecológica resultante. El resultado de las interacciones climáticas y edáficas muestra que la distribución espacial de las aptitudes para el cultivo de arroz en la subregión de los Ríos en Tabasco es notoriamente diferencial, lo cual es debido a que el arroz es un cultivo que requiere un manejo especializado y condiciones específicas para su establecimiento para que resulte rentable.

La zona clasificada como Muy Apta (MA) se encuentra distribuida en las márgenes del río Usumacinta al sur de Emiliano Zapata y noroeste de Tenosique, además de unas pequeñas áreas al norte de la zona de estudio, coincide con la zona que menos implementación técnica presenta aun cuando contiene mayor potencial para su explotación agrícola (Figura 3).

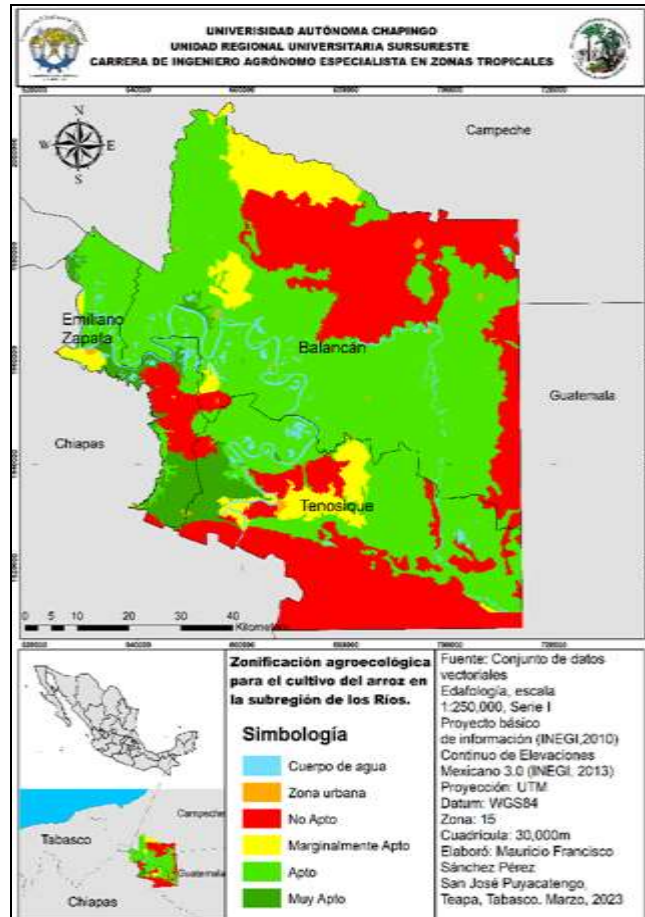


Figura 3. Zonificación agroecológica para el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) en la subregión Ríos, Tabasco, México.

En la porción norte, este y sur del área de estudio se ubica a las áreas no aptas para el cultivo; mientras que en el centro en dirección sureste noroeste se localiza la categoría apta, la mejor representada en el área de estudio. En pequeñas áreas al norte, en los límites con Campeche, y centro sur se ubica la categoría marginalmente apta. Finalmente, con mínima representación se encuentra la categoría muy apta, al suroeste del área de estudio en los límites con el estado de Chiapas.

La mejor clase de aptitud para el cultivo de arroz en la subregión corresponde a la clase Apta que cubre una superficie de 323,200 hectáreas, lo que hace evidente que no se cubren completamente los requerimientos agroecológicos para el cultivo. Solo 20,400 hectáreas de la subregión cumplen con las condiciones edafoclimáticas para que se desarrolle adecuadamente el cultivo de arroz. Con menos posibilidades para cultivar arroz en la subregión se encuentran 45,200 hectáreas clasificadas como



marginalmente Aptas. Mientras que el resto del territorio (198,500 ha) no reúnen los requerimientos agroecológicos del cultivo (NA), Figura 4.



Figura 4. Aptitudes territoriales de la subregión de los ríos, Tabasco para el cultivo de arroz.

La limitante más importante entre los componentes edafoclimáticos de la subregión de los ríos corresponde a las unidades edafológicas, en especial lo relacionado a sus características y propiedades físicas, mismas que no alcanzan a cubrir adecuadamente el requerimiento de la planta de arroz.

Conclusiones

En relación con el factor climático no existe restricciones para el cultivo de arroz en la Subregión Ríos de Tabasco, ya que tanto la temperatura como la precipitación pluvial proporcionan los requerimientos adecuados para la planta.

El factor condicionante para el cultivo de arroz es el suelo, particularmente la textura, ya que no todas las unidades edafológicas proporcionan los requerimientos adecuados para este cultivo en la subregión de los ríos, Tabasco.

La clase apta (A) es la mejor representada para el cultivo de arroz en la Subregión de los Ríos. Ocupa la mayor proporción (55%) del territorio con 323,200 hectáreas. La clase no apta (NA), ocupa 34% del área de estudio con 198,500 hectáreas. La clase marginalmente apta (mA), está presente en 8% del territorio con 45,200 hectáreas. La clase muy apta (MA) está presente en el 3% de la superficie de la subregión, cubriendo 20,400 hectáreas.



Solo en la porción central, desde el noroeste hasta el sureste de la subregión, se encuentran las mejores condiciones para establecimiento del cultivo de arroz (MA), con su máximo potencial hacia el oeste. En el resto de la subregión, excepto en las áreas no aptas, es posible establecer a este cultivo siempre que se realice el manejo edafológico necesario. No obstante, los rendimientos productivos pueden verse afectados y los costos de producción incrementados.

Literatura Citada

- Benacchio, S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nacional de Investigación Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela.
- Espinoza, M. A. 2002. El sector agrícola y el abastecimiento alimentario en los países exportadores de petróleo: el caso venezolano. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*. 8 (2).
- ESRI. 2016. Arcgis 10.4.1. Support.esri.com. Esri Support ArcMap 10.4 (10.4.1). <https://support.esri.com/es/products/desktop/arcgis-desktop/arcmap/10-4-1>. [Consultado el 12 de enero de 2023].
- FAO. 1997. Zonificación agroecológica. BOLETIN DE SUELOS DE LA FAO 73. Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de suelos Dirección de Fomento de Tierras y Aguas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- FAO. 2019. FAOSTAT database. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Flores, S. A. 1991. La producción de arroz en Tabasco. CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo. https://ciestaam.edu.mx/reporte_investigacion/la-produccion-arroz-en-tabasco [Consultado el 6 de febrero de 2023].
- INEGI. 2010a. Compendio de información geográfica municipal 2010, Balancán de Domínguez, Tabasco.



INEGI. 2010b. Compendio de información geográfica municipal 2010, Tenosique de Pino Suárez, Tabasco.

INEGI. 2013. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). Inegi.org.mx. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> [Consultado en 28 de enero de 2023].

INEGI. 2020. Censo General de Población y Vivienda 2020. Ciudad de México: INEGI.

Maclean, J., B. Hardy y G. Hettel. 2013. Rice Almanac. Libro de consulta para una de las actividades económicas más importantes de la Tierra. 4ta Edición, Instituto Internacional de Investigación del Arroz, Laguna.

Pájaro, H. D. y S. C. A. Ortiz 1992. Estimación del período de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la república mexicana. Centro de edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.

Palma-López, D. J., Cisneros, D. J., Moreno, C. E., & Rincón-Ramírez, J. A. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México, 195.

Pandey, S., L. Velasco, M. A.El-Sharkawy and K. Sekiya. 2017. Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper 232: 1-194.

Pérez, H. L. F. 1989. Zonificación agroecológica del estado de Campeche para el cultivo del arroz (*Oryza sativa*). Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma De México.

SAGARPA. 2014. El arroz, presente en la dieta de más de la mitad de la población mundial. Ciudad de México, México. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96140/Arroz>. [Consultado el 10 de febrero de 2023].

SIAP. 2021. Producción agrícola anual de arroz [Base de datos]. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [Consultado el 20 de marzo de 2023].



Zorrilla, S. E., M. A. Alvarado y A. Jiménez. 2012. Análisis de la zonificación agroecológica para el cultivo de arroz en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 30: 1149-1162.



CONDICIONES AGROECOLÓGICAS PARA CULTIVAR PITAHAYA ROJA (*Hylocereus undatus* Haworth, Britton & Rose) EN CAMPECHE, MÉXICO

Victorino Gómez Valenzuela^{21*}, Teófilo Mendoza Rojas²¹, Yessenia Yulibeth Gómez Díaz²¹, Nohemí López Mayahua²¹, Alma Rubí López Moreno²¹ y Eduardo Cipriano Bautista²¹

Resumen

La pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haworth, Britton & Rose) es originaria de los trópicos americanos y México cuenta con 12 de las 16 especies registradas. Su principal producto son los frutos altamente apreciados en el mercado internacional; es fuente de ingresos y de empleo porque su cultivo ha sido atractivo para los agricultores mexicanos; así como de fuentes importantes de compuestos útiles en la nutrición humana entre las que destacan minerales esenciales, proteínas y fibra; mientras que en la gastronomía destaca por sus tallos suaves y su importante contenido nutrimental. Actualmente se cultiva en ocho estados de la república entre los que destacan: Quintana Roo y Yucatán; seguido de Puebla, Tabasco y Aguascalientes. El propósito de esta investigación fue identificar y caracterizar áreas con potencialidad productiva para cultivo de pitahaya roja (*H. undatus* Haworth, Britton & Rose) en el estado de Campeche, utilizando la metodología propuesta por la FAO adaptada a las condiciones mexicanas y la información edafoclimática disponible (INEGI, SMN, SIAP) y con ello contribuir a la planificación del desarrollo agrícola regional. Se encontró que el factor climático no tiene restricciones para el cultivo de pitahaya roja en el estado de Campeche, no así el componente edafológico, cuya principal condicionante lo constituye la textura, la cual puede limitar significativamente su producción. La clase marginalmente apta (mA) es la mejor representada en el estado con 3,225,370.6 ha (60.2%), es decir, tiene fuertes limitantes para el cultivo de pitahaya roja. La clase muy apta (MA), la mejor según la metodología, ocupa 335,823.1 ha (6.2%) y se localiza en la porción centro norte de la entidad. La clase apta (A), está presente en 9,069.3 ha (0.17%), localizadas en el noreste, en los límites con el estado de Yucatán; mientras que la clase no apta (NA), cubre 1,786,090.2 ha (33.3%), ubicada principalmente al norte, centro y suroeste del estado.

²¹ Unidad Regional Universitaria Sursureste, Universidad Autónoma de Campeche. *Correspondencia: vgomez62@hotmail.com



Palabras clave: ZAE, niveles de aptitud, Dragon Fruit, Península yucateca

Introducción

Las pitahayas son plantas silvestres aprovechadas durante mucho tiempo por las culturas prehispánicas, se utilizaban de muchas maneras entre las que destacan medicinales, ornamentales y para consumo. Desde el siglo pasado, estas plantas se volvieron muy importantes como plantas cultivadas dando inicio a su aprovechamiento al principio en huertos familiares y en las últimas cuatro décadas como cultivo (Rodríguez, 2000; Rodríguez, 2002; Calix de Dios *et al.*, 2014).

El cultivo de pitahaya roja se ha incrementado considerablemente en México, ya que su fruto es altamente apreciado en el mercado internacional; además es fuente de ingresos y de empleo por lo que ha sido de mucho interés para los agricultores mexicanos (Meráz *et al.*, 2003). Actualmente se cultiva en ocho estados de la república mexicana entre los que destacan: Quintana Roo (1,813 ha) y Yucatán (328 ha), seguido de Puebla (142 ha), Aguascalientes (30 ha) y Tabasco (16 ha) (SIAP, 2022).

La zonificación agroecológica (ZAE), según la FAO (1997), ayuda a definir zonas relativamente homogéneas al combinar características de suelo, fisiografía y clima. Los parámetros usados en la definición de estas zonas parten de la revisión de los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y de las formas de manejo bajo los que se desarrollan. De esta manera, cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y se usan como referencia para proponer mecanismos de mejora de las actividades productivas, buscando incrementar la producción o limitar la degradación de los recursos naturales para realizar un mejor uso y aprovechamiento de estos.

En el presente trabajo se identificaron y caracterizaron áreas con potencialidades productivas para cultivo de pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haworth, Britton & Rose) en el estado de Campeche, utilizando la metodología propuesta por la FAO (1997), incorporando las modificaciones realizadas para México por Ortíz *et al.* (1991), y haciendo uso de la información edafoclimática disponible con lo cual se busca contribuir a la planificación del desarrollo agrícola regional.

Pitahaya roja (*Hylocereus undatus* Haworth, Britton & Rose) es la especie de mayor importancia económica, cultivo y demanda en el mercado (Ortíz, 1999), fue domesticada desde épocas precolombinas en climas tropicales y subtropicales para aprovechar las bondades que esta planta ha



tenido. Su fruta está rodeada de una cáscara suave de intenso color rojo, que cubre a la jugosa pulpa de color claro que envuelve a las diminutas semillas de color negro, reconociéndosele como una exquisita y exótica fruta tropical en el mercado internacional (Ortega *et al.*, 2018). En México su cultivo ha tenido un comportamiento productivo exponencial en las últimas décadas; mientras que en países como Estados Unidos de América, Israel, Malasia y Tailandia se han establecido plantaciones comerciales con mayor desarrollo tecnológico (Nerd *et al.*, 2002). En el sureste mexicano, Quintana Roo y Yucatán son los estados líderes en la producción nacional de pitahaya roja; mientras que para el estado de Campeche no se cuenta con estadísticas productivas, aunque se tiene conocimiento que en los municipios de Calakmul y Hopelchen existe la especie como cultivo.

Diversos autores hacen referencia a la utilidad de la metodología de Zonas Agroecológicas para México, entre ellas las modificaciones propuestas por Ortiz (1987) para evaluar la aptitud de las tierras. La metodología consiste en la elaboración de un inventario climático utilizando información de temperatura, precipitación y evaporación, y con ello caracterizar agroclimáticamente a los cultivos; posteriormente con la información de un inventario edáfico, la aptitud agroclimática es evaluada en lo referente a las características de los suelos, (pendiente, fase, y textura, principalmente), generándose así la clasificación agroecológica, que finalmente indica las aptitudes para la producción del cultivo de interés.

Hylocereus undatus necesita crecer a plena exposición solar. Bajo sombra los rendimientos se ven reducidos significativamente (López, 1996). Su requerimiento térmico oscila entre 10°C en invierno hasta los 45°C en los días calurosos, siendo su rango óptimo de los 18 a 26°C. En general, las cactáceas se adaptan a las temperaturas altas, pero es necesario el frío para estimular la floración (Cordero, 1997). En México se le puede encontrar desde los 0 a más de 1,800 metros sobre el nivel medio del mar. Se adapta bien a zonas de baja precipitación en áreas que van desde los 400 a más de 2,000 mm anuales, de preferencia de 1,200 a 1,500 mm anuales (López, 1996; Cordero, 1997).

Para su buen desarrollo, la planta requiere suelos franco-arenosos y con pH de 5-7; no debe plantarse en suelos arcillosos, ya que los suelos mal drenados ocasionan problemas de encharcamiento, provocando pudriciones por bacteriosis (López, 1996). Las texturas medias (franca) en los suelos, así como buenos contenidos de materia orgánica (2 a 3%) son favorables para el cultivo de pitahaya roja, aun cuando los suelos sean someros

Materiales y Métodos

El área de estudio estuvo constituida por el estado de Campeche, el cual se localiza al sureste de México. Es una de las tres entidades que conforman la península de Yucatán, ocupando la zona suroeste de la misma. Se extiende por una superficie de 57,507 km², ocupando el 2,9% del territorio nacional (INEGI, 2020) y está conformada por 12 municipios: Calkiní, Campeche, Carmen, Champotón, Dzitbalché, Hecelchakán, Hopelchén, Palizada, Tenabo, Escárcega, Calakmul, Candelaria y Seybaplaya (Figura 1).

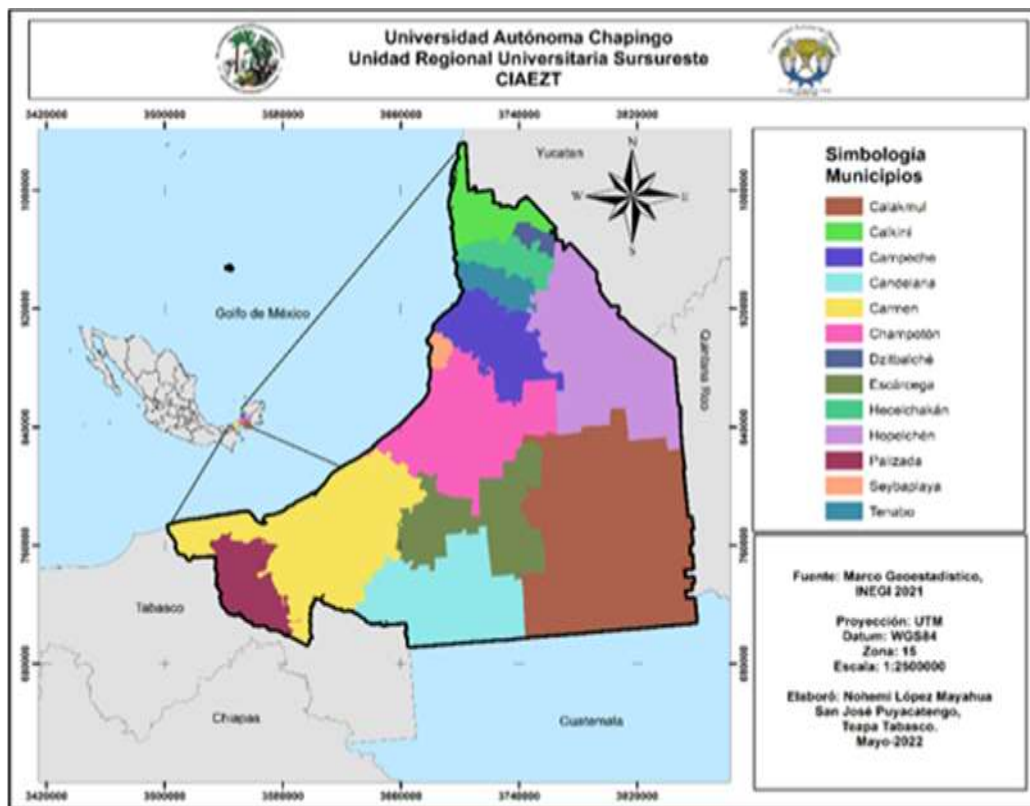


Figura 1. División política del estado de Campeche, México.

Se recurrió a la información disponible para el estado de Campeche relacionada con las normales climatológicas del servicio meteorológico nacional, información cartográfica escala 1:250,000 digitalizada de INEGI (2020) y SMN (2022), estadísticas productivas reportadas por el SIAP (2022), el software ArcGis versión 10.4.1 (ESRI, 2016).

Metodología. Para analizar la posibilidad de establecimiento de cultivos la metodología se divide en dos grandes etapas: a) un inventario climático y b) un inventario edáfico (Figura 2).

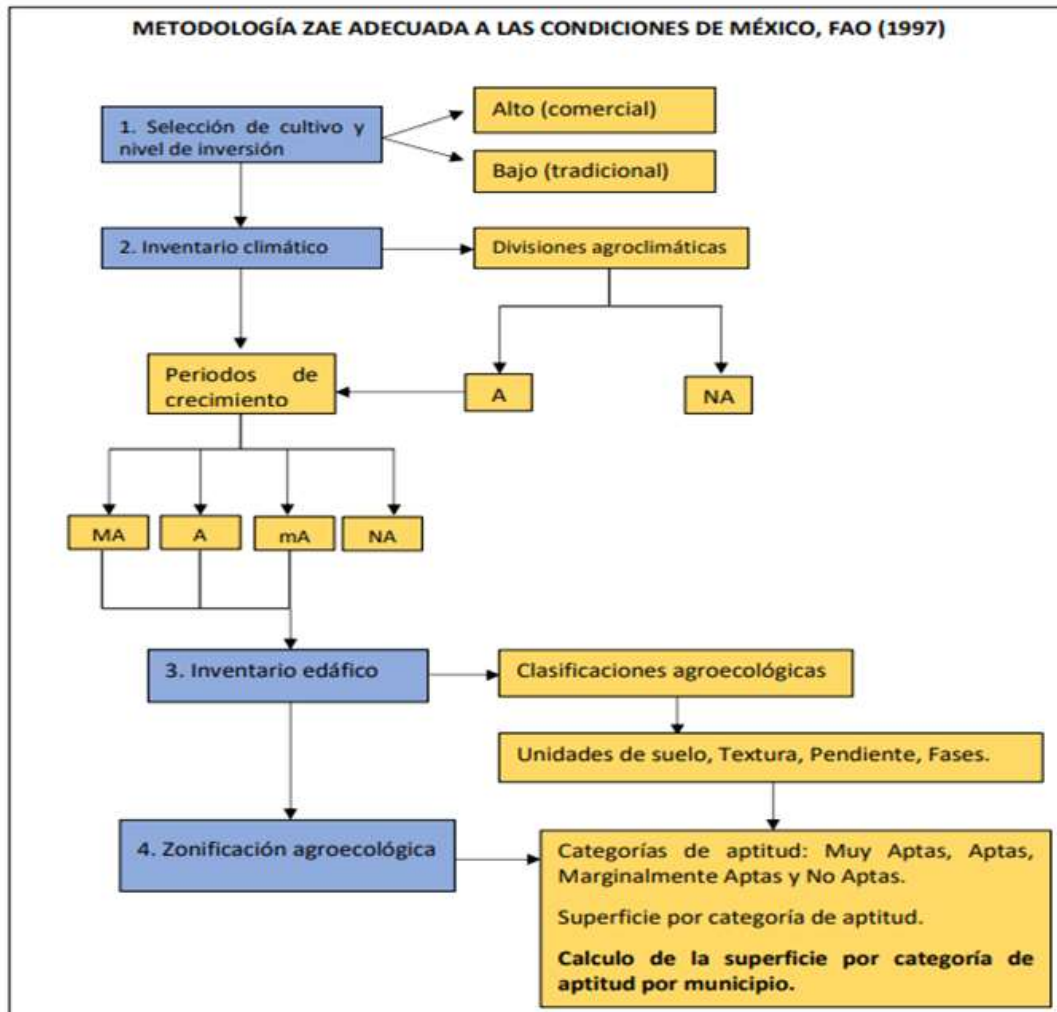


Figura 2. Metodología simplificada de la zonificación agroecológica de cultivos. Adaptado de (FAO 1997).

Las variables que se consideraron fueron la precipitación media normal (mm), temperatura media normal (°C) y las subunidades de suelos. La conjugación de ambos paquetes de información (climática y edáfica) permite definir las clases de aptitud presentes en el área de estudio al compararse el resultado con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de interés.



Resultados y Discusión

Clasificación por unidades climáticas

En cuanto a las unidades climáticas, se observa que la temperatura media anual de la zona de estudio, así como sus rangos térmicos (18 a 28°C) coinciden con lo que la planta necesita para tener un óptimo desarrollo y rendimiento productivo, de acuerdo con Jordan *et al.* (2009), Bárcenas y Jiménez (2018). De acuerdo con la cantidad de lluvia registrada en el estado de Campeche se cubre la necesidad hídrica del cultivo ya que los rangos de precipitación media anual van desde los 700 hasta los 1,800 mm, lo que coincide con lo reportado por Berbeau (1990) y Bárcenas y Jiménez (2018). Razón por la cual toda la entidad resulta ser apta para el cultivo de pitahaya roja. Como resultado se tiene que los periodos de crecimiento en el estado de Campeche resultan muy aptos, ya que la temperatura y humedad son adecuadas para que crezca y se desarrolle bien la planta de pitahaya roja (*H. undatus*) como cultivo.

Inventario edáfico

El 61% del territorio campechano (3,379,426.47 ha), integradas por porciones del noreste, centro y sureste, reúnen las características de suelo para cultivar a la planta de pitahaya roja categorizándolo como muy apto, por su parte toda la porción suroccidental con una superficie de 1,886,532.38 ha, es decir el 34.1% del territorio, no es apta de acuerdo a las unidades de suelo, principalmente por factores de humedad. El resto de la entidad, 4.48% (247,806.73 ha), queda categorizado como marginalmente apto, distribuida en todo el territorio especialmente en el parte sureste colindado con el estado de Quintana Roo, al noroeste y en la porción suroeste en los límites con el estado de Tabasco.

Para la zonificación por textura se observa que, al noreste, centro y sureste de la entidad, (3,318,826.3 ha), correspondientes al el 60% del territorio campechano, es marginalmente apto (mA), dicha superficie presenta suelos arcillosos de clase textural intermedia entre 2 y 3 (media y fina). Como resultado de la interpolación de información se obtiene que la clasificación por subunidades de suelos se modifica drásticamente en detrimento de la clase MA, misma que se reduce, y ampliación de la clase marginalmente apta (mA). Aparece la clase apta (A); mientras que la clase NA se reduce ligeramente.

La clase no apta (NA) tiene un 25.40% del territorio campechano, distribuido por toda la entidad principalmente al centro oriente y suroriental, con una superficie de 1,404,852.16 ha. Se puede afirmar que solo el 2.75% del territorio campechano tiene las unidades edafológicas adecuadas para el cultivo de pitahaya roja (alrededor de 152,000 ha); mientras que con alguna restricción textural el 11.53%

(aproximadamente 638,000 ha), clase apta, también puede ser aprovechada para el establecimiento de dicho cultivo, aunque los rendimientos productivos pueden ser inferiores.

Al sobre poner la información climática y edáfica del área de estudio se obtiene en primera instancia que el territorio campechano no reúne las condiciones ideales para el cultivo de pitahaya roja; también que en la entidad la clase de aptitud mejor representada es la apta (A), lo que significa que se tiene limitantes edafológicas importantes y por ello la productividad del cultivo en cuestión puede verse mermada. Sin embargo, es posible su establecimiento como cultivo y su productividad puede ser superior a lo reportado para el estado de Quintana Roo (SIAP, 2019).

Se aprecia que, en la porción norte, en los límites con el estado de Yucatán, así como en el sur, este y centro occidente del estado se ubican las zonas aptas para establecer pitahaya roja, siendo las categorías muy aptas (MA) y apta (A), las menos representadas en la entidad. La categoría marginalmente apta (mA) ocupa la mayor superficie estatal, localizándose principalmente en la porción centro, noroeste y en el norte, sur y sureste del estado. La categoría no apta (NA) se localiza hacia el norte, centro y suroeste principalmente, y en menor proporción en el sureste del territorio estatal, Figura 3.

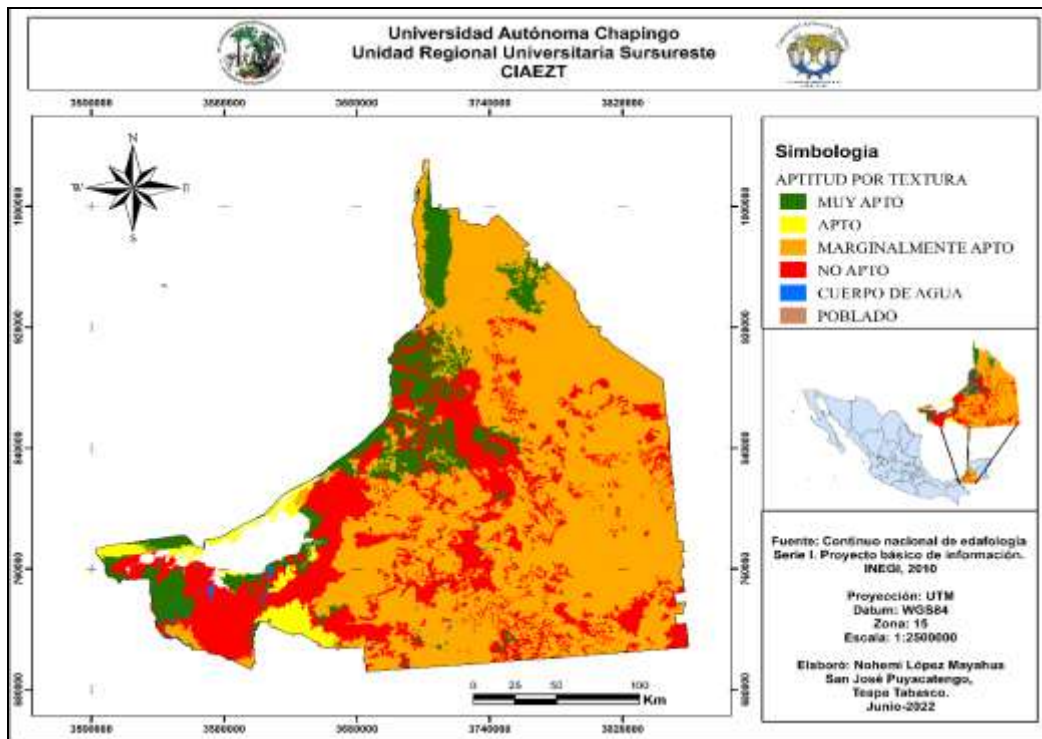


Figura 3. Aptitud por textura de los suelos para cultivo de pitahaya roja en Campeche, México.

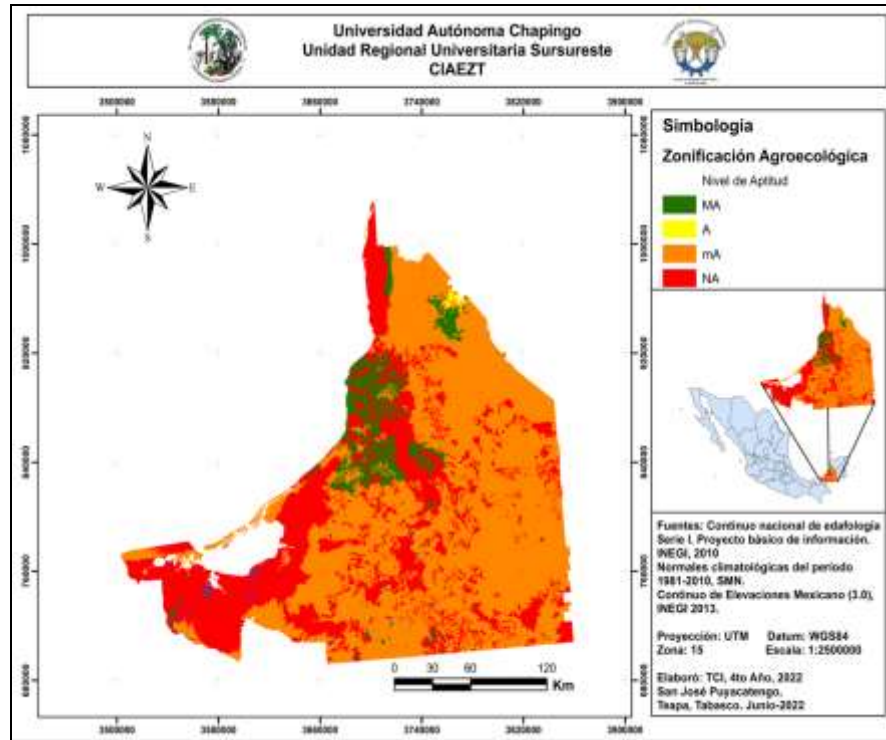


Figura 4. Zonificación agroecológica para pitahaya roja en Campeche, México.

De acuerdo con los resultados obtenidos se podría establecer de manera exitosa pitahaya roja en el 6.2% del territorio campechano (335,823.1 ha), ya que las condiciones edafoclimáticas son adecuadas para el cultivo (Figura 4). Es decir, solo en poco más de 6% de la entidad se reúnen completamente los requerimientos edafoclimáticos que tiene el cultivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Zonificación agroecológica para pitahaya roja en Campeche, México.

Aptitud	Superficie	
	(Ha)	(%)
MA	335,823.1	6.27
A	9,069.3	0.17
mA	3,225,370.6	60.22
NA	1,786,090.2	33.35

MA = muy apto; A = apta; mA = marginalmente apta; NA = no apto.



La superficie que reúne las características óptimas para el desarrollo del cultivo en la entidad es de 335,823.1 hectáreas. Con restricciones, sobre todo debidas a textura en los suelos, están 9,069.3 hectáreas, mismas que con manejo adecuado pudieran mejorar su potencial productivo para la especie de interés y con mayores restricciones edafológicas están 3,225,370.6 ha, marginalmente aptas, en las cuales las acciones de mejora serían mayores, al igual que los costos de producción y los rendimientos esperados menos prometedores.

Conclusiones

Respecto al factor climático no existe restricciones para el cultivo de pitahaya roja en el estado de Campeche, ya que tanto la temperatura como la precipitación pluvial proporcionan los requerimientos agroclimáticos para la planta.

El factor condicionante para el cultivo de pitahaya roja es el suelo, particularmente la textura, ya que no todas las unidades edafológicas proporcionan los requerimientos adecuados para el cultivo.

La clase marginalmente apta (mA) es la mejor representada en el estado de Campeche. Ocupa la mayor proporción (60.2%) de la entidad con 3,225,370.6 de hectáreas. La clase muy apta (MA), ocupa 6.2% de la entidad con 335,823.1 hectáreas. La clase apta (A), está presente en 0.17% del territorio estatal con 9,069.3 hectáreas. La clase no apta (NA), está presente en el 33.3% de la superficie estatal, cubriendo 1,786,090.2 ha.

Solo en la porción centro, occidente y norte se encuentran las mejores condiciones para establecimiento del cultivo de pitahaya roja en el estado de Campeche y en menor proporción hacia el sur y suroeste. En el resto de la entidad, excepto en las zonas no aptas, es posible establecer a esta cactácea como cultivo siempre que se realice adecuado manejo edafológico. Sin embargo, los rendimientos productivos pueden verse afectados y los costos de producción incrementados.

Literatura Citada

Bárceñas, P. y V. Jiménez. 2018. Pitayas y Pitahayas (*Stenocereus* spp. e *Hylocereus* spp.) recursos agrícolas en el Valle de Tehuacán Puebla. *Producción Agrícola y Animal* 7 (3): 1-20.



Berbeau, G. 1990. La Pitahaya rouge, un Nouveau fruit exotique. *Fruits* 45: 141-147.

Cálix, de D. H., M. R. Castillo y C. H. J. Caamal. 2014. Caracterización de la producción de pitahaya (*Hylocereus* spp.) en la zona maya de Quintana Roo, México. *Agroecología* 9: 123-132.

Cordero, I. F. J. 1997. Injertos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth), sobre otras cactáceas. Depto. de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México.

ESRI. 2016. Arcgis 10.4.1. Support.esri.com. <https://support.esri.com/es/products/desktop/arcgis-desktop/arcmap/10-4-1>. [Consultado el 8 de mayo de 2022].

FAO. 1997. Zonificación agroecológica. Guía General. Boletín de Suelos número 73. Roma, Italia.

INEGI. 2020. Clima. Campeche. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/camp/territorio/clima.aspx?tema=me&e=04>. [Consultado el 13 de junio de 2022].

Jordan, M. D., C. J. S. Vasconez, Q. C. D. Veliz, V. H. González. 2009. Producción y exportación de la fruta pitahaya hacia el mercado europeo. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6307>. [Consultado el 3 agosto de 2022].

López, H. 1996. Cultivo de la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria. Gobierno de Nicaragua. Managua, Nicaragua.

Meráz, A., Gómez, C. y R. Schwentesius. 2003. Pitahaya de México, Producción y Comercialización en el Contexto Internacional. Pitayas y Pitahayas. C. A. Flores V. (ed). Universidad Autónoma Chapingo 99-116.

Nerd, A., N. Tel-Zur, Y. Mizrahi. 2002. Fruits of vine and columnar cacti. En: P. S. Nobel (ed.) *Cacti. Biology and Uses*. University of California Press. Berkeley, L. A. London: 185-197.



- Ortega, H. A., A. M. León, V. R. Rosas. 2018. Producción de pitahaya para promover el desarrollo regional y sustentable. In: Vol. III. Agenda Pública para el Desarrollo.
- Ortiz, S. C. A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa: con aplicaciones en la República Mexicana.
- Ortiz, S. C. A., T. E. Ojeda, H. D. Pájaro. 1991. Estimación de rendimientos máximos de cultivos por el método de zonas agroecológicas. *Revista de Geografía Agrícola* 15-16: 11-19.
- Ortiz, H. Y. D. 1999. Pitahaya: un nuevo cultivo para México. Edit. Limusa-Grupo Noriega Editores, México. DF.
- Rodríguez, C. A. 2000. Producción y comercialización de pitahayas en México. *Claridades Agropecuarias* 82: 3-22.
- Rodríguez, C. A. 2002. Pitahaya (*Hylocereus undatus*) producción y comercialización en México. Reporte de investigación 66. Universidad Autónoma Chapingo. 39 p.
- SMN. 2022. Normales climatológicas por estados. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=camp>. [Consultado el 25 julio de 2022].
- SIAP. 2019. Estadísticas de producción agrícola “cierre agrícola”, Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <p://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. [Consultado el 20 de julio de 2022].
- SIAP. 2022. Estadísticas de producción agrícola “cierre agrícola”, Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <p://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. [Consultado el 1 de agosto de 2023].



DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y USO DE LOMBRICOMPOSTA EN EL CULTIVO DE LIMÓN PERSA

Jesús Rodríguez Muñoz²², Alexander Olmos Ballona²², José Luis Del Rosario Arellano^{22*}, María Alva Ángel Lara²², Norma Ana Belí Coria Gil²², Wilbert Díaz De Dios²², Samuel Córdova Sánchez²³, Agustín Herrera Solano²², Miguel Merino Valdés²², Gloria Esperanza De Dios León²², Carlos Félix Hernández Salgado²², Viridiana Borbonio Fernández²², Sherell Zamora Juárez²² y Carlos Jesús Real Garrido²²

Resumen

El uso de fertilizantes sintéticos en la nutrición es una práctica para maximizar los rendimientos en el cultivo de limón, aunque se pierde de vista la sostenibilidad. El objetivo de esta investigación fue analizar la dinámica de crecimiento y el efecto de la aplicación de lombricomposta en limón persa (*Citrus latifolia*), como alternativa para una producción sostenible. El trabajo se llevó a cabo en el huerto “Constancio Calderón Aguirre” de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (FCBA), en árboles de limón persa de aproximadamente cuatro años de edad. El experimento consistió en dos etapas: 1) estudio de la dinámica de crecimiento de julio 2022 a marzo 2023 en función de la temperatura y la precipitación, y 2) análisis de respuesta de la aplicación de lombricomposta y los fertilizantes foliares RindeMax® (44-00-00) y Hakaphos® naranja (15-05-30), durante el periodo diciembre 2022 a marzo 2023. Se registraron las variables agronómicas: altura de planta, diámetro del tallo, largo y ancho de la hoja, así como el número de brotes, flores y frutos. El diseño experimental fue en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los datos se sometieron a un ANOVA y comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$). Se observaron diferencias en la mayoría de las variables agronómicas al medirlas en diferentes fechas de evaluación, fuentes de nutrición y la interacción ($p < 0.05$). Por otra parte, aunque los productos sintéticos RindeMax® y Hakaphos® naranja ofrecieron mejores ventajas en las variables agronómicas de limón persa, la aplicación de lombricomposta influyó en el número de frutos, respuesta que se alcanzó en la última fecha de evaluación, en tanto, efectos positivos pueden ser alcanzados si se continua con el manejo orgánico, lo que además se verá reflejado

²² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Córdoba–Orizaba, Universidad Veracruzana. *Correspondencia: jdelrosario@uv.mx

²³ División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Popular de la Chontalpa.



en la mejora continua de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, orientando así al manejo sostenible de la huerta.

Palabras clave: *Citrus latifolia*, comportamiento agronómico, sostenibilidad

Introducción

México es el segundo productor citrícola a nivel global con 2.9 millones de toneladas (FAOStat, 2023), en este aspecto, tres son las especies de limón que el país produce: el limón agrio (*Citrus aurantifolia*), el limón persa (*Citrus latifolia*) y el limón italiano (*Citrus limon*), los cuales se cultivan en los estados de Veracruz, Michoacán, Oaxaca y Colima, entidades que abarcan el 75% del volumen de producción (SIAP, 2022), y con incrementos del 4.1% en la tasa media anual, el cual se debe al aumento en la superficie cosechada (SADER-SIAP, 2022), y que, gran parte del territorio cuenta con condiciones edafoclimáticas óptimas para su cultivo (Díaz *et al.*, 2012).

De lo anterior, la expansión de la superficie cultivada y la producción se relacionó con el empleo desmedido de insumos externos tales como fertilizantes, herbicidas, fungicidas, insecticidas y acaricidas, los cuales repercuten positivamente en sus ganancias económicas, no obstante, se deja de lado la sustentabilidad del agroecosistema, puesto que se degrada el suelo, se provoca la pérdida de hábitats, entre otras consecuencias (Andrade, 2016). De esto, ha indicado que cerca del 80% de los productores dedicados al cultivo de limón continúan con la aplicación de fertilizantes químicos debido a sus efectos a corto plazo (Almaguer-Vargas y Ayala-Garay, 2014). Al respecto, Franco-Valderrama *et al.* (2021) revelaron que dentro de los indicadores de debilidad en el cultivo de limón se ubican la práctica y manejo de los recursos naturales, lo que se corrobora con la pequeña superficie bajo sistema orgánico, en este caso de 374.62 hectáreas (SIAP, 2022).

Es relevante mencionar que al aplicar abono natural se está fomentando la conservación de los recursos naturales, ya que, el manejo de la nutrición orgánica da pauta al tránsito hacia una agricultura sustentable (Franco-Valderrama *et al.*, 2021). En este sentido, la aplicación de estos insumos da como resultado el restablecimiento de las propiedades físicas y químicas del suelo y con el tiempo, mejoran los rendimientos, esto como producto de la riqueza en la composición de elementos nutritivos, que además es posible obtenerlos localmente a bajo costo (Quezada, 2018). Al respecto, se ha detectado un



incremento en el rendimiento del limón persa con la aplicación de lombricomposta a una dosis de 6 y 8 kg por planta, demostrando la factibilidad del sistema orgánico (Vázquez y Vázquez, 2014).

De esta manera, en el presente trabajo se tuvo como objetivo realizar un estudio de la dinámica de crecimiento y el efecto de la aplicación de lombricomposta en limón persa (*Citrus latifolia*) bajo condiciones de temporal, en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias como alternativas para una producción citrícola sostenible.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en el huerto citrícola “Constancio Calderón Aguirre”, localizado en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Peñuela, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, cual se encuentra en las coordenadas geográficas 18.85° LN y 96.90° LO, a una altitud de 731 m. Su clima es semicálido húmedo (A)C(m)(f) (García, 2004), con una precipitación acumulada y temperatura media anual de 2 230.9 mm y 23°C respectivamente (Díaz *et al.*, 2006). El suelo es franco arenoso con las siguientes propiedades: pH= 5.4, MO= 3.77%, N= 0.0024%, además de P y K con 68.82 y 183 mg/kg respectivamente.

Tratamientos y variables agronómicas

La investigación consistió en dos etapas:

- 1) Dinámica de crecimiento en el periodo julio 2022 a marzo 2023, para el cual se registró la temperatura media y la precipitación acumulada mensual obtenidos de la Estación Meteorológica Automática localizada en Córdoba, Veracruz, a 4.5 km del sitio de estudio (SMN-CONAGUA, 2022).
- 2) Análisis del efecto de la lombricomposta de diciembre 2022 a marzo 2023. En este sentido, se aplicó mensualmente 2 kg de lombricomposta por planta (N= 0.08%, MO= 4.71%, pH= 5.7), comparados con RindeMax (44-00-00) y Hakaphos® naranja (15-05-30) cada quince días vía foliar a dosis de 20.27 y 1.5 g/L de agua respectivamente. El testigo consistió de árboles sin manejo de nutrición.

En cuanto a las variables agronómicas, se registraron de manera mensual: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (cm), dimensiones del largo y ancho de la hoja (cm), así como el número de brotes, flores y frutos.



Diseño experimental y análisis estadístico

Para la etapa 1 se siguió un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones (cinco árboles por repetición). En la etapa 2 el mismo diseño fue empleado, pero con un arreglo factorial para analizar el efecto de la nutrición (Nut), el tiempo de evaluación (Tiem) y la interacción (Nut*Tiem). Las variables se sometieron a un ANOVA y prueba de comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$) con el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Resultados y Discusión

Análisis de varianza de la dinámica de crecimiento (etapa 1)

El ANOVA mostró diferencias significativas en prácticamente todas las variables agronómicas debidas al efecto del tiempo (Cuadro 1, $p < 0.05$). Por otro lado, los altos coeficientes de variación superiores del 30%, se explican por la naturaleza de las variables discretas.

Cuadro 1. Análisis de varianza del comportamiento de variables agronómicas de limón persa.

Fuente de variación	G.L.	Alpla cm	Dtall cm	Larhoj cm	Anchoj cm	Nbrot	Nflo	Nfrut
Fecha	8	1443.04*	2.28*	1.98*	0.26	237.43	9.53**	7.99**
Error	84	623.34	0.9	0.44	0.12	0.49	0.95	0.75
C.V		16.48	20.57	8.54	8.06	64.12	81.70	82.03

*Significativo al 0.05, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); Alpla= altura de la planta; Dtall=diámetro del tallo; Larhoj= largo de la hoja; Anchoj= ancho de la hoja; Nbrot= número de brotes; Nflo= número de flores; Nfrut= número de frutos.

Comparación de medias de la dinámica de crecimiento (etapa 1)

Durante el periodo de estudio, el registro inicial de la altura de la planta fue de 143.40 cm, para finalizar en los 184.33 cm. Se observó que en diciembre y enero la planta incrementó su desarrollo vegetativo, sin embargo, al iniciar marzo se detuvo su crecimiento y desarrollo (Figura 1a), lo cual coincide con el descenso hídrico y un aumento gradual de la temperatura, características propias de la temporada de estiaje en la zona.

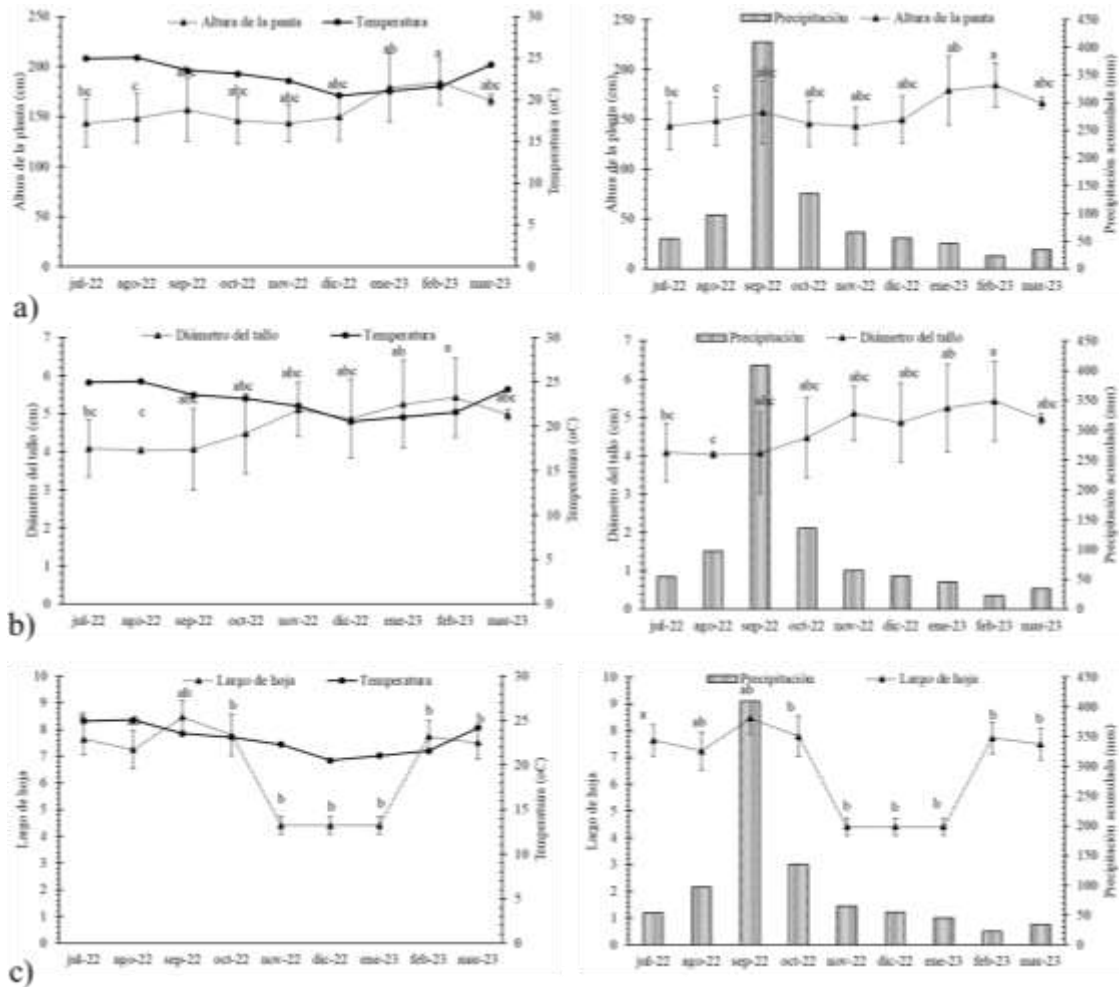


Figura 1. Dinámica de crecimiento de variables agronómicas en limón: a) altura de la planta, b) diámetro del tallo y c) largo de la hoja en el periodo julio 2022 a marzo 2023 y su relación con la temperatura (izquierda) y precipitación (derecha).

Para el diámetro del tallo, este varió de 4.04 a 5.43 cm, es decir un incremento del 25.59% durante los ocho meses de estudio (Figura 1b); sin embargo, este efecto fue notable en el mes de septiembre, cual coincide con una mayor precipitación, lo que podría explicarse a que el agua favorece el crecimiento y división celular. Los resultados fueron superiores a lo reportado por González *et al.* (2020) quienes, al evaluar diferentes portainjertos y variedades de naranja, la variable registró 1.45 y 3.83 cm, lo cual pudo deberse a que las plantas aún eran jóvenes.

Por otro lado, el registro inicial del largo de la hoja fue 7.5 cm, pero conforme incrementó la cantidad de agua disponible (septiembre), la dimensión foliar también lo hizo, en tanto, cuando la precipitación descende las hojas dejan de desarrollarse (Figura 1c).

Asimismo, se observó que la floración ocurrió en febrero y marzo, momento que se caracterizó por una temperatura de 21.61°C y precipitaciones por debajo de los 25 mm; no obstante, hubo flores durante todo el experimento (Figura 2a), por lo tanto, se considera que las condiciones climáticas y la ubicación geográfica son óptimas para el cultivo, debido a los flujos de floración en todo el ciclo (Mellado-Vázquez *et al.*, 2017).

En cuanto al número de frutos, una baja cantidad se cuantificó entre julio 2022 a enero 2023, periodo en que la planta estaba en fase vegetativa (Figura 2b), pero en febrero y marzo, hubo una mayor proporción, tiempo que coincide con el aumento gradual de la temperatura y precipitaciones menores a los 35 mm. Lo anterior fue distinto a Vázquez y Vázquez (2014), al reportar mayor número de frutos en la época lluviosa, mencionando que el proceso productivo puede ser continuo durante todo el año siempre y cuando exista el recurso hídrico.

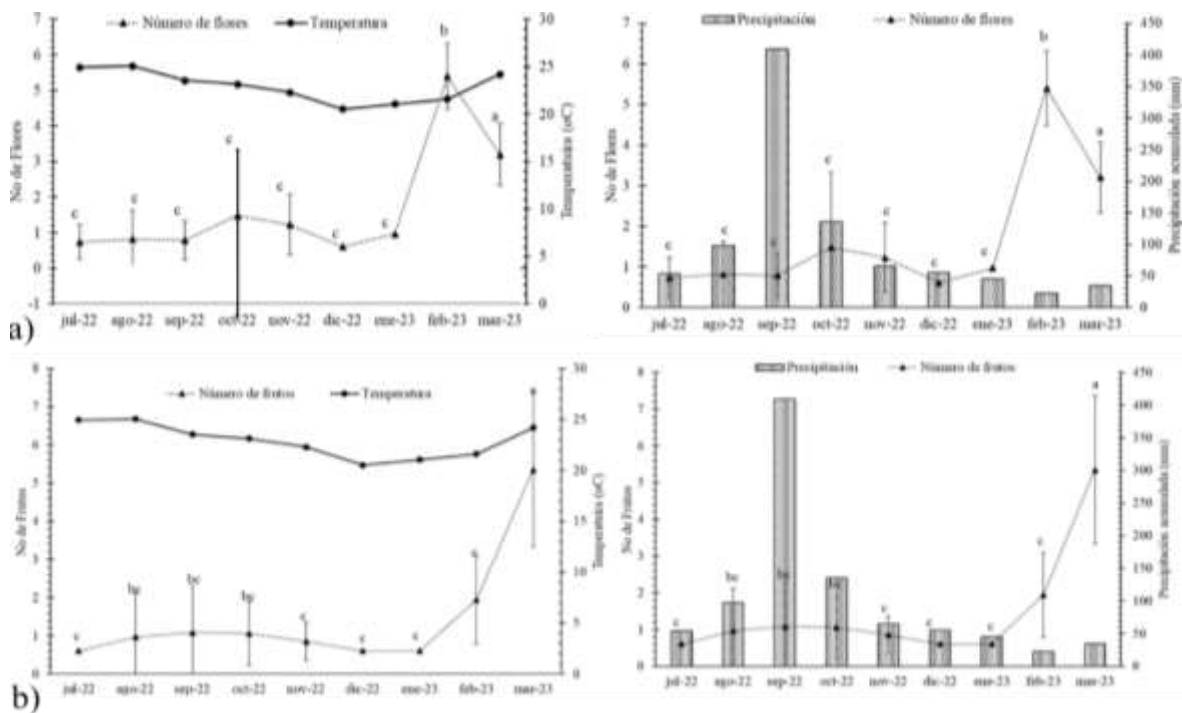


Figura 2. Dinámica de crecimiento de variables agronómicas en limón: a) número de flores y b) número de frutos en el periodo julio 2022 a marzo 2023 y su relación con la temperatura (izquierda) y precipitación (derecha).

Análisis de varianza sobre la nutrición, tiempo e interacción en limón persa (etapa 2)

El ANOVA mostró diferencias significativas en las variables diámetro de tallo, altura de planta, números de flores, frutos y brotes para el efecto de la nutrición (Nut), en tanto para el tiempo (Tiem),



surgieron los mismos efectos, excepto para diámetro de tallo. Por otro lado, en la interacción Nut*Tiem hubo diferencias para las variables altura de la planta, número de flores y frutos ($p < 0.05$, Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de varianza del comportamiento de variables agronómicas de limón persa, ciclo julio 2022-marzo 2023.

Fuente de variación G.L.	G.L.	Alpla	Dtall	Larhoj	Anchoj	Nbrot	Nflor	Nfrut
		cm	cm	cm	cm			
Nutrición (Nut)	3	1926.82*	2.96**	0.44	0.15	282.34*	1430.79**	773.22**
Tiempo (Tiem)	3	4009.08**	0.11	0.11	0.33	1697.84**	21428.85**	11300.27**
Nut*Tiem	7	1270.4*	0.42	0.43	0.16	57.03	2259.34**	813.62**
Error	36	925.43	0.49	0.39	0.09	72.42	225.28	117.33
C.V		18.36	13.26	7.87	6.99	64.51	74.62	68.36

*Significativo al 0.05 según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); Alpla= altura de la planta; Dtall=diámetro del tallo; Larhoj= largo de la hoja; Anchoj= ancho de la hoja; Nbrot= número de brotes; Nflor= número de flores; Nfrut= número de frutos.

Comparación de medias en el factor de la nutrición (etapa 2)

En esta etapa, para el diámetro del tallo se observó que Hakaphos® naranja demostró mayor efecto, al alcanzar 5.76 cm en comparación con la lombricomposta al registrar tan solo 4.96 cm (Cuadro 3). Lo anterior puede deberse a la frecuencia de las aplicaciones, así como la composición y concentración nutricional, en este sentido, el producto sintético tiene una amplia gama de macro y microelementos disponibles inmediato a su aplicación, así, la enmienda orgánica cuenta con 0.08% de nitrógeno comparado con el 15 y 44% de las fuentes sintéticas evaluadas. Asimismo, Hakaphos® naranja incidió en una mayor altura de la planta (175.88 cm), seguido de RindeMax® y la lombricomposta con resultados similares pero superiores al testigo (Cuadro 3). De ello, se ha dicho que la adición de nutrientes juega un papel fundamental en el crecimiento vegetativo, en este sentido el potasio es un elemento que participa en numerosas funciones fisiológicas, entre ellos la división celular (Alayón *et al.*, 2014), nutriente que se encuentra en una alta concentración en Hakaphos® naranja.

En tanto, RindeMax® demostró mayor eficiencia en la inducción de brotes vegetativos, puesto se cuantificaron 17.67, comparado con 12.46 y 11.04 para aquellas plantas tratadas con Hakaphos® naranja y la lombricomposta respectivamente; asimismo, la aplicación de RindeMax® reportó un alto número de flores, y por ende mayor cantidad de frutos (Cuadro 3), lo que se explica a que los productos nitrogenados vía foliar reducen el crecimiento y sintetizan etileno, acción que es capaz de inducir a la



floración (Lovatt *et al.*, 1988). Los resultados coinciden con Berdeja *et al.*, (2022), al encontrar que la aplicación de urea al 10% produce 16.16 frutos, pero al aplicar nitrato de potasio a la misma concentración la producción es menor de 4.33. Al respecto, la importancia de manejar la nutrición es que se impacta de forma positiva en el rendimiento, tamaño y calidad adecuada (Conde-Delgado *et al.*, 2018; López, 2018).

Cuadro 3. Análisis de medias de las variables agronómicas en limón persa en respuesta de la nutrición.

Fuente de variación	Alpla cm	Dtall cm	Larhoj cm	Anchoj cm	Nbro	Nflor	Nfrut
Lombricomposta	161.79ab	4.96b	7.92a	4.40a	11.04ab	18.54ab	15.92ab
RindeMax®	164.88ab	5.09ab	8.00a	4.32a	17.67a	30.29a	22.50a
Hakaphos® naranja	175.88a	5.76a	8.00a	4.55a	12.46ab	11.58b	8.67b
Testigo	143.67b	5.20ab	7.62a	4.23a	6.83b	19.83ab	17.67ab
Media	161.55	5.25	7.88	4.37	12	20.06	16.19

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); Alpla= altura de la planta; Dtall=diámetro del tallo; Larhoj= largo de la hoja; Anchoj= ancho de la hoja; Nbro= número de brotes; Nflor= número de flores; Nfrut= número de frutos.

Comparación de medias en el factor tiempo (etapa 2)

La mayor altura de la planta se alcanzó en el mes de marzo, con 174.25 cm; por otro lado, en diciembre, enero y febrero las plantas emitieron el mayor número de brotes (15 a 21), crecimiento vegetativo que se atribuye a la poda de despunte realizada en el mes de diciembre, la cual una vez finalizada, la planta entra en la etapa reproductiva, emitiendo una mayor cantidad de flores (61.79) y frutos (46.79) en los meses de febrero y marzo respetivamente (Cuadro 4). De esta manera, considerando que los frutos maduran entre los 90 a 120 días después de la floración (Calderón, 1990), se espera que a partir de junio 2023 inicie la cosecha, no obstante, para alcanzar altos precios de venta es preciso inducir a la floración invernal, para aprovechar la ventana de mercado más atractiva (Mellado-Vázquez *et al.*, 2017).



Cuadro 4. Análisis de medias del comportamiento de variables agronómicas de limón persa con base al factor tiempo.

Fuente de variación	Alpla	Dtall	Larhoj	Anchoj	Nbrot	Nflor	Nfrut
	cm	cm	cm	cm			
Diciembre	147.33b	5.37 ^a	SD	SD	15.22 ^a	0.17b	0.00b
Enero	165.39b	5.18 ^a	SD	SD	21.50 ^a	0.94b	0.00b
Febrero	165.58ab	5.29 ^a	7.91 ^a	4.41 ^a	17.00a	61.79 ^a	9.13b
Marzo	174.25 ^a	5.21 ^a	7.80 ^a	4.22 ^a	0.04b	7.71b	46.79 ^a
Media	163.13		7.85	4.31	13.44	17.65	13.98

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); Alpla= altura de la planta; Dtall=diámetro del tallo; Larhoj= largo de la hoja; Anchoj= ancho de la hoja; Nbrot= número de brotes; Nflor= número de flores; Nfrut= número de frutos.

Comparación de medias del efecto de interacción Nutrición*Tiempo (etapa 2)

Los productos aplicados en diciembre del 2022 surtieron efectos hasta marzo del 2023 para la variable altura de la planta, siendo Hakaphos® naranja quien alcanzó mayor valor comparado con la lombricomposta (Figura 3a), y es que, es conocido que el uso de fertilizantes inorgánicos con altos contenidos de N-P-K produce efectos casi inmediatos a su aplicación (Mellado-Vázquez *et al.*, 2017; Sánchez, 2020).

En cuanto a los brotes, estos aparecieron en enero y febrero justo después de la poda de despunte, donde destacaron aquellos árboles tratados con RindeMax®, deteniendo el crecimiento vegetativo en el mes de marzo (Figura 3b). Lo anterior fue similar a lo reportado por Ambriz *et al.*, (2021) al registrar mayor cantidad de brotes en los tratamientos en los que se aplicó urea al 6%; también indicaron que los árboles de limón con poda + urea (6%) + anillado en septiembre emitieron en promedio más de tres brotes por rama, y es que, para un mejor efecto en la generación de brotes, se debe considerar la poda de ramas necesarias para no provocar un desbalance de carbohidratos, seguido de una aplicación equilibrada de nitrógeno (Medina-Urrutia *et al.*, 2004).

Con base al número de flores, los efectos de los tratamientos fueron notorios en febrero, sobre todo con RindeMax®, contabilizando hasta 113.67 flores, superior a las 29.33 para los árboles sin la aplicación de los agroinsumos (Figura 3c), y es que, según Ambriz *et al.* (2021), la aplicación de urea después de una poda ligera en árboles de limón mexicano y persa favorecen la formación de estas estructuras. En cuanto al efecto de la lombricomposta, los resultados fueron similares a Roque (2020),



quien, al agregar 10 kg de kudzu por árbol injertados en diversos portainjertos, el número de flores no fue significativo en cuatro meses de evaluación, cual vario de 0.8 a 1.58, lo que refleja que el efecto de las enmiendas orgánicas no es inmediato. Por otra parte, se ha dicho que la inducción floral se estimula con técnicas como el raleo de frutos, poda de brotes, fertilización y aplicación de reguladores de crecimiento y en general todas las prácticas combinadas, cuyos resultados son evidentes entre los 2.5 y 3.5 meses después de su aplicación (Ariza *et al.*, 2004; Mellado-Vázquez *et al.*, 2017).

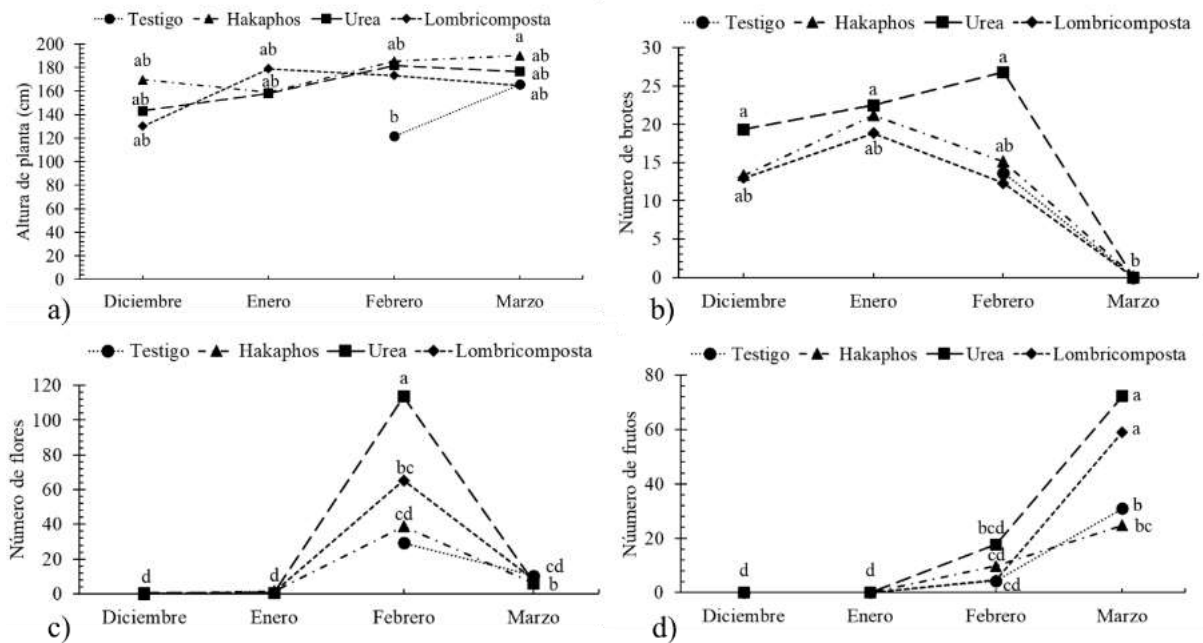


Figura 3. Interacción Nutrición*Tiempo en las variables de limón persa: a) altura de la planta, b) número de brotes, c) número de flores y d) número de frutos. Letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Por último, el mayor número de frutos se observó una vez que ocurrió la floración, los cuales fueron evidentes en marzo, donde RindeMax y la lombricomposta alcanzaron los mejores valores, superando a Hakaphos® naranja y al testigo (Figura 3d). Estos resultados fueron diferentes a Berdeja-Arbeu *et al.* (2019), quienes al evaluar por seis meses la aplicación de Bayfolan forte, el fertilizante 12-12-17 vía foliar, así como el uso de estiércol de vaca y la aplicación fresca de tallos y hojas de kudzu (*Pueraria phaseoloides*), estos alcanzaron igual número de frutos por rama, con valores que oscilaron de 1.4 a 1.85, no obstante, estos



resultados demuestran la eficiencia al menos igual de las enmiendas orgánicas con respecto a los tratamientos químicos.

Conclusiones

El uso de la lombricomposta incidió en la etapa reproductiva, con efectos casi similares a los fertilizantes foliares ricos en macro y micronutrientes, por otra parte, no se descarta una mayor eficiencia tanto en el comportamiento vegetativo y productivo a largo plazo, lo cual se relacionaría con el incremento de la fertilidad natural del suelo.

Agradecimientos

La investigación formó parte del proyecto “Árboles frutales intercalados con cultivos básicos e industriales, como estrategia de aprovechamiento sostenible” con número de registro DGI 543132022123, del cual se agradece su aprobación y las facilidades efectuadas por la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Córdoba-Orizaba de la Universidad Veracruzana. Asimismo, por la colaboración de la Universidad Popular de la Chontalpa, y en especial, a los estudiantes que apoyaron arduamente para la implementación y el desarrollo experimental.

Literatura Citada

Alayón, L. P., V. Rodríguez A., A. Píccoli B., M. Chabbal D., L. Giménez I. y C. Martínez G. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) y tangor Murcott (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo 46 (1): 87-96.



- Almaguer-Vargas, G. y A. V. Ayala-Garay. 2014. Adopción de innovaciones en limón Persa (*Citrus latifolia* Tan.) en Tlapacoyan, Veracruz: Uso de bitácora. Revista Chapingo. Serie Horticultura 20 (1): 89-100.
- Ambriz, C. R., T. Alia I. y F. Ariza R. 2021. Producción de limón persa en época de oferta escasa. Inventio 9 (19):31-36.
- Andrade, F. H. 2016. Los desafíos de la agricultura. 1a ed. International Plant Nutrition Institute. 136 p.
- Ariza, R., R. Cruzaley., E. Vázquez., A. Barrios. y N. Alarcón. 2004. Efecto de las labores culturales en la producción y calidad del limón mexicano de invierno. Revista Fitotecnia Mexicana (27) Es1: 73-76 p.
- Berdeja, A. R., C. Moreno L., J. Méndez G., G. J. Pérez M. y C. Hernández D. 2022. Las aplicaciones de etefón aumentan rendimiento de fruto de lima 'persa' de exportación. Revista Biológico Agropecuaria 10 (1): 128-140 p.
- Berdeja-Arbeu, M. G. Victor, J. Méndez-Gómez, R. Escobar-Hernández y G. J. Pérez-Marroquín. 2019. Rendimiento y calidad de fruta de lima Persa con nutrición química, estiércol y leguminosa en Martínez de la Torre, Veracruz, México. Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (78): 44-50.
- Calderón, A. E. 1990. Fruticultura moderna. Ediciones Ciencia Técnica, S.A. Edit. Limusa, México.
- Conde-Delgado, L. M., I. Alia-Tejacal, L. A. Valdez-Aguilar, R. A. Araiza-Flores, P. Juárez-López, G. A. Pérez-Arias. *et al.* 2018. La dosis de fertilización afecta el rendimiento y calidad en limón persa (*Citrus latifolia* Tan.). Acta Agrícola y Pecuaria 4 (1):1-9.
- Di Rienzo J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/> [consultado el 28 de enero de 2022].



- Díaz, P. G., P. R. Guajardo A., G. Medina G., I. Sánchez C., J. Soria R., J. M. Vázquez A. *et al.* 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México 1a ed. secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F. 140 p.
- Díaz, P. G., J. U. Ruíz C., M. Á. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (Período 1961-2003). Libro técnico Núm. 13. INIFAP. Medellín de Bravo, Veracruz, México.
- FAOStat (United Nations Statistics Division of the Food and Agriculture Organization). 2023. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#home> [consultado el 10 de mayo de 2023].
- Franco-Valderrama, A. M., I. Caamal- Cauich., V. G. Pat-Fernández y J. J. Ramírez-Hernández. 2021. Sustentabilidad del sistema de producción de limón persa en Martínez de la Torre, Veracruz. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 19 (2): 213-228.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5a ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. 97 p.
- González, H. A., D. Guillén S., I. Alia T., V. López M., Juárez, L. P. y S. D. Bárcenas. 2020. Comportamiento de variedades de naranja injertadas en diferentes portainjertos en Xalostoc, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11 (5): 1123-1134.
- López, B. B. A. 2018. Nutrición de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) mediante el enfoque de balance nutrimental. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias 72 p.
- Lovatt, J. C., Y. Zheng. and D. Hake K. 1988. Demonstration of a change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in citrus. *Israel Journal of Botany* 37 (2-4): 181-188 p.



Medina-Urrutia, V. M., M. Robles G. y J. Orozco R. 2004. Poda de los cítricos; su aplicación en limón Mexicano *Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle. INIFAP Campo Experimental Tecomán. Folleto técnico núm. 2. 80 p.

Mellado-Vázquez, A., S. Salazar-García. y A. Álvarez-Bravo. 2017. Prácticas agrícolas para incrementar la cosecha invernal del limón Persa en el sur de Nayarit. Folleto Técnico Núm. 33 MX-0-310305-12-05-24-09-33. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. 40 p.

Quezada, U. Q. 2018. Producción orgánica sostenible y su demanda en el mundo al 2030. Kuntur 6(06):11. <http://revistas.udaff.edu.pe/index.php/kuntur/article/view/40> [consultado el 25 de mayo de 2023].

Roque, G. J. J. 2020. Nutrición orgánica con kudzu (*Pueraria phaseoloides*) en lima 'Persa' injertada en cuatro portainjertos. Tesis de licenciatura. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 47 p.

SADER-SIAP (Secretaría de Desarrollo Rural-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Panorama Agroalimentario 2022. Limón. 218 p. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035> [consultado el 28 de mayo de 2023].

Sánchez, G. J. A. 2020. Comportamiento de lima persa injertado sobre los patrones, Citrange Carrizo, Citrumelo Swingle y Citrange C-35 en Xalostoc, Morelos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del estado de Morelos. 55 p.

SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2022. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 10 de abril de 2023].

SMN-CONAGUA (Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua). 2022. Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s> [consultado el 21 de noviembre de 2022].



Vásquez, L.C.I. y C. Vásquez P. 2014. Producción de limón Tahití (*Citrus latifolia* Tan.) con aplicación de humus de lombriz, Casarabe, Beni, Bolivia. *Agrociencias Amazonia* 3:1-6.



APLICACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES DURANTE LA ACLIMATIZACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR BAJO ESTRÉS HÍDRICO

José Luis Spinoso Castillo²⁴, Altagracia Reyes Castillo²⁵, Ricardo Sánchez Páez²⁴, Bruno Reyes Beristain²⁴
y Jericó Jabín Bello Bello^{26*}

Resumen

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen asociaciones simbióticas con plantas para inducir mecanismos de tolerancia a estrés hídrico en plantas. Por lo tanto, las interacciones ecológicas entre diferentes organismos pueden tener una aplicación práctica en la biotecnología vegetal y microbiana. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis del hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* sobre el desarrollo y supervivencia *ex vitro* de plántulas de caña de azúcar en etapa de aclimatación bajo estrés hídrico programado. Las plántulas obtenidas *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv Mex 69–290) fueron inoculadas en diferentes dosis (0, 100 y 200 esporas por plántula) de *R. intraradices* durante la aclimatación en invernadero. A los 60 días de inoculación de las esporas, las plántulas fueron expuestas a estrés hídrico durante un curso temporal. Se evaluó el porcentaje de supervivencia, contenido de clorofila total, carotenoides, proteína total (PT), contenido de prolina (Pr), glicina betaína (GB), fenoles solubles y capacidad antioxidante, cada tres días durante 12 días. Los resultados demostraron un efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de supervivencia y las diferentes variables bioquímicas evaluadas a través del periodo de estrés hídrico. De acuerdo con la caracterización hongo-planta realizada por microscopía, se observó una interacción simbiótica entre planta y hongo. Asimismo, no se observaron diferencias entre las dosis de micorrizas evaluadas. Sin embargo, los indicadores bioquímicos PT, Pr, GB, fenoles y capacidad antioxidante son importantes para determinar el grado de estrés de las plantas y pueden ser utilizados para la selección temprana de cultivares de caña de azúcar tolerantes a sequía en combinación con biofertilizantes en programas de mejoramiento genético. Además, la inoculación temprana de 100 esporas de *R. intraradices* por

²⁴ Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba.

²⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

²⁶ CONAHCYT-Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba. *Autor por correspondencia: jericobello@gmail.com



plántula de caña de azúcar durante la etapa de aclimatización podría representar una ventaja de pre-acondicionamiento antes del trasplante en campo y para el establecimiento de semilleros básicos.

Palabras clave: *Rhizophagus intraradices*, clorofila, carotenoides, osmolitos, fenoles

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp. Híbridos) de la familia Poaceae, se cultiva en zonas tropicales y subtropicales del mundo. Esta especie es económicamente importante debido a que se obtienen diversos productos, coproductos y subproductos utilizados en la industria alimentaria, energética, química y farmacéutica (Shabbir *et al.*, 2021). Sin embargo, *Saccharum* spp. tienen grandes retos en materia de productividad y competitividad. Aunado a ello, la sequía ocasionada por el cambio climático afecta directamente el rendimiento este cultivo. Entre los efectos fisiológicos que ocasiona el estrés hídrico en plantas son la disminución de la fotosíntesis, pérdida de turgencia, reduce la absorción de nutrientes e induce la producción de especies reactivas de oxígeno (EROS), lo que resulta en muerte celular de los tejidos vegetales (Diagne *et al.*, 2020).

Las plantas toleran el estrés hídrico mediante mecanismos fisiológicos, bioquímicos y genéticos, como son: cambios en la regulación estomática y fotosíntesis, expresión de genes relacionados síntesis de proteínas chaperonas, canales, transportadores, ajuste osmótico mediante la síntesis de osmolitos compatibles y aumento de la actividad antioxidante, lo que permite la disminución de EROS (Kumaria *et al.*, 2022). La biotecnología ofrece alternativas para la solución de problemas relacionados con la baja productividad de los cultivos, una de ellas es mediante la micropropagación utilizando técnicas de Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV). La micropropagación es importante para obtener plantas vigorizadas con alta calidad genética y fitosanitaria. La aclimatización es la etapa final de la micropropagación y consiste en la transferencia gradual de las plántulas obtenidas *in vitro* a condiciones *ex vitro* (Gómez-Kosky *et al.*, 2020).

La aclimatización es un proceso que permite la inoculación de microorganismos benéficos en plantas previo a su trasplante en campo (Vergara *et al.*, 2019). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son biotrofos obligados que establecen asociaciones endosimbióticas con las raíces de las plantas vasculares, incluidos diversos cultivos agrícolas (Di Martino *et al.*, 2019). Los efectos positivos de la



inoculación de HMA se han demostrado en la producción de antioxidantes, poliaminas, ajuste osmótico y transporte de agua en diversas plantas expuestas a sequía, el desarrollo de las plantas y la tolerancia a sequía en las plantas hospedantes (Zhang *et al.*, 2020). Además, los efectos positivos de los HMA ya han sido demostrados en cultivos agroalimentarios como melón (*Cucumis melo*) (Meddich *et al.*, 2021) y manzana (*Malus prunifolia* (Willd.) Borkh.) (Dalla Costa *et al.*, 2021). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de hongo micorrízico *Rhizophagus intraradices* sobre el desarrollo *ex vitro* de plántulas de caña de azúcar en etapa de aclimatización bajo estrés hídrico programado.

Materiales y Métodos

Material vegetal y micropropagación

Para el establecimiento *in vitro* de caña de azúcar, se recolectaron ápices de 25 cm del cultivar Mex 69–290 de ocho meses de edad. Estos fueron cortados a una longitud de 15 cm y sometidos a hidrotermoterapia (Ecoshel, SC-15, McAllen, TX, USA) a 50°C durante 20 min. Los ápices se redujeron a 2 cm, se enjuagaron por cinco min en una solución comercial de hipoclorito de sodio al 10% (v/v) (5% de i.a.) Cloralex™ (Industrias Alen S.A. de C.V., NL, MX) con tres gotas de Tween 20® (Sigma-Aldrich® Chemical Company, Saint Louis, MO, USA) por 100 mL de agua. Finalmente, los meristemas fueron extraídos y colocados individualmente en tubos de ensayo que contenían 10 mL de MS (Murashige y Skoog, 1962) sin reguladores de crecimiento. El pH del medio se ajustó a 5.8 y se añadieron 2.5 g/L de Phytigel™ (Sigma-Aldrich®) como agente gelificante. El medio se esterilizó en autoclave durante 15 min a 120 °C y 115 kPa. Los explantes se incubaron a 24 ± 2°C, bajo una irradiación de 40 ± 5 μmol m⁻² s⁻¹ y un fotoperíodo de 16 h. Después de una semana, los ápices se transfirieron para su multiplicación a medio MS suplementado con 1 mg/L de kinetina (KIN, Sigma-Aldrich®), 1 mg/L de ácido indolacético (AIA, Sigma-Aldrich®) y 2 mg/L 6-bencilaminopurina (BAP, Sigma-Aldrich®). Luego de cuatro subcultivos (45 días cada uno), los brotes fueron individualizados y enraizados en medio MS semisólido sin reguladores de crecimiento.

Inoculación con hongo micorrízico y condiciones de cultivo

La inoculación con micorrizas se llevó a cabo en condiciones *ex vitro* bajo invernadero utilizando plántulas con una longitud de 5 cm y HMA de la especie *Rhizophagus intraradices* (Biofertilizante INIFAP®, Chiapas, MX). La inoculación planta-micorriza se llevó en charolas de polipropileno de 32



cavidades con un sustrato conformado por composta, turba y agrolita (2:1:1 v/v). El sustrato fue esterilizado en la autoclave durante 30 min a 120°C y 115 kPa. Posteriormente, al sustrato fueron agregados diferentes dosis de *R. intraradices* a razón de 0, 100 y 200 esporas por plántula. Las plántulas inoculadas se mantuvieron en condiciones de invernadero con 60% sombra a $30 \pm 2^\circ\text{C}$, una humedad relativa del $80 \pm 10\%$ y luz natural a una irradiancia de $80 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante un mes. En una segunda fase, a las plántulas se les fue retirado el domo con una temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$, una humedad relativa del $50 \pm 10\%$ y luz natural a una irradiancia de $150 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante un mes. Durante todo el experimento se aplicó riego con agua de osmosis dos veces por semana durante los dos meses. Transcurridos 60 días de aclimatización en invernadero, las plántulas fueron expuestas a estrés hídrico durante un curso temporal de 15 días sin riego. Durante el curso temporal, se evaluó el porcentaje de supervivencia. También, se registró contenido de clorofila total, carotenoides, proteína total, contenido de prolina, contenido de glicina betaína, contenido de fenoles solubles y capacidad antioxidante. Para evaluar el efecto del porcentaje de supervivencia en diferentes tratamientos durante la aclimatización, se evaluaron 32 plántulas por triplicado para cada dosis de *R. intraradices*.

Mediciones de potencial mátrico del sustrato

El potencial mátrico del sustrato (Ψ) se determinó cada tres días durante 15 días por el principio del tensiómetro usando un instrumento irrómetro (IRROMETER Model SR, Riverside, CA, USA).

Contenido total de clorofila y carotenoides

El contenido de clorofila total se determinó según la metodología propuesta por Harborne (1973). Para cada muestra se maceró 1 g de materia fresca con acetona al 80% y se dejó reposar a -4°C por 24 h en acetona 80% a un volumen final de 10 mL. Posteriormente, la mezcla se filtró con papel filtro No. 41, se ajustó a un volumen de 25 mL con acetona al 80%. Se utilizaron 2 mL por muestra y se leyó a una absorbancia de 663 y 645 nm para clorofila a y b, respectivamente. Las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S, Madison, WI). El contenido de carotenoides (β -caroteno) se realizó por el método propuesto por Biehler *et al.* (2010) y se leyó a una absorbancia de 450 nm.

Determinación de proteína total, prolina y glicina betaína

Proteína total (PT). La estimación de PT se realizó por el método propuesto por Bradford (1976). Se pesó una muestra de 20 mg de material vegetal fresco y se maceró en un mortero en 25 mL de acetona fría. Luego, se agregaron 2.5 mL de buffer tris-HCl 0.1 M pH 7.1, el cual se colocó en hielo. Posteriormente, la solución se centrifugó a 3100 g durante 20 min a una temperatura de 4°C .



Finalmente, se agregaron 5 mL de solución de Bradford y se leyeron a una absorbancia de 595 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S, Madison, WI, USA). La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración con albúmina bovina (Sigma-Aldrich®). Determinación de prolina (Pr). El contenido de Pr se estimó según el método colorimétrico descrito por Bates *et al.* (1973) con ligeras modificaciones. Se tomaron muestras de 250 mg de tejido foliar fresco, se maceraron en mortero y se homogeneizaron con 5 mL de ácido sulfosalicílico al 3%. Luego se tomó alícuota de 1 mL, a la que se le agregó 1 mL de ácido acético glacial y 1 mL de ninhidrina. Esta mezcla se incubó en un baño termostático durante 1 h a 100°C. Luego, se agregaron 2 mL de tolueno. La fase superior (tolueno + complejo coloreado) se eliminó con una pipeta. La absorbancia del cromóforo resultante se leyó a 520 nm en el espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S) y los valores se interpolaron en la curva de calibración realizada con el estándar de L-prolina (Sigma-Aldrich®). Determinación de glicina betaína (GB). El GB se realizó por el método colorimétrico propuesto por Grieve y Grattan (1983). Se tomaron muestras de 250 mg de tejido vegetal macerado seco a las que se les adicionó 10 mL de agua desionizada. Se tomó una alícuota de 0.5 mL diluidos en proporción 1:1 con H₂SO₄ 2 N, luego se agregó 0.1 mL de KI-I₂. Las muestras se mezclaron y se dejaron en refrigeración a 0–4°C durante 16 h. Luego se centrifugaron a 3100 g durante 15 min a 0°C y se colocaron en hielo durante 1 h. Finalmente se separó el sobrenadante y se adicionaron 4.5 mL de 1,2-Dicloroetano y se dejó a temperatura ambiente por 2 h; luego se extrajeron 3 mL de la muestra con una pipeta y se leyó la absorbancia a 365 nm en el espectrofotómetro (Thermo Scientific Genesys 10S). Los valores obtenidos fueron interpolados en la curva de calibración realizada con patrón de glicina-betaína (Sigma-Aldrich®).

Determinación de fenoles solubles y capacidad antioxidante

Fenoles solubles. El contenido fenólico se determinó según Payet *et al.* (2006). Primero, se maceraron en un mortero 250 mg peso fresco de tejido vegetal; la extracción se realizó con metanol:agua (80:20). Luego, la solución se centrifugó a 3100 g durante 10 min a 10°C. Posteriormente se tomaron 150 µL del sobrenadante adicionando 750 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10% (E. Merck, Darmstadt, DE); se homogenizó en vortex (Corning® LSE™), se añadieron 600 µL de Carbonato de Calcio al 20% (Sigma-Aldrich®) y se incubó por 2 h a 26°C. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm usando agua destilada como blanco. El contenido fenólico se calculó a partir de una curva de calibración de ácido gálico (Sigma-Aldrich®) (0–10000 µg mL⁻¹) y se expresó como miligramos de equivalentes de ácido gálico (GAE) por g de peso fresco (g PF) de plántulas de caña de azúcar. Capacidad antioxidante.



La capacidad antioxidante se expresó en DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazilo). El DPPH se realizó mediante la metodología propuesta por Huang *et al.* (2002). Se tomó una alícuota de 2900 μL de DPPH y 100 μL de extracto metanólico obtenido en la determinación del contenido fenólico. Se utilizó una curva de calibración con Trolox (Sigma-Aldrich[®]) a diferentes concentraciones. La mezcla se incubó a 30°C durante 1 hora y la absorbancia se midió a 515 nm. Los datos se expresaron como equivalentes de Trolox (TE) por g de peso fresco (g PF) de plántulas de caña de azúcar.

Caracterización de micorrizas

Microscopía de campo claro. Para visualizar el efecto de las diferentes dosis de HMA sobre raíces de caña de azúcar, se obtuvieron segmentos de raíces que se fijaron en paraformaldehído al 4% y luego se incubaron durante 48 h a temperatura ambiente. Los segmentos de raíz se lavaron tres veces con agua destilada y luego se incubaron en KOH al 10% durante 15 min a 120°C. Se añadió una solución alcalina de peróxido de hidrógeno y se incubó durante 20 min a temperatura ambiente, luego de lo cual se añadió azul de tripán al 0.05% (Sigma-Aldrich[®]) y se incubó durante 24 h a temperatura ambiente. Finalmente, se eliminó el azul de tripano y se agregó una solución de acetoglicerol. Las muestras se observaron bajo un microscopio compuesto (BX50, Olympus, Tokio, JP) utilizando objetivos 20X/0.50, UPlan-FL ($\alpha=0.17$) y 40x/1.00 (U-Plan-Apochromat, Olympus, Tokio, JP).

Diseño experimental y análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron en un diseño completamente al azar y por triplicado. Se realizó análisis de varianza seguido de comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software estadístico IBM SPSS[®] (versión 22 para Windows). Los datos porcentuales se transformaron con la fórmula $Y = \arcseno(\sqrt{(\times/100)})$, donde \times es el valor del porcentaje.

Resultados y Discusión

Mediciones de potencial mátrico del sustrato

El potencial mátrico del sustrato (Ψ) aumento conforme incrementaron los días sin riego, obteniendo valores de $\Psi = -0, -12, -32, -53$ y -199 kPa para 0, 3, 6, 9 y 12 días sin riego, respectivamente. En este estudio se observó el efecto de los diferentes días sin riego sobre el potencial mátrico del sustrato a través del periodo de estrés hídrico evaluado. Los efectos de las HMA sobre potencial mátrico del sustrato ya han sido demostrados en cultivos como la leguminosa (*Medicago truncatula*) (Püschel *et*



al., 2021). Püschel *et al.* (2021) en plantas de *M. truncatula* inoculados con *Rhizophagus irregularis* a una dosis de 780 esporas por planta, encontraron que el crecimiento de las plantas y la adquisición de nutrientes disminuyeron cuando el potencial mátrico del sustrato se redujo a partir de -100 kPa.

Porcentaje de supervivencia

Los resultados obtenidos en este estudio muestran un efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de supervivencia de las plántulas (Cuadro 1). Las plántulas que no fueron inoculadas con micorrizas tuvieron un efecto negativo sobre la supervivencia a los 6 días de estrés hídrico; mientras que, las plántulas que fueron inoculadas con micorriza mantuvieron el 100 de supervivencia. Los mayores porcentajes de supervivencia se obtuvieron en las plántulas tratadas con micorrizas a los 9 y 12 días de estrés hídrico; mientras que, las plántulas que no fueron tratadas con micorrizas obtuvieron los menores porcentajes de supervivencia. En general, el porcentaje de supervivencia tiende a disminuir a medida que aumenta el grado de estrés hídrico; sin embargo, cuando las plántulas fueron tratadas con HMA, estas mantienen mayor porcentaje de supervivencia en comparación de las plántulas sin HMA en los diferentes días sin riego evaluados. Los efectos positivos de las HMA sobre la supervivencia ya han sido demostrados en cultivos como pera (*Pyrus communis*) (Lotfi *et al.*, 2019) y manzana (*Malus prunifolia* (Willd.) Borkh.) (Dalla Costa *et al.*, 2021).

Contenido de clorofila y carotenoides

El contenido de clorofila y carotenoides mostraron diferencias significativas en las diferentes dosis de esporas durante los días de estrés hídrico evaluados (Cuadro 1). Los mayores contenidos de clorofila se observaron en las dosis de 100 y 200 esporas por plántula al día 0; mientras que, los menores contenidos de clorofila fueron observados en la dosis de 0 esporas por plántula a los 9 y 12 días de estrés. Respecto a los carotenoides, se observó un incremento gradual los contenidos conformes aumentaron los días de estrés evaluados sin importar la dosis de micorriza aplicada. Los mayores contenidos de carotenoides se observaron a los 9 y 12 días de estrés; mientras que, los menores contenidos de carotenoides se observaron en los días 0–6 en cualquiera de las dosis de micorriza aplicada. Las plántulas que fueron tratadas con HMA mostraron mayor contenido de clorofila respecto a las plántulas que no fueran tratadas con HMA durante periodo de estrés; mientras que, los carotenoides aumentaron a mayor tiempo de estrés hídrico en todos los tratamientos. La variación en el contenido de clorofilas y carotenoides en plantas inoculadas con HMA bajo estrés hídrico ya se ha reportado en diversas especies como maíz (*Zea mays*) (Begum *et al.*, 2019) y melón (*Cucumis melo*) (Meddich *et al.*, 2021). Begum *et al.* (2019) en *Z. mays* observaron que el contenido total de clorofilas



aumentó al utilizar *Glomus versiform* a una dosis de 850 esporas por planta y un periodo de estrés hídrico severo durante 4 semanas. Respecto al aumento en el contenido de carotenoides resultados similares fueron obtenidos por Meddich *et al.* (2021) in *C. melo*, observaron que el contenido de carotenoides aumentó al utilizar un consorcio de micorrizas con *Glomus* sp. a una dosis de 44 esporas por planta con deshidratación parcial de raíces durante 8 semanas.

Contenido de proteína total (PT), prolina (Pr) y glicina betaína (GB)

El contenido de PT, y los aminoácidos Pr y GB mostraron diferencias significativas en las diferentes dosis de HMA durante el periodo de estrés hídrico evaluado (Cuadro 1). En general, se observó un incremento gradual en el contenido de PT cuando fueron aumentando los días de estrés hídrico en las plántulas. Los mayores contenidos de PT se observaron a los 12 días en las dosis de 100 y 200 esporas por plántula; mientras que, el menor contenido de PT se observó en el día 0 en cualquiera de las dosis de micorriza aplicadas. Respecto a Pr, los mayores contenidos de este aminoácido se observaron a los 12 días en los tratamientos de 100 y 200 esporas por plántula; mientras que, el menor contenido de Pr se observó en el tratamiento sin HMA a los 0 días de estrés hídrico. Para GB, el mayor contenido se observó a los 12 días en los tratamientos con 100 y 200 esporas por plántula; mientras que, el menor contenido de GB, se observó a los 0 días sin tratamiento con HMA. La acumulación de PT, Pr y GB en plantas inoculadas con HMA bajo estrés hídrico ya se ha reportado en diversas especies como melón (*Cucumis melo*) (Meddich *et al.*, 2021) y albahaca (*Ocimum basilicum*) (Abd-Elghany *et al.*, 2021). En este estudio, el contenido de PT aumento a medida que fueron expuestas las plántulas a estrés con o sin HMA; sin embargo, las plantas que fueron tratadas con HMA mostraron un aumento en el contenido de PT durante los diferentes días de estrés. De manera similar, Meddich *et al.* (2021) en *C. melo*, observaron que al utilizar un consorcio de micorrizas con *Glomus* sp. a una dosis de 44 esporas por planta y estrés hídrico con deshidratación parcial de raíces al 50% durante 8 semanas, el contenido de proteína aumentó significativamente. Las plántulas de caña de azúcar mostraron un aumento en el contenido de Pr y GB cuando se prolongó el periodo de estrés hídrico; siendo mayor el contenido de Pr y GB cuando las plántulas fueron tratadas con HMA. Este efecto confirma que Pr y GB son indicadores bioquímicos que contribuyen a mecanismos de tolerancia al estrés hídrico en caña de azúcar. De manera similar a nuestro estudio, Abd-Elghany *et al.* (2021) en *O. basilicum*, observaron que el contenido de Pr aumentó al utilizar *Glomus versiform* a una dosis de 850 esporas por planta y un régimen de riego a una capacidad de campo al 40% durante 4 semanas. Actualmente, no se ha reportado acumulación de GB en plántulas de caña de azúcar bajo condiciones de estrés hídrico



inoculadas con HMA. Sin embargo, la acumulación de GB ha sido reportado en otras especies durante estrés hídrico. Begum *et al.* (2019) en *Z. mays* observaron que el contenido de GB aumentó al utilizar *Glomus versiform* a una dosis de 850 esporas por planta y un periodo de estrés hídrico severo durante 4 semanas.

Contenido fenólico y capacidad antioxidante

El contenido fenólico y la capacidad antioxidante mostraron diferencias entre las dosis de esporas por plántula y los diferentes días de estrés evaluados (Cuadro 1). El mayor contenido de fenoles se observó a los 12 días de estrés sin aplicación de micorriza; seguido de 100 y 200 esporas por plántula a los 12 días; mientras que, los menores contenidos de fenoles se encontraron en 100 y 200 esporas por plántula al día 0. Respecto a la capacidad antioxidante, en general se observó una mayor tendencia en la capacidad antioxidante en los tratamientos con micorriza durante los diferentes días de estrés evaluados. El mayor contenido de DPPH se observó en las dosis de 100 y 200 esporas por plántula a los 6 y 9 d de estrés; mientras que, la menor capacidad antioxidante se observó a los 12 d sin aplicación de micorriza. La acumulación de fenoles solubles y/o capacidad antioxidante en plantas inoculadas con micorrizas ha sido reportada en arboles (*Tamarix gallica*) (Bencherif *et al.*, 2019). Bencherif *et al.* (2019) en *T. gallica* encontraron que al utilizar un consorcio (*Funnneliformis mosseae*, *Septoglomus constrictum*, *Gigaspora gigantea*, *Glomus* sp1 y *Glomus* sp2) a una dosis de 165 esporas por planta, el contenido de fenoles totales aumentó significativamente más en raíces que en hojas. El aumento de fenoles solubles en plantas inoculadas con micorrizas bajo estrés hídrico ha sido reportado en naranja (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) (Cheng *et al.*, 2021). Cheng *et al.* (2021) en *P. trifoliata* observaron que al usar *Funnneliformis mosseae* a una dosis de 2,200 esporas por planta y un periodo de estrés hídrico severo durante ocho semanas, el contenido de fenoles totales aumentó significativamente. Respecto a la capacidad antioxidante, en general se observó un incremento de DPPH hasta el día 9 (–53 kPa), siendo mayor el contenido de DPPH en todos los tratamientos con micorrizas; sin embargo, la capacidad antioxidante disminuyó en el día 12 de estrés, con un potencial hídrico de –199 kPa. Este estudio indicó que *R. intraradices* podría aumentar las actividades antioxidantes para resistir el estrés oxidativo en un determinado nivel de estrés hídrico.

Caracterización de micorrizas

De acuerdo con la caracterización hongo-planta realizada por microscopía, se observó una interacción simbiótica favorable entre planta y hongo, con presencia de esporas e hifas (Figura. 1a-c). Respecto a la



caracterización de la micorriza, en este estudio se observaron arbuscúlos tipo anillo y escaso micelio en raíz.

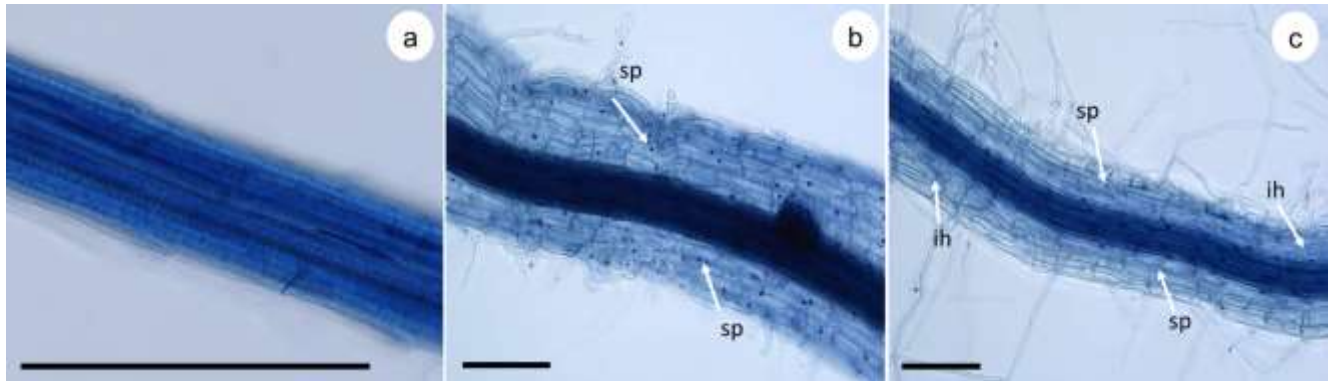


Figura 1. Colonización de *Rhizophagus intraradices* sobre plántulas de caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv Mex 69-290) evaluada bajo estrés por sequía durante la etapa de aclimatización a los 60 d después de la inoculación de esporas. Se observaron estructuras fúngicas, como esporas (sp) e hifas intracelulares (ih) mediante microscopía de campo brillante. a) Tratamiento control, b) 100 esporas/plántula y c) 200 esporas/plántula. Barra = 150 μ m.

En este estudio, la tolerancia de las plántulas al estrés hídrico está relacionada con la acumulación de pigmentos fotosintéticos, Pr, GB, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en condiciones de estrés hídrico. Se ha demostrado que la simbiosis hongo-planta induce específicamente la expresión de genes (*Cu/Zn SOD* y *AQP*), activación de acuaporinas (*AQP*) y la actividad de compuestos antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos que están relacionados a una respuesta de tolerancia al estrés hídrico (Tomar *et al.*, 2020). Además, los HMA protegen a las plantas hospedantes contra el estrés hídrico a través de diferentes mecanismos, que incluyen: absorción directa de agua del micelio extrarradical micorrízico y mejora de la estructura del suelo por el micelio extrarradical micorrízico (Zou *et al.*, 2021). Las plántulas de caña de azúcar expuestas a estrés hídrico mostraron un bajo porcentaje de supervivencia en comparación con aquellas plántulas recién inoculadas con HMA. En general, las plántulas inoculadas con HMA mejoraron la tolerancia al estrés hídrico a través de diferentes aspectos fisiológicos y bioquímicos.



Cuadro 1. Efecto de hongos micorrizicos arbusculares (*Rhizophagus intraradices*) sobre plántulas de caña de azúcar (*Saccharum spp. cv Mex 69-290*) evaluadas bajo estrés hídrico durante la etapa de aclimatización.

Días	Dosis (esporas/plántula)	Supervivencia (%)	Clorofila total (mg g ⁻¹ PF)	β-caroteno (µg mL ⁻¹)	Proteína total (PT) (mg g ⁻¹ PF)	Prolina (Pr) (µmol g ⁻¹ PF)	Glicina-Betaina (GB) (µmol g ⁻¹ PS)	Contenido fenólico (mg GAE g ⁻¹ PF)	Capacidad antioxidante (TE g ⁻¹ PF)
0	0	100.00±0.00a	1.23±0.02ab	5.85±0.44d	1.73±0.12g	0.34±0.01f	1.88±0.11f	158.74±17.26fg	56.00±0.80c
	100	100.00±0.00a	1.32±0.03a	5.90±0.43d	1.77±0.08g	0.97±0.10ef	3.34±0.10ef	140.21±15.50g	56.16±0.80c
	200	100.00±0.00a	1.33±0.03a	6.13±0.31d	1.68±0.12g	1.15±0.10ef	3.45±0.14ef	140.75±15.38g	57.16±0.31bc
3	0	100.00±0.00a	1.00±0.05c	6.45±0.33cd	4.10±0.15fg	0.95±0.09ef	3.12±0.11ef	203.36±5.90efg	55.62±1.33c
	100	100.00±0.00a	1.05±0.05bc	6.53±0.42cd	5.01±0.21f	3.68±0.24de	3.44±0.16ef	185.62±8.23fg	60.83±0.57b
	200	100.00±0.00a	1.04±0.04c	6.46±0.50cd	4.90±0.20f	3.67±0.19de	3.36±0.14ef	174.80±7.71fg	60.53±0.54b
6	0	90.00±0.00b	0.75±0.02de	7.58±0.33bcd	7.62±0.34e	5.49±0.01d	3.52±0.06ef	307.09±13.85cd	57.82±0.60bc
	100	100.00±0.00a	0.92±0.03cd	8.59±0.24b	10.70±0.28d	11.12±0.78c	3.78±0.20e	224.99±19.78ef	66.32±0.44a
	200	100.00±0.00a	0.96±0.05c	8.24±0.25bc	11.15±0.37d	11.64±0.69c	3.94±0.16e	214.84±12.69ef	66.12±0.70a
9	0	56.66±3.33d	0.69±0.03e	12.43±0.47a	11.02±0.14d	9.89±0.92c	6.36±0.33d	355.67±17.30c	60.93±0.73b
	100	75.00±2.88c	0.93±0.04cd	11.07±0.24a	13.71±0.33c	19.17±0.42b	8.60±0.21c	270.29±8.98de	66.49±0.61a
	200	76.66±1.66c	0.96±0.03c	11.31±0.35a	14.41±0.21c	20.32±0.70b	8.21±0.22c	270.99±9.44de	66.99±0.57a
12	0	26.66±3.33e	0.57±0.02e	12.17±0.49a	24.27±1.55b	12.22±1.41c	15.26±1.09b	639.22±11.96a	37.37±1.53e
	100	71.66±1.66c	0.96±0.04c	12.02±0.49a	30.14±0.61a	33.56±0.76a	18.13±0.34a	529.87±18.30b	49.88±0.77d
	200	73.33±3.33c	1.04±0.03c	12.38±0.40a	30.21±0.64a	32.05±1.15a	17.99±0.47a	508.19±17.78b	51.34±0.52d

Los resultados se muestran como media ± error estándar. Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).



Conclusiones

En este estudio se observó un efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de supervivencia a través del periodo de estrés hídrico evaluado. La supervivencia tiende a disminuir a medida que aumenta el grado de estrés hídrico; sin embargo, las plántulas que fueron tratadas con HMA mantienen mayor porcentaje de supervivencia. Los indicadores bioquímicos PT, Pr, GB, fenoles y capacidad antioxidante son importantes para determinar el grado de estrés de las plantas y pueden ser utilizados para la selección temprana de cultivares de caña de azúcar tolerantes a sequía en combinación con biofertilizantes en programas de mejoramiento genético.

Literatura Citada

- Abd-Elghany, S. E., Moustafa, A. A., Gomaa, N. H. and Hamed, B. E. A. 2021. Mycorrhizal impact on *Ocimum basilicum* grown under drought stress. Beni-Suef Univ. J. Basic Appl. Sci. 10:72.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, I. D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant Soil 39:205–207.
- Begum, N., Ahanger, M. A., Su, Y., Lei, Y., Mustafa, N. S. A., Ahmad, P. and Zhang, L. 2019. Improved drought tolerance by AMF inoculation in maize (*Zea mays*) involves physiological and biochemical implications. Plants 8:579.
- Bencherif, K., Djaballah, Z., Brahimi, F., Boutekrabt, A., Dalpè, Y. and Sahraoui, A. L. H. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi affect total phenolic content and antimicrobial activity of *Tamarix gallica* in natural semi-arid Algerian areas. S. Afr. J. Bot. 125:39–45.
- Biehler, E., Mayer, F., Hoffmann, L., Krause, E. and Bohn, T. 2010. Comparison of 3 spectrophotometric methods for carotenoid determination in frequently consumed fruits and vegetables. J. Food Sci. 75: C55–C61.



- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem.* 72:248–254.
- Cheng, H. Q., Giri, B., Wu, Q. S., Zou, Y. N. and Kuča, K. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate drought stress in citrus by modulating root microenvironment. *Arch. Agron. Soil Sci.* 68:1217–1228.
- Dalla Costa, M., Rech, D. D., Primieri, S., Pigozzi, B. G., Werner, S. S. and Stürmer, S.L. 2021. Inoculation with isolates of arbuscular mycorrhizal fungi influences growth, nutrient use efficiency and gas exchange traits in micropropagated apple rootstock ‘Marubakaido’. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 145:89–99.
- Di Martino, C., Fioretto, A., Palmieri, D., Torino, V. and Palumbo, G. 2019. Influence of tomato plant mycorrhization on nitrogen metabolism, growth and fructification on P-limited soil. *J. Plant Growth Regul.* 38:1183–1195.
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hoher, V. and Svistoonoff, S. 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: Importance in biotic and abiotic stressed regulation. *Diversity* 12:370.
- Gómez-Kosky, R., Jaramillo, D. N., Esquiro, C. R., Villegas, A. B., Calimano, M. B., Armas, P. M. y Daniels, D. D. 2020. Effect of VIUSID Agro® and FitoMas-E® on the *ex vitro* acclimatization of sugarcane plants (*Saccharum spp.*) cultivar C90-469. *Sugar Tech* 22:42–51.
- Grieve, C. M. and Grattan, S. R. 1983. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant Soil* 70:303–307.
- Harborne, J. B. 1973. Phenolic compounds. In *Phytochemical Methods*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 33–88.



- Huang, D., Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J. A. and Prior, R. L. 2002. High-throughput assay of oxygen radical absorbance capacity (ORAC) using a multichannel liquid handling system coupled with a microplate fluorescence reader in 96-well format. *J. Agric. Food Chem.* 50:4437–4444.
- Kumaria, J., Mahatmana, K. K., Sharmaa, S., Singhb, A. K., Adhikaric, S., Bansala, R. and Yadavb, M. C. 2022. Recent advances in different omics mechanism for drought stress tolerance in rice. *Russ. J. Plant Physiol.* 69:18.
- Lotfi, M., Fernandez, K., Vermeir, P., Mars, M. and Werbrouck, S. 2019. *In vitro* mycorrhization of pear (*Pyrus communis*). *Mycorrhiza* 29:607–614.
- Meddich, A., Ait Rahou, Y., Boutasknit, A., Ait-El-Mokhtar, M., Fakhech, A., Lahbouki, S. and Wahbi, S. 2021. Role of mycorrhizal fungi in improving the tolerance of melon (*Cucumis melo*) under two water deficit partial root drying and regulated deficit irrigation. *Plant Biosyst.* 156:469–479.
- Murashige, T. y Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant* 15:473–497.
- Payet, B., Shum Cheong Sing, A. and Smadja, J. 2006. Comparison of the concentrations of phenolic constituents in cane sugar manufacturing products with their antioxidant activities. *J. Agric Food Chem.* 54: 7270–7276.
- Püschel, D., Bitterlich, M., Rydlová, J. and Jansa, J. 2021. Drought accentuates the role of mycorrhiza in phosphorus uptake. *Soil Biol. Biochem.* 157:108243.
- Shabbir, R., Javed, T., Afzal, I., Sabagh, A. E., Ali, A., Vicente, O. and Chen, P. 2021. Modern biotechnologies: Innovative and sustainable approaches for the improvement of sugarcane tolerance to environmental stresses. *Agronomy* 11:1042.



Tomar, R. S., Kataria, S. and Jajoo, A. 2021. Behind the scene: Critical role of reactive oxygen species and reactive nitrogen species in salt stress tolerance. *J. Agron. Crop. Sci.* 207:577–588.

Vergara, C., Araujo, K., de Souza, S. R., Schultz, N., Saggin-Júnior, O. J., Sperandio, M. and Zilli, J. E. 2019. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 54:e25140.

Zhang, F., Zou, Y. N., Wu, Q. S. and Kuča, K. 2020. Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliolate orange. *Environ. Exp. Bot.* 171:103962.

Zou, Y. N., Wu, Q. S. and Kuča, K. 2021. Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. *Plant Biol.* 23:50–57.



DETECCIÓN DE VARIACIÓN SOMACLONAL EN BROTES IRRADIADOS DE VAINILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) CON MARCADORES ISSR

María Karen Serrano Fuentes²⁷, María Angelica Fuentes Torres²⁷ y Jericó Jabín Bello Bello²⁸ *

Resumen

La mutación es definida como un cambio espontáneo que se produce durante la replicación del ADN o en la división celular. Al inducir mutaciones se mejora el proceso de evolución y se explotan los caracteres superiores de un cultivar. La mutagénesis *in vitro* es una alternativa para generar variación genética en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) debido a su baja diversidad genética. El objetivo de este estudio fue detectar variación somaclonal en brotes irradiados de *V. planifolia* mediante marcadores moleculares ISSR (Inter Simple Sequence Repeats). Brotes previamente establecidos *in vitro* fueron multiplicados en medio de cultivo Murashige y Skoog suplementado con 2 mg L⁻¹ BAP (6-Bencilaminopurina). Se irradiaron explantes con diferentes dosis (0, 20, 40, 60, 80 y 100 Gy) de rayos gamma ⁶⁰Co. En el análisis molecular, se utilizaron diez brotes para cada dosis y la planta donante como testigo. Se utilizaron ocho cebadores y se obtuvieron un total de 43 bandas. Se calculó el porcentaje de polimorfismo (%P) y se obtuvo un dendrograma basado en la distancia genética de Jaccard y el método de agrupación neighbor joining. Los cebadores UBC-808, UBC-836 y UBC-840 mostraron el mayor %P, con 42.6%, 34.7% y 28.7%, respectivamente. El análisis de distancia genética mostró que los tratamientos sin irradiación y con irradiación presentaron variación somaclonal. El dendrograma se dividió en dos grupos, el primer grupo formado por la planta donante y el segundo grupo comprende las dosis de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 Gy. El segundo grupo se dividió en seis subgrupos, donde se observó al subgrupo seis con la mayor distancia de similitud (0.76), formado por nueve individuos de dosis de 100 Gy. La menor distancia se observó en el primer y segundo subgrupo con una distancia de 0.88 y 0.86, con un individuo de 0 y 20 Gy, respectivamente. En conclusión, la utilización de rayos gamma durante el cultivo *in vitro* es una alternativa para ampliar la diversidad genética para el mejoramiento en vainilla.

²⁷ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

²⁸ CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba Córdoba, Km 348 Córdoba-Veracruz Federal, 94953 Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. *Autor por correspondencia: jericobello@gmail.com



Palabras claves: mutagénesis *in vitro*, polimorfismo, rayos gamma

Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews), es cultivada por sus frutos para la extracción de vainillina, aprovechada por su aroma y sabor en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Gantait y Kundu, 2017; Arya *et al.*, 2021). A pesar de su importancia económica, *V. planifolia* está clasificada en la categoría B2ab (iii, v) “en peligro de extinción” de acuerdo con la lista roja por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN) (UICN, 2021). En México, esta especie se encuentra sujeta a protección especial (Pr) debido a la severa fragmentación de su hábitad natural (SEMARNAT, 2010).

Entre los principales problemas que sufre el cultivo de vainilla se encuentran su propagación de forma asexual por esquejes y la polinización manual para la obtención de vainas que contienen semillas con baja o nula germinación (Gantait y Kundu, 2017; Wan *et al.*, 2020). La propagación comercial por esquejes limita la diversidad genética de esta especie, ocasionado la susceptibilidad a plagas, enfermedades y la pérdida de tolerancia a factores abióticos (Li *et al.*, 2020), provocando la caída prematura de sus frutos.

Por lo tanto, ampliar la diversidad genética de *V. planifolia* es importante en programas de mejoramiento genético (Hu *et al.*, 2019). Una alternativa para inducir variabilidad genética es mediante la técnica de mutagénesis *in vitro* (Sharma *et al.*, 2020, OIEA, 2021). Las variaciones genéticas obtenidas a partir de cultivo *in vitro* son también llamadas variaciones somaclonales (Larkin y Scowcroft, 1981). Las variaciones somaclonales derivadas por mutagénesis *in vitro* con radiación gamma son libres de restricciones reglamentarias y permiten regenerar variaciones genéticas en un corto periodo de tiempo, son de bajo costo, fácil manipulación de explantes en espacios reducidos y controlados bajo condiciones asépticas (Waugh *et al.*, 2006; Ghani y Sharma, 2019; Salava *et al.*, 2021). La mutagénesis con cobalto 60 (^{60}Co) tiene alto potencial de penetración, no tiene ningún riesgo para el medio ambiente y puede utilizarse para irradiar células, tejidos, órganos y plantas completas (Oladosu *et al.*, 2016; Spinoso-Castillo *et al.*, 2021). El objetivo del presente estudio fue determinar la variación somaclonal en brotes irradiados de vainilla mediante marcadores ISSR.



Materiales y Métodos

Esta investigación se realizó en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos Vegetales del Colegio de Postgraduados campus Córdoba, ubicado en la Carretera Estatal Córdoba – Veracruz, Km. 348.5, Venta Parada 11, 94953 Córdoba, Ver. Dicho trabajo se realizó durante el periodo comprendido de marzo del 2020 a febrero de 2021. Este Laboratorio tiene certificación fitosanitaria ante el Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA-Certificado: 01-016-2/COLPOS/2021), por dos años (2021-2022). La certificación acredita al laboratorio para la micropropagación de plántulas de caña de azúcar (*Saccharum* spp.), malanga (*Colocasia esculenta* L. Schott), estevia (*Stevia rebaudiana* B.) y vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews).

Las irradiaciones se realizaron en el departamento de irradiaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) ubicado en Carretera Toluca - México s/n, 52750 La Marquesa, Edo. de México.

Irradiación de brotes de vainilla con ^{60}Co

Se irradiaron brotes previamente establecidos y multiplicados en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ubicado en la ciudad de Toluca, México con el irradiador Transelectro (LG1-01, Budapest, HU) utilizando rayos gamma con ^{60}Co . Los explantes fueron tratados con dosis de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 Gy, con tiempo de exposición de 2.1, 4.2, 6.3, 8.3, 10.4 min, respectivamente. La irradiación de los brotes se realizó en cajas de Petri de cristal que contenían medio MS (Murashige y Skoog, 1962) sin reguladores de crecimiento. Fueron utilizados 12 explantes, distribuyendo cuatro explantes por caja Petri. Posteriormente, los brotes irradiados fueron transferidos inmediatamente a medio fresco de multiplicación MS suplementado con 2 mg/L de 6-Bencilaminopurina (BAP) (Sigma-Aldrich®), y 30 g/L de sacarosa. Los cultivos fueron incubados durante 60 días a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ con un fotoperiodo de 16 h bajo luz LED ($50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) hasta la extracción de ADN.

Extracción de ADN y análisis ISSR

La planta donante y explantes sin irradiar fueron utilizados como testigo y control, respectivamente. En todos los experimentos se utilizaron muestras de hojas (0.5 g) de la planta donante y hojas de 10 brotes seleccionados al azar por cada dosis de irradiación. La extracción de ADN se realizó de acuerdo con el método de CTAB (bromuro de cetiltrimetilamonio) (Stewart y Via, 1993). La cantidad y pureza del ADN se determinó por un espectrofotómetro (Nanodrop 2000, Thermo Scientific™, Waltham, MA, USA). Las muestras de ADN utilizadas fueron cuando la relación A260/230 se obtuvo en 1.8-2.2. La



integridad del ADN se verificó en un gel de agarosa al 1.5% (p/v) teñido con 3 μ L de bromuro de etidio (Sigma-Aldrich®) en una concentración de 0.1 μ L/ml usando TAE 1X como buffer, visualizado en un espectro con luz UV utilizando un sistema de fotodocumentación (ChemiDoc™XRS Gel Documentation system, Bio-Rad, CA, USA). Para detectar los polimorfismos en el ADN genómico de *V. planifolia*, se evaluaron 14 cebadores ISSR (Sigma-Aldrich®). De acuerdo a la resolución y reproducibilidad de los patrones de bandas, se seleccionaron ocho (Cuadro 1).

Cuadro 1. Marcadores ISSR seleccionados para evaluar la variación somaclonal de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) con diferentes dosis de irradiación gamma con ^{60}Co .

Cebadores	Secuencia (5'-3')	T _m	No. de bandas	Rango (bp)	Polimorfismo (%)
UBC-809	AGAGAGAGAGAGAGAGG	45	7	250–1500	4
T06	AGAGAGAGAGAGAGAGT	50	4	400–750	3
UBC-840	GAGAGAGAGAGAGAGAYT	52	6	500–1500	28.7
UBC-836	AGAGAGAGAGAGAGAGYA	50	6	400–1500	34.7
UBC-812	GAGAGAGAGAGAGAGAA	50	4	500–1500	0
UBC-825	ACACACACACACACT	50	6	500–2000	14.9
UBC-808	AGAGAGAGAGAGAGAGC	53	9	400–1000	42.6
T05	CGTTGTGTGTGTGTGTGT	53	1	750	0

T_m=Temperatura de alineamiento; pb= pares de bases; Y = C o T.

Las reacciones de PCR se llevaron a un volumen final de 25 μ L, que contenía 30 ng de ADN molde, 1.5 U de DNA Polimerasa GoTaq® (Promega, Madison, WI, USA), Buffer 1 X (10mM Tris-HCL y 50mM KCl), 2.5 mM de MgCl₂, 0.2 mM dNTPs, 0.5 μ M de primer. Los productos fueron amplificados en un termociclador Engine System (PTC-200, BIO-RAD, Watertown, MA). Se utilizó un programa a partir de un ciclo a 94°C durante 4 min; seguido de 35 ciclos a 94°C durante 50 s, de 45-53°C durante 50 s (dependiendo cada cebador) y 72°C durante 90 s. Finalmente, se realizó una extensión a 72°C durante 10 min.

Los productos amplificados por PCR se corrieron en geles de agarosa al 2.5% (p/v) en una solución amortiguadora TAE 1X a 90 V por 90 min. Los geles se tiñeron con 3 μ L bromuro de etidio. Se utilizó



un marcador de peso molecular de 1kb DNA ladder (Promega, Madison, WI, USA). Finalmente, los productos de PCR se obtuvieron utilizando el sistema de fotodocumentación antes mencionado.

Análisis de datos moleculares

Se realizó una matriz binaria con las bandas de los fragmentos ISSR y se registraron como presentes (1) o ausentes (0). Para cada cebador se calculó el porcentaje de polimorfismos. Además, se realizó un análisis de conglomerados mediante el coeficiente de similitud de Jaccard basado en la similitud entre conjuntos de muestras en relación a las coincidencias, donde 1 es similitud y 0 es divergencia, y el modelo de aglomeración neighbor joining (NJ) basado en la evolución mínima (Saitou y Nei, 1987). La planta donante se fijó como un grupo externo. La agrupación de NJ se realizó después de 1000 Bootstrap. Los resultados se obtuvieron utilizando el programa Past v 3.04 (Hammer *et al.*, 2001) y fueron expresados en un dendrograma.

Resultados y Discusión

Efecto de la radiación gamma sobre la variación somaclonal

El análisis ISSR reveló la presencia de bandas monomórficas y polimórficas entre el control y las diferentes dosis de irradiación con respecto a la planta donante (Figura 1). Los ocho cebadores ISSR seleccionados amplificaron un total de 43 fragmentos de entre 250 y 2000 pb. Los cebadores que mostraron mayor porcentaje de polimorfismo fueron UBC-808 con 42.6%, seguido de UBC-836 con 34.7% y UBC-840 con 28.7%. Por otro lado, los cebadores que mostraron menos del 15% de polimorfismo fueron UBC-825, T06 y UBC-809. Los cebadores T05 y UBC-812 revelaron la presencia de fragmentos monomórficos (Cuadro 1).

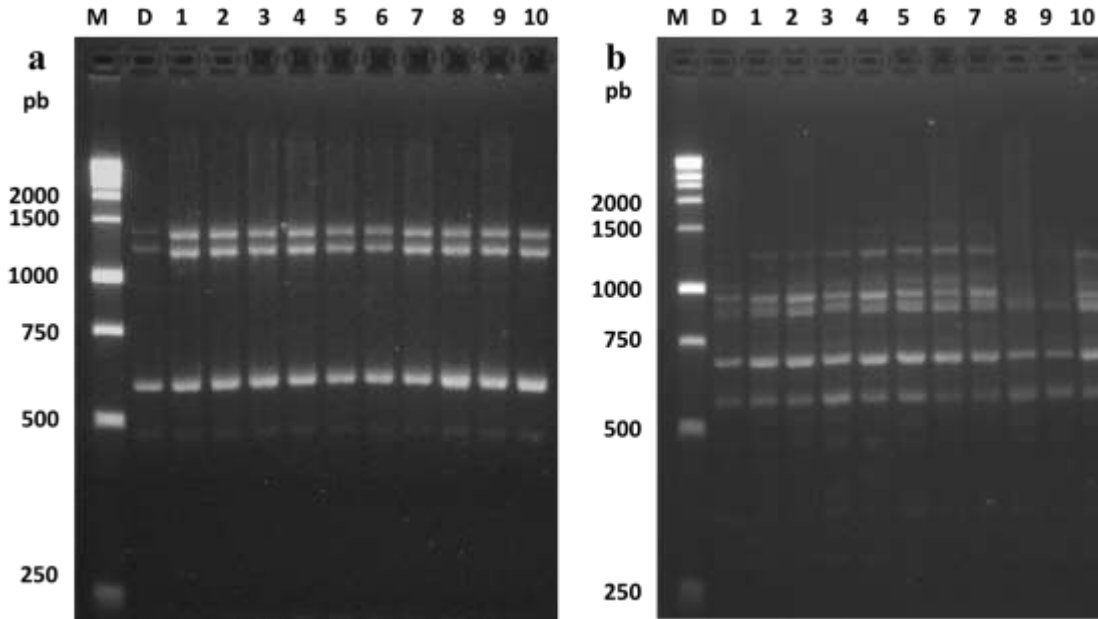


Figura 1. Patrón de electroforesis con marcadores ISSR de diez individuos (1-10) expuestos a radiación gamma respecto a la planta donante (D). a) dosis 60 Gy, cebador UBC-812 b) dosis 20 Gy, cebador UBC-840). M= marcador de peso molecular y pb= pares de bases.

El dendrograma basado en el modelo neighbor joining no mostró similitud en las dosis de irradiación evaluadas respecto a la planta donante. De acuerdo a las probabilidades de Bootstrap, las distancias de similitud y la longitud de las ramas, se considera el primer grupo formado por la planta donante; mientras que, el segundo grupo comprende las dosis de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 Gy. El segundo grupo se dividió en seis subgrupos, donde se observó al subgrupo seis con la mayor distancia de similitud (0.76), formado por nueve individuos de dosis de 100 Gy. La menor distancia se observó en el primer y segundo subgrupo con una distancia de 0.88 y 0.86, con un individuo de 0 y 20 Gy, respectivamente. Para el resto de los subgrupos, no se observó una tendencia de agrupación respecto a las dosis de radiación gamma evaluadas (Figura 2).

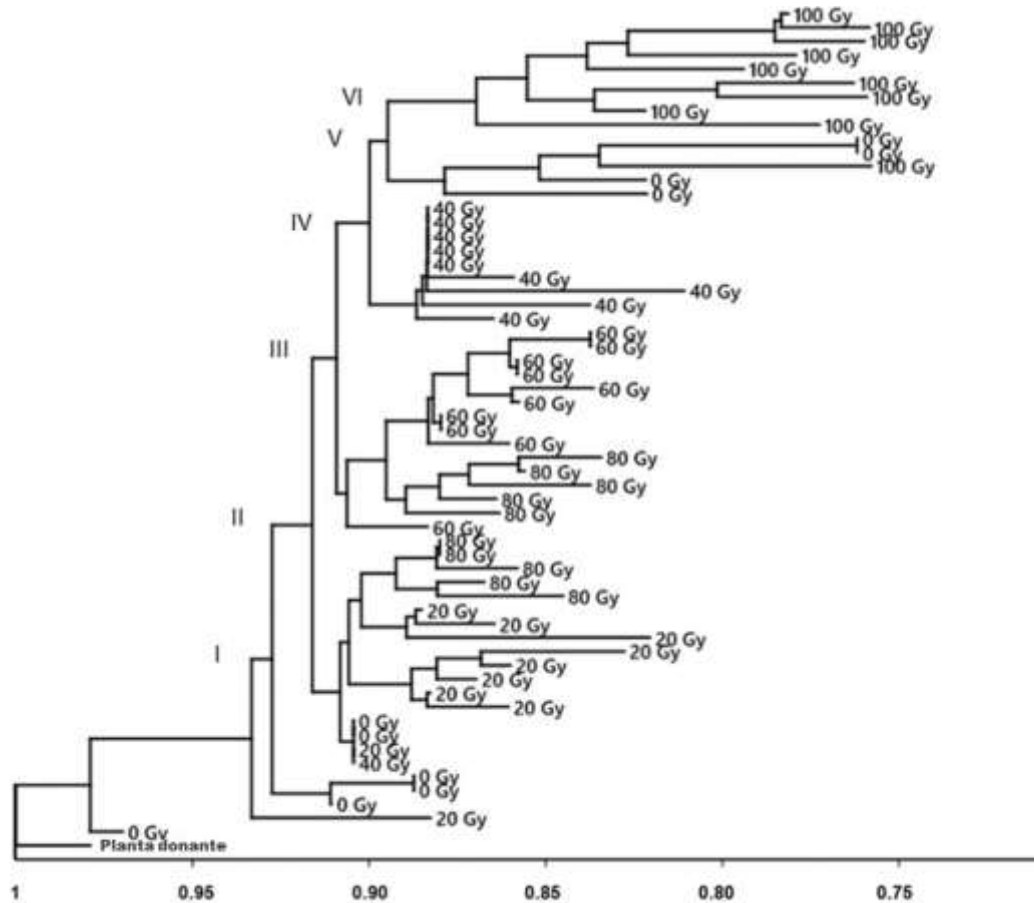


Figura 2. Dendrograma de similitud genética basado en el coeficiente de Jaccard incorporándose al modelo de aglomeración neighbor joining. El análisis fue calculado para cada dosis de irradiación gamma con respecto a la planta donante.

Los marcadores ISSR lograron detectar variaciones somaclonales entre los individuos y las diferentes dosis de irradiación gamma evaluadas. Al respecto, Khan *et al.* (2021) mencionan que los marcadores ISSR producen múltiples bandas en un mismo locus, son altamente reproducibles y no necesitan información previa del genoma de la planta. En este estudio, los cebadores UBC-808, UBC-836 y UBC-840 revelaron el mayor porcentaje de polimórficos y pueden utilizarse para futuros análisis de variación somaclonal o diversidad genética en *V. planifolia*.

De manera general, los individuos irradiados con dosis de 100 Gy mostraron la menor similitud genética; sin embargo, para el resto de las dosis evaluadas no se observó una tendencia de agrupación. En vainilla, otros estudios sobre el análisis de la variación somaclonal utilizando marcadores ISSR han determinado que esta especie tiende a ser inestable genéticamente a la regeneración *in vitro* (Ramírez-



Mosqueda e Iglesias-Andreu, 2015; Bello-Bello *et al.*, 2018; Pastelín-Solano *et al.*, 2019). Ramírez-Mosqueda e Iglesias-Andreu (2015) reportaron variación somaclonal durante la organogénesis indirecta, con 71.66% de polimorfismo. Bello-Bello *et al.* (2018), encontraron un aumento en el porcentaje de polimorfismo al incrementar las concentraciones de nanopartículas de plata (AgNP) en el medio de cultivo durante el crecimiento de *V. planifolia*, con 25% de polimorfismo en la concentración de 200 mg/L de AgNP. Pastelín-Solano *et al.* (2019) demostraron que el número de subcultivos durante la organogénesis directa es un factor importante sobre el aumento en la variación somaclonal, obteniendo porcentajes de polimorfismo mayores a 15% a partir del subcultivo número seis. Por otro lado, otros estudios demuestran la nula variación somaclonal en *V. planifolia*, por ejemplo, Sreedhar *et al.* (2007) no observaron variación somaclonal durante el crecimiento a largo plazo utilizando marcadores moleculares RAPD e ISSR. Gantait *et al.* (2009) no observaron variación somaclonal después de cinco subcultivos durante organogénesis directa utilizando marcadores ISSR. Ramírez-Mosqueda *et al.* (2019) en plantas variegadas obtenidas durante organogénesis directa en inmersión temporal obtuvieron 0% de polimorfismo mediante ISSR. Recientemente, Manokari *et al.* (2021) mediante la organogénesis directa reportaron 0% de polimorfismo mediante marcadores basados en polimorfismo dirigido al codón de inicio (SCoT).

La variación somaclonal durante el cultivo *in vitro* puede originarse a través de varios aspectos como son: tipo de explante, vía de regeneración, número de subcultivo, duración del cultivo, tipo de reguladores de crecimiento, el genotipo y nivel de ploidía (Bairu *et al.*, 2011; Ranghoo-Sanmukhiya, 2021). Sin embargo, la variación somaclonal puede ser inducida mediante agentes mutagénicos químicos y físicos. La radiación gamma mediante ^{60}Co puede generar mutaciones del tipo deleciones e inserciones, traslocaciones y sustituciones de bases (Yang *et al.*, 2019; Holme *et al.*, 2019). De acuerdo con Jain (2001), las mutaciones que se producen por la variabilidad somaclonal son muy similares a las producidas espontáneamente o por métodos de mutagénesis.

La variación somaclonal obtenida en explantes no irradiados pudiera explicarse debido a la naturaleza genética de la *V. planifolia*. Al respecto, Nair y Ravindra (1994) y Bory *et al.* (2008) observaron en vainilla asociaciones somáticas y anomalías en el número de cromosomas, siendo menor al reportado $2n = 32$. Esto podría explicar que durante la regeneración *in vitro* de vainilla se espere mayor variación somaclonal en comparación con otras especies que no muestran asociación somática ni anomalías en el nivel de ploidia. La variación somaclonal encontrada en los tratamientos irradiados, además de la naturaleza genética de la especie, pudiera estar ocasionada gracias a la alta capacidad de penetración de



los rayos gamma y principalmente a las roturas de los enlaces químicos de la doble cadena del ADN, eliminando nucleótidos o sustituyéndolos por nuevos (Oladosu *et al.*, 2016). En este estudio, las mutaciones en el ADN probablemente pueden afectar a genes homeóticos con efectos en la capacidad de regenerar nuevos brotes.

Predieri (2001) y Bairu *et al.* (2011) mencionan que el cultivo *in vitro* incrementa la eficiencia de los tratamientos mutagénicos debido a la manipulación de explantes en constante división celular bajo condiciones controladas sin factores bióticos o abióticos que interfieran en el tratamiento mutagénico. El efecto de la mutagénesis *in vitro* mediante ^{60}Co para ampliar la variación genética con fines de mejoramiento ha sido estudiada en lirio de San Francisco (Hernández-Muñoz *et al.*, 2017), arroz (Abdelnour-Esquivel *et al.*, 2020), jengibre (Sharma *et al.*, 2020), papa (Mohamed *et al.*, 2021) y tomate (Özge *et al.*, 2021).

Conclusiones

El polimorfismo obtenido mediante los marcadores ISSR demostró la existencia de variación somaclonal en el tratamiento sin irradiar y los tratamientos irradiados.

El análisis de conglomerados neighbor joining y el coeficiente de similitud de Jaccard mostró que el tratamiento sin irradiación y los tratamientos con irradiación presentan variación somaclonal respecto a la planta donante.

En este estudio se demostró que la regeneración *in vitro* vía organogénesis directa y las diferentes dosis de irradiación gamma evaluadas con ^{60}Co tuvieron efecto sobre la variación somaclonal. Los marcadores ISSR mostraron ser eficientes para detectar variación somaclonal. Estos resultados abren la posibilidad de utilizar rayos gamma para ampliar la diversidad genética y emprender un programa de mejoramiento en vainilla.



Literatura Citada

- Abdelnour-Esquivel, A., J. Pérez, M. Rojas, W. Vargas, A. Gatica-Arias. 2020. Use of gamma radiation to induce mutations in rice (*Oryza sativa* L.) and the selection of lines with tolerance to salinity and drought. *in vitro* Cell. Dev. Biol. Plant 56:88-97.
- Arya, S. S., J. E. Rookes., D. M. Cahill and S. K. Lenka. 2021. Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Adv. Trad. Medicina* 21:1-17.
- Bairu, M. W., A. O. Aremu and J. Van Staden. 2011. Somaclonal variation in plants: causes and detection methods. *Plant Growth Regul.* 63:147-173.
- Bello-Bello, J. J., J. L. Spinoso-Castillo, S. Arano-Avalos, E. Martínez-Estrada, M. E. Arellano-García, A. Pestryakov. *et al.* 2018. Cytotoxic, genotoxic and polymorphism effects on *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews after long-term exposure to Argovit® silver nanoparticles. *Nanomaterials* 8(10):754.
- Bory, S., O. Catrice, S. Brown, I. J. Leitch, R. Gigant, F. Chiroleu *et al.* 2008. Natural polyploidy in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). *Genome* 51:816-826.
- Gantait, S. and S. Kundu. 2017. *in vitro* biotechnological approaches on *Vanilla planifolia* Andrews: advancements and opportunities. *Acta Physiol. Plant.* 39(9):196.
- Gantait, S., N. Mandal., S. Bhattacharyya, P. K., Das and S. Nandy. 2009. Mass multiplication of *Vanilla planifolia* with pure genetic identity confirmed by ISSR. *Int. J. Dev. Biol.* 3:18-23.
- Ghani, M. and S. K. Sharma. 2019. Induction of powdery mildew resistance in gerbera (*Gerbera jamesonii*) through gamma irradiation. *Physiol Mol Biol Plants* 25:159-166.
- Hammer, R., D. A. Harper., P. D. Ryan. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 4:1-9.



- Hernández-Muñoz, S., M. E. Pedraza-Santos, P. A. López., E. De La Cruz-Torres, A. Martínez-Palacios. *et al.* 2017. Estimulación de la germinación y desarrollo *in vitro* de *Laelia autumnalis* con rayos gamma. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40(3).
- Holme, I. B., P. L. Gregersen and H. Brinch-Pedersen. 2019. Induced genetic variation in crop plants by random or targeted mutagenesis: Convergence and differences. *Front. Plant Sci.* 10:1468.
- Hu, Y., F. R. Resende M., A. Bombarely, M. Brym., E. Bassil and H. Chambers, A. 2019. Genomics-based diversity analysis of *Vanilla* species using a *Vanilla planifolia* draft genome and Genotyping-By-Sequencing. *Sci. Rep.* 9(1):1-16.
- Jain, S. M. 2001. Tissue culture-derived variation in crop improvement. *Euphytica* 118:153-166.
- Khan, M. M. H., M. Y. Rafii., S. I. Ramlee., M. Jusoh, A. L. Mamun *et al.* 2021. DNA fingerprinting, fixation-index (Fst) and admixture mapping of selected Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) accessions using ISSR markers system. *Sci. Rep.* 11:14527.
- Larkin, P. J. and W. R. Scowcroft 1981. Somaclonal variation—a novel source of variability from cell cultures for plant improvement. *Theor. Appl. Genet.* 60:197-214.
- Li, J., L. Demesyieux, M. Brym, A. H. Chambers. 2020. Development of species-specific molecular markers in vanilla for seedling selection of hybrids. *Mol. Biol. Rep.* 47(3):1905-1920.
- Manokari, M., S. Priyadarshini., P. Jogam., A. Dey., M. S. Shekhawat. 2021. Meta-topolin and liquid medium mediated enhanced micropropagation via *ex vitro* rooting in *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 146: 69-82.
- Mohamed, E. A., E. Osama., E. Manal., A. Samah., G. Salah., K. M. Hazem and E. Nabil. 2021. Impact of gamma irradiation pretreatment on biochemical and molecular responses of potato growing under salt stress. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 8(1):1-11.



- Murashige T., F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15(3):473-497.
- Nair, R. R. and P. N. Ravindran. 1994. Somatic association of chromosomes and other mitotic abnormalities in *Vanilla planifolia* (Andrews). *Caryologia*, 47(1):65-73.
- OIEA. Organismo Internacional de Energía Atómica 2021. Inducción de mutaciones. <https://www.iaea.org/es/temas/inducccion-de-mutaciones> [consultado el 23 junio 2021].
- Oladosu, Y., M. Y. Rafii., N. Abdullah., G. Hussin., A. Ramli., H. A. Rahim. *et al.* 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 30(1):1-16.
- Özge, Ç., A. Alp., M. Sinan and A. Çimen. 2021. Comparison of tolerance related proteomic profiles of two drought tolerant tomato mutants improved by gamma radiation. *J. Biotechnol.* 330:35-44.
- Pastelín-Solano., M. C., R. J. Salinas., M. T. González A., C. O. Castañeda., M. E. Galindo T., J. J. Bello-Bello. 2019. Evaluation of *in vitro* shoot multiplication and ISSR marker based assessment of somaclonal variants at different subcultures of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks). *Physiol Mol Biol Plants* 25(2):561-567.
- Predieri, S. 2001. Mutation induction and tissue culture in improving fruits. *Plant Cell, Tissue Organ Cult.* 64:185-210.
- Ramírez-Mosqueda, M. A. and L. G. Iglesias-Andreu. 2015. Indirect organogenesis and assessment of somaclonal variation in plantlets of *Vanilla planifolia* Jacks. *Plant Cell, Tissue Organ Cult.* 123:657-664.



- Ramírez-Mosqueda, M. A., L. G. Iglesias-Andreu., E. Favián-Vega., J. A. Telxeira da Silva., O. R. Leyva-Ovalle and J. Murguía-González. 2019. Morphogenetic stability of variegated *Vanilla planifolia* Jacks. plants micropropagated in a temporary immersion system (TIB®). Rend. Lincei Sci. Fis. Nat. 30:603-609.
- Ranghoo-Sanmukhiya, V. M. 2021. Somaclonal variation and methods used for its detection. p. 1-18. In: Siddique, I. (ed.). Propagation and genetic manipulation of plants. Springer Nature, Singapore.
- Salava, H., S. Thula, V. Mohan., R. Kumar and F. Maghuly. 2021. Application of genome editing in tomato breeding: Mechanisms, advances and prospects. Int. J. Mol. Sci. 22(2):682.
- Sharma, V., M. Thakur and M. Tomar. 2020. *in vitro* selection of gamma irradiated shoots of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) against *Fusarium oxysporum* f. sp. *zingiberi* and molecular analysis of the resistant plants. Plant Cell, Tissue Organ Cult. 143:319-330.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2010. Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) de Protección especial de especies nativas de México de Flora y Fauna silvestres. Diario Oficial de la Federación. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm> [consultado 6 de marzo de 2021].
- Spinoso-Castillo, J. L., E. Escamilla-Prado., C. H. Aguilar-Rincón., V. Morales-Ramos., G. García-de los Santos and T. Corona-Torres. 2021. Physiological response of seeds of three coffee varieties to gamma rays (^{60}Co). Rev Chapingo Ser Hortic 27(2):55-00.
- Stewart C. N. and L. E. Via. 1993. A rapid CTAB DNA isolation technique useful for RAPD fingerprinting and other PCR applications. Biotechniques 14(5):748-750.
- Saitou, N. and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees. Mol. Phylogenet. Evol. 4(4):406-425.



- Sreedhar, R. V., L. Venkatachalam and N. Bhagyalakshmi. 2007. Genetic fidelity of long-term micropropagated shoot cultures of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) as assessed by molecular markers. *J. Biotechnol.* 2(8):1007-1013.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) 2021. *Vanilla planifolia* (versión modificada de la evaluación de 2017). La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN 2020: e.T103090930A172970359. <https://www.iucnredlist.org> [consultado el 23 de junio 2021].
- Wan, Abdullah, W. M. A. N., L. Low, S. B. Mumaiyizah, Q. Y. Chai, J. Y. Loh, J. Ong-Abdullah and K. S. Lai. 2020. Effect of lignosulphonates on *Vanilla planifolia* shoot multiplication, regeneration and metabolism. *Acta Physiol. Plant.* 42:18.
- Waugh, R., D. J. Leader, Mc Callum N. and D. Cadwell. 2006. Harvesting the potential of induced biological diversity. *Trends Plant Sci.* 11:71-79.
- Yang, G., W. Luo, J. Zhang, X. Yan, Y. Du, L. Zhou *et al.* 2019. Genome-wide comparisons of mutations induced by carbon-ion beam and gamma-rays irradiation in rice via resequencing multiple mutants. *Front. Plant Sci.* 10:1514.



MICORRIZACIÓN *ex vitro* DE PLÁNTULAS DE CAÑA DE AZÚCAR DURANTE LA ACLIMATACION

María del Rosario Moreno Hernández²⁹, Ricardo Sánchez Páez²⁹ y Jericó Jabín Bello Bello^{30*}

Resumen

Los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) establecen interacciones simbióticas que mejoran la productividad de los cultivos agrícolas. Se han reportado efectos positivos de los hongos micorrizicos arbusculares en diversos cultivos agroalimentarios como caña de azúcar, tomate, arroz y melón. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de hongo *Rhizophagus intraradices* sobre desarrollo *ex vitro* de plantas de caña de azúcar en etapa de aclimatización. Plántulas obtenidas *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv Mex 69-290) fueron inoculadas en diferentes dosis (0, 50, 100, 200 y 400 esporas por planta) de *R. intraradices* durante la aclimatación. A los 60 días de aclimatación en invernadero, se evaluó el porcentaje de supervivencia, porcentaje de colonización, sistema radicular y clorofila total. Se observaron efecto de las micorrizas sobre las diferentes variables evaluadas. Los HMA, a dosis de 50 y 100 esporas por planta, con 30 y 58% de colonización, respectivamente, mejoraron el desarrollo de las plántulas y promovieron un aumento en el contenido de clorofila sin afectar la supervivencia durante la aclimatización; mientras que, las dosis de 200 y 400 esporas por plantas, con los mayores porcentajes de colonización (80 y 86%) tuvieron efectos negativos sobre la supervivencia. La inoculación con hongos micorrizicos arbusculares en dosis entre 0–100 esporas por planta no tuvieron efecto en la supervivencia, es decir se obtuvo más del 95% de supervivencia; mientras que, las dosis 200 y 400 presentaron el mayor efecto sobre la mortalidad de las plántulas, con 92 y 77% de supervivencia, respectivamente. Respecto a la colonización, a mayor contenido de esporas por planta se observó un incremento en el porcentaje de colonización. La aplicación temprana de micorrizas en dosis adecuadas en plántulas durante la aclimatización podría representar una ventaja de acondicionamiento previo al trasplante para el establecimiento de semilleros básicos de caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv Mex 69-290).

²⁹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Veracruz 94946, México

³⁰ CONACYT-Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz km. 348, Veracruz 94946, México.

*Autor por correspondencia: jericobello@gmail.com



Palabras clave: *Rhizophagus intraradices*, colonización, supervivencia

Introducción

Las interacciones ecológicas entre diferentes especies pueden tener una aplicación práctica en la biotecnología vegetal en cultivos de interés agrícola y forestal (Sales *et al.*, 2021). Los HMA son biótrofos obligados que establecen asociaciones endosimbióticas con las raíces del 85% de las plantas vasculares (Choi *et al.*, 2018; Di Martino *et al.*, 2019). La micorriza juega un rol importante en el desarrollo, supervivencia y éxito de las especies que la conforman (plantas y hongos) (Souza-Ferrari *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022). Los HMA son biotrofos obligados que establecen asociaciones endosimbióticas con las raíces del 85% de las plantas vasculares, incluidos diversos cultivos agrícolas (Di Martino *et al.*, 2019). Los HMA mejoran la absorción de nutrientes minerales en la planta huésped (Lambers *et al.*, 2017; Di Martino *et al.*, 2019; Ortas, 2019), tienen efectos positivos sobre la actividad fotosintética (Al-Karaki y Williams, 2021), confiere la tolerancia a diferentes tipos de estrés abiótico en plantas como sequía, salinidad, cambios bruscos de temperatura y metales pesados (Gupta *et al.*, 2021). Los efectos positivos de los HMA se han demostrado en cultivos agroalimentarios como tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Di Martino *et al.*, 2019), caña de azúcar (*Saccharum* spp.) (Fors *et al.*, 2020), arroz (*Oryza sativa*) (Campo *et al.*, 2020).

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de la familia Poaceae, se cultiva principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Bigott *et al.*, 2019; Tripathi *et al.*, 2022). Es uno de los principales cultivos agroindustriales y económicamente importantes del cual se obtienen diversos productos y subproductos utilizados en la industria alimentaria, energética, química, farmacéutica, entre otras (Shabbir *et al.*, 2021). Sin embargo, el cultivo de caña de azúcar tiene grandes retos en materia de productividad y competitividad debido a que el método de propagación convencional por yemas no garantiza el saneamiento y rejuvenecimiento de plantaciones comerciales (Bello-Bello *et al.*, 2018). Recientemente, la biotecnología vegetal ofrece alternativas para afrontar estas limitaciones, una de ellas es mediante la micropropagación utilizando técnicas de Cultivo de Tejidos Vegetales. Esta técnica garantiza la obtención de plantas rejuvenecidas con alta calidad genética y fitosanitaria. La aclimatación es la etapa final de la micropropagación que consiste en la transferencia de las plántulas *in vitro* a condiciones externas e inicio de su crecimiento *ex vitro* (Gómez-Kosky *et al.*, 2021). Además, la



aclimatación es un proceso que permite la inoculación temprana de micorrizas previo al trasplante en campo para el establecimiento de semilleros básicos de caña de azúcar (Vergara *et al.*, 2019). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes dosis de HMA de la especie *R. intraradices* sobre el desarrollo *ex vitro* de plantas de caña de azúcar en etapa de aclimatación.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de trabajo

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio de cultivo de tejidos localizado geográficamente a 19° 27' LN y 98° 53' LO, a 720 msnm, en el Colegio de Posgraduados Campus Córdoba, Veracruz.

Material vegetal y micropropagación

Para el establecimiento *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cv. Mex 69-290, se colectaron ápices de 25 cm de ocho meses de edad. Los ápices se lavaron con agua y jabón comercial Axion® (Mission Hills, S. A. de C. V., San José de Iturbide, Guanajuato, MX). Estos fueron envueltos en bolsas de papel y se mantuvieron en refrigeración a 4°C durante 24 h. Los ápices se cortaron a una longitud de 15 cm y se colocaron en hidrotermoterapia en un baño termostático con circulación (Ecoshel, SC-15; TX, USA) a 50°C durante 20 min. Posteriormente, en una campana de flujo laminar los ápices se redujeron a 2 cm, se enjuagaron durante cinco min en una solución al 10% (v/v) de cloro comercial Cloralex™ (Industrias Alen, S. A. de C. V., Nuevo León, MX) (5% de i. a.) con tres gotas de Tween 20® (Sigma-Aldrich® Chemical Company, Saint Louis, MO, USA) por cada 100 mL de agua. Finalmente, los explantes se colocaron individualmente en tubos de ensayo que contenían 10 mL de medio MS (Murashige y Skoog 1962) suplementado con 30 g/L de sacarosa, sin reguladores de crecimiento. El pH del medio se ajustó a 5.8 y se añadió 2.5 g/L Phytigel™ (Sigma-Aldrich®) como agente gelificante. Se esterilizó en la autoclave durante 15 min a 120°C y 115 kPa. Los explantes se incubaron a 24 ± 2°C, bajo irradiancia de 40 ± 5 μmol/m²/s y un fotoperiodo de 16 h luz. Después de una semana de cultivo, los ápices se transfirieron para la fase de multiplicación a medio MS suplementado con 1 mg/L kinetina (KIN, Sigma-Aldrich®), 1 mg/L ácido indolacético (AIA, Sigma-Aldrich®) y 2 mg/L 6-bencilaminopurina (BAP, Sigma-Aldrich®). Después de cuatro subcultivos (45 días cada uno), los brotes obtenidos fueron individualizados y enraizadas en medio MS semi solido suplementado con 2 mg/L de carbón activado.



Inoculación de micorrizas y condiciones del cultivo

La inoculación con micorrizas se llevó a cabo en condiciones *ex vitro* bajo invernadero utilizado plántulas *ex vitro* con una longitud de 5 cm y micorrizas de la especie *R. intraradices* (Biofertilizante INIFAP®, Chiapas, MX). La inoculación planta-micorriza se llevó en charolas de polipropileno de 32 cavidades con un sustrato conformado por composta, turba y agrolita (2:1:1 v/v). El sustrato fue esterilizado en la autoclave durante 30 min a 120°C y 115 kPa. Posteriormente, al sustrato fueron agregados diferentes dosis de *R. intraradices* a razón de 0, 50, 100, 200, y 400 esporas por planta. Las plántulas de caña de azúcar se cubrieron con un domo traslucido para controlar las condiciones de humedad. Las plántulas inoculadas se mantuvieron en condiciones de invernadero con 60% sombra a $30 \pm 2^\circ\text{C}$, una humedad relativa del $60 \pm 10\%$ y luz natural a una irradiancia de $80 \pm 10 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}$ durante un mes. En una segunda fase, a las plántulas se les fue retirado el domo con una temperatura de $35 \pm 2^\circ\text{C}$, una humedad relativa del 30% y luz natural a una irradiancia de $150 \pm 10 \mu\text{mol}/\text{m}^{-2}/\text{s}$ durante un mes. Durante todo el experimento se aplicó riego con agua de osmosis dos veces por semana durante dos meses. Transcurridos 60 días de aclimatización en invernadero, se evaluó el porcentaje de supervivencia, porcentaje de colonización, número de raíz, longitud de raíz y clorofila.

Contenido de clorofila

El contenido de clorofila total se determinó según la metodología descrita a continuación: para cada muestra, se maceró 1 g de material fresco con acetona al 80% y se dejó reposar a -4°C durante 24 h en 80% de acetona hasta un volumen final de 10 ml. Posteriormente, la mezcla se filtró con papel filtro No. 41, luego se ajustó a un volumen de 25 mL con acetona al 80%. Se utilizaron 2 mL por muestra y se leyó a una absorbancia de 663 y 645 nm para clorofila a y b, respectivamente. Las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific; MA, USA)

Diseño experimental y análisis estadísticos

Todos los experimentos se realizaron con un diseño completamente al azar y tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba de Tukey ($p < 0.05$) mediante el software estadístico SPSS (versión 22 de Windows). Los datos porcentuales se transformaron con la fórmula $Y = \arccos(\sqrt{(\times / 100)})$, donde \times es el valor porcentual.



Resultados y Discusión

Porcentaje de supervivencia y colonización micorrízica

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran un efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de supervivencia de las plántulas, porcentaje colonización, sistema radicular y clorofila total de micorrizas (Figura 1). La inoculación con HMA en dosis entre 0–100 esporas por planta no tuvieron efecto en la supervivencia, es decir, se obtuvo más del 95% de supervivencia; mientras que, las dosis 200 y 400 presentaron el mayor efecto sobre la mortalidad de las plántulas, con 92 y 77% de supervivencia, respectivamente (Figura 1a). Respecto a la colonización, a mayor contenido de esporas por planta se observó un incremento en el porcentaje de colonización (Figura 1b). El número de raíces por planta, la mayor cantidad de raíces se obtuvieron en los tratamientos con 50 y 100 esporas por plantas, con 16.2 y 16.6 raíces por planta, respectivamente; mientras que, la menor cantidad de raíces se obtuvieron en los tratamientos control, 200 y 400 esporas por planta con 11, 13.1 y 13.2 raíces por planta, respectivamente. Para la longitud de raíces, las de mayor tamaño se observaron en los tratamientos con 100 y 200 esporas por planta con 15.5 y 15.0 cm de longitud, respectivamente; mientras que, las raíces de menor tamaño se encontraron en el control y 50 esporas por planta, con 12.7 y 12.3 cm de longitud, respectivamente (Figura 1c). En relación a la clorofila total, el mayor contenido de clorofila se observó en los tratamientos con 50, 100, 200 y 400 esporas por planta con valores entre 1, 1.1 y 1.2 mg/g PF; mientras que, el menor contenido se encontró en el tratamiento control con 0.8 mg/g PF (Figura 1d).

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran el efecto de las diferentes dosis de las micorrizas sobre el porcentaje de supervivencia y colonización de plántulas de caña de azúcar. De manera general, el porcentaje de supervivencia tiende a disminuir a medida que incrementa el porcentaje de colonización de micorrizas. Lotfi *et al.*, (2019) en brotes *in vitro* de pera (*Pyrus communis*) micorrizados con *Rhizophagus irregularis* a una dosis de 50 esporas por planta, obtuvieron el 95% de supervivencia en comparación con el control, con 70% de supervivencia. En estudios realizados por Souza-Ferrari *et al.* (2020) en cúrcuma (*Curcuma longa* L.), al inocular a una dosis de 150 esporas por planta, obtuvieron una tasa de supervivencia del 100% en comparación con el control, con 90% de supervivencia. El efecto negativo sobre la supervivencia a altas dosis de micorrizas ha sido reportado en otros estudios. Gomes *et al.* (2021) en madroño (*Arbutus unedo* L.), obtuvieron el 65.9% de supervivencia al inocular a una dosis de 3,200 esporas por planta de micorrizas *arbutoides*.

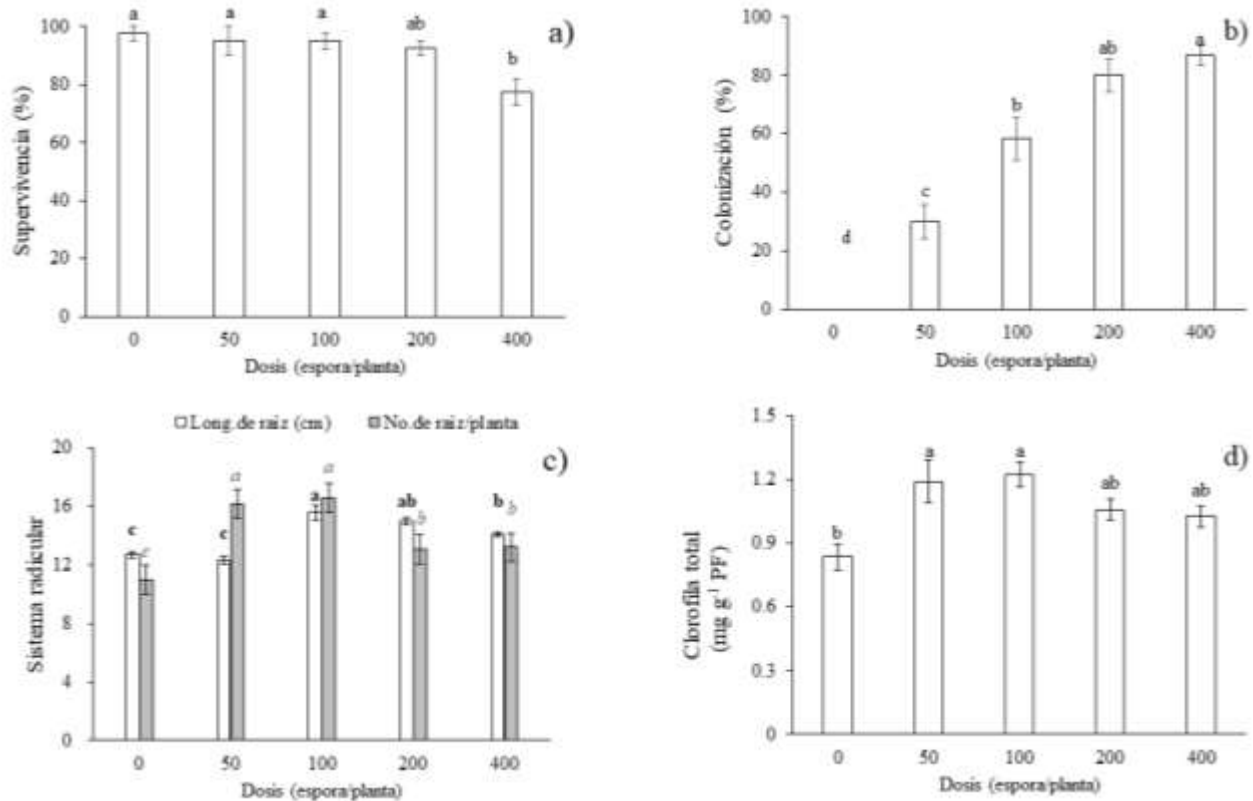


Figura 1. Efecto de los hongos micorrizicos arbusculares (*R. intraradices*) sobre a) supervivencia, b) colonización c) sistema radicular y d) clorofila total evaluados a los 60 días de cultivo *ex vitro* de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. cv Mex 69-290). Los resultados se muestran como media \pm error estándar. Las medias con una letra diferente son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Wu *et al.* (2021), quienes determinaron que dosis altas de micorrizas no son apropiadas para el establecimiento de una interacción simbiótica entre HMA y las raíces de las plantas debido a un efecto toxico del hongo sobre la planta que pudieran afectando la supervivencia y desarrollo vegetal. Por otro lado, Lerat *et al.* (2003) las micorrizas tienen la capacidad de almacenar nutrimentos en sus tejidos mientras consumen los productos fotosintéticos de las plantas, lo que podría ocasionar una competencia nutricional. Además, una excesiva colonización de HMA puede ocasionar cambios en el metabolismo de las plantas (Shtark *et al.*, 2021). En este estudio, las menores tasas de supervivencia obtenidas en las mayores tasas de colonización pudieran estar asociadas un exceso de hifas que permiten ocupar más espacio de suelo ocasionando una competencia por agua, nutrimentos y/o un daño toxico para la planta.



Respecto al efecto de las micorrizas sobre las diferentes variables de desarrollo evaluadas, en este estudio la dosis recomendada por planta es de entre 50 y 100 esporas. El efecto positivo de estas dosis sobre el desarrollo podría deberse a que con 30 y 58% de colonización se logra una adecuada interacción simbiótica que podría favorecer algunos procesos fisiológicos para la planta como la eficiencia fotosintética, absorción de nutrimentos y agua, lo que permite un adecuado desarrollo de la plántula para su posterior transferencia al campo. Así, las plantas cuentan con un mecanismo de autorregulación para controlar la colonización radicular excesiva, este mecanismo consiste en suprimir la colonización una vez que se alcanza una micorrización eficiente (López-Ráez y Pozo, 2013). Además, los HMA son biotrofos obligados que habitan en el sistema radicular y obtienen el carbono que aporta la planta. La HMA puede recibir entre el 10 y el 30% de los fotosintetizados de la planta (Lopes *et al.*, 2021). Por lo tanto, las altas tasas de colonización podrían causar competencia por los fotosintetizados, lo que conduce a un menor desarrollo de las plantas. El incremento total de clorofila en dosis de 50 y 100 esporas por planta podría estar relacionado a una mayor demanda de la actividad fotosintética a consecuencia de una eficiente colonización. En estudios realizados por (Chen *et al.*, 2017; Di Martino *et al.*, 2019), sugieren que la colonización micorrícica aumenta los pigmentos fotosintéticos. Por otra parte, Campo *et al.*, (2020) y Gupta *et al.*, (2021) señalan que la colonización de HMA promueve la fotosíntesis al aumentar la carboxilación de Rubisco y la regeneración de RuBP (ribulosa-1,5-bis-fosfato). Meddich *et al.*, (2021) encontró que en plántulas de melón (*Cucumis melo*), en la que fueron administradas dosis de 44 esporas aumentó el contenido de clorofila. Wu *et al.*, (2021) en sandía (*Citrullus lanatus* L. cv. Qilin), observó el aumento en la tasa de fotosíntesis a una dosis de 300 esporas por planta.

Conclusiones

La inoculación de *R. intraradices* a diferentes dosis tiene efectos sobre el porcentaje de supervivencia, colonización y fisiología en plántulas *ex vitro* de *Saccharum* spp. cv Mex 69-290 durante la etapa de aclimatación. Los HMA, a dosis de 50 y 100 esporas por planta, con 30 y 58% de colonización, respectivamente, mejoraron el desarrollo de las plántulas y promovieron un aumento en el contenido de clorofila sin afectar la supervivencia durante la aclimatación. Las dosis de 200 y 400 esporas por planta, que representan el mayor porcentaje de colonización, tuvieron efectos negativos sobre la



supervivencia. La aplicación temprana de micorrizas en plántulas de caña de azúcar durante la aclimatación podría representar una ventaja de pre acondicionamiento antes del trasplante para el establecimiento de semilleros básicos.

Literatura Citada

- Al-Karaki, G. N. and M. Williams. 2021. Mycorrhizal mixtures affect the growth, nutrition, and physiological responses of soybean to water deficit. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(5), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03250-0>
- Bello-Bello, J. J., M. Mendoza-Mexicano and J. A. Pérez-Sato. 2018. *in vitro* Propagation of Sugarcane for Certified Seed Production. In *Sugarcane-Technology and Research*. Intech Open. Doi:10.5772/intechopen.74037
- Bigott, A. F., J. W. Hoy and L. M. Fultz. 2019. Soil properties, microbial communities, and sugarcane yield in paired fields with short-or long-term sugarcane cultivation histories. *Applied Soil Ecology*, 142, 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.04.027>
- Campo, S., H. Martín-Cardoso., M. Olivé., E. Pla., M. Catala-Forner and M. Martínez-Eixarch. et al. 2020. Effect of root colonization by arbuscular mycorrhizal fungi on growth, productivity and blast resistance in rice. *Rice*, 13(1), 1-14.
- Chen, S., H. Zhao., C. Zou., Y. Li., Y. Chen., Z. Wang., Y. et al. 2017. Combined inoculation with multiple arbuscular mycorrhizal fungi improves growth, nutrient uptake y photosynthesis in cucumber seedlings. *Frontiers in microbiology*, 8, 2516. Doi:10.3389/fmicb.2017.02516.
- Choi, J., W. Summers and U. Paszkowski. 2018 Mechanisms underlying establishment of arbuscular mycorrhizal symbioses. *Annu. Rev Phytopathol* 56:135–160. "<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080516-035521>"



- Di Martino, C., A. Fioretto., D. Palmieri., V. Torino and G. Palumbo. 2019. Influence of tomato plant mycorrhization on nitrogen metabolism, growth and fructification on P-limited soil. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4), 1183-1195. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09923-y>
- Fors, R. O., O. J. Saggin., M. A. C. Carneiro., R. L. L Berbara. 2020. Selection of arbuscular mycorrhizal fungi for sugarcane in four soils with the presence of dark septate endophytes. *Acta Scientiarum. Agronomy*, <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.4247>
- Gomes, B., F. Castro., R. Santos., P. Figueiredo., M. Silva., M. Vidal. et al. 2021. Effect of Quercetin on Mycorrhizal Synthesis between *Tuberborchii* and *Arbutusunedo* L. *in vitro* Plants. *Microbiology Research*, 12(1), 69-81. <https://doi.org/10.3390/microbiolres12010007>
- Gómez-Kosky, R., D. N. Jaramillo., C. R. Esquiro., A. B. Villegas., M. B. Calimano., P. M. Armas. et al. 2020. Effect of VIUSID Agro® and FitoMas-E® on the Ex Vitro Acclimatization of Sugarcane Plants (*Saccharum* spp.) Cultivar C90-469. *Sugar Tech*, 22(1), 42-51. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00752-7>
- Gupta, S., S. D. Thokchom and R. Kapoor. 2021. Arbuscular mycorrhiza improves photosynthesis and restores alteration in sugar metabolism in *Triticum aestivum* L. grown in arsenic contaminated soil. *Frontiers in Plant Science*, 12, 334. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.640379>
- Lambers, H., F. Albornoz., L. Kotula., E. Laliberté., K. Ranathunge., F. P. Teste. et al. 2017. How belowground interactions contribute to the coexistence of mycorrhizal and non-mycorrhizal species in severely phosphorus-impooverished hyperdiverse ecosystems. *Plant and Soil*, 424, 11-33. <http://doi.org/10.1007/s11104-017-3427-2>
- Lerat, S., L. Lapointe., Y. Piché and H. Vierheilig. 2003. Variable carbon-sink strength of different *Glomus mosseae* strains colonizing barley roots. *Rev. Can. Bot.* 81:886–889



- Lopes J. I., C. M. Correia., A. Gonçalves., E. Silva., S. Martins., M. Arrobas. *et al.* 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation reduced the growth of pre-rooted olive cuttings in a greenhouse. *Soil Systems* 5:30. [Doi.org/10.3390/soilsystems5020030](https://doi.org/10.3390/soilsystems5020030).
- López-Ráez, J. A. and M. J. Pozo. 2013. Chemical signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: biotechnological applications. In *Symbiotic endophytes* (pp. 215-232). Springer, Berlin, Heidelberg
- Lotfi, M., K. Fernández., P. Vermeir., M. Mars and S. Werbrouck., 2019. *In vitro* mycorrhization of pear (*Pyrus communis*). *Mycorrhiza*. 29:607–614. <https://doi.org/10.1007/s00572-019-00919-w>
- Meddich, A., Y. Ait Rahou., A. Boutasknit., M. Ait-El-Mokhtar., A. Fakhech., S. Lahbouki. *et al.* 2021. Role of mycorrhizal fungi in improving the tolerance of melon (*Cucumis melo*) under two water deficit partial root drying y regulated deficit irrigation. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 1-11. [Doi:10.1080/11263504.2021.1881644](https://doi.org/10.1080/11263504.2021.1881644).
- Ortas, I. 2019. Under filed conditions, mycorrhizal inoculum effectiveness depends on plant species and phosphorus nutrition. *Journal of Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.165933>
- Sales, F. R., A. O. Silva., L. R. Sales., T. L. Rodrigues., F. M. De Souza Moreira., M. A. C. Carneiro. 2021. Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi Exhibit Biotechnological Potential in Improvement of Soil Biochemical Quality and in Increasing Yield in Sugarcane Cultivars. *Sugar Tech*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01016-z>
- Shabbir, R., T. Javed., I. Afzal., A. E. Sabagh., A. Ali., O. Vicente. *et al.* 2021. Modern Biotechnologies: Innovative and Sustainable Approaches for the Improvement of Sugarcane Tolerance to Environmental Stresses. *Agronomy*, 11(6), 1042. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061042>



- Shtark, O., R. Puzanskiy., G. Avdeeva., V. Yemelyanov., A. Shavarda., D. Romanyuk. et al. 2021. Metabolic Alterations in *Pisum sativum* Roots during Plant Growth and Arbuscular Mycorrhiza Development. *Plants*. 10(6):1033. <https://doi.org/10.3390/plants10061033>
- Souza Ferrari, M. P., R. M. S da Cruz., M. Dos Santos Queiroz., M. M. de Andrade., O. Alberton and H. M. Magalhães. 2020. Efficient ex vitro rooting, acclimatization, and cultivation of *Curcuma longa* L. from mycorrhizal fungi. *J. Crop Sci. Biotechnol.* 23:469–482. <https://doi.org/10.1007/s12892-020-00057-2>
- Tripathi, P., A. Chandra and J. Prakash. 2022. Changes in physio-biochemical attributes and dry matter accumulation vis a vis analysis of genes during drought and stress recovery at tillering stage of sugarcane. *Acta Physiologiae Plantarum*, 44(1), 1-10.
- Vergara, C., K. E. C. Araujo., S. R. D. Souza., N. Schultz., O. J. Saggin., M. V. L. Sperandio. *et al.* 2018. Plant-mycorrhizal fungi interaction and response to inoculation with different growth-promoting fungi. *Pesqui. Agropecu. Bras.*54.
- Wang, L., D. Yang., F. Ma., G. Wang and Y. You. 2022. Recent advances in responses of arbuscular mycorrhizal fungi - Plant symbiosis to engineered nanoparticles. *Chemosphere*. 286(Pt 1):131644.
- Wu, M., Y. Yan., Y. Wang., Q. Mao., Y. Fu., X. Peng. et al. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. *Biological Control*. 152, 104433.



PROPAGACIÓN *in vitro* DE CAÑA DE AZÚCAR CON NANOTUBOS DE CARBONO EN INMERSIÓN TEMPORAL

Eucario Mancilla Álvarez³¹, Monserrat Sorcia Morales³², Altagracia Reyes Castillo³³, Ricardo Sánchez Páez³¹ y Jericó Jabín Bello Bello^{33*}

Resumen

La nanotecnología ha traído grandes avances tecnológicos y científicos a distintos sectores como las industrias farmacéuticas y eléctricas, así como al sector agrícola, aportando beneficios en la detección de patógenos y mejorando la absorción de agua y nutrientes en las plantas, con diferentes tipos de nanomaterial, entre los que destacan los basados en carbón, siendo parte de este grupo los nanotubos de carbono, que presentan estructuras cilíndricas de diámetros nanométricos. Éstos tienen un rol importante en la biotecnología vegetal, ya que tienen efectos sobre el crecimiento y diferenciación de las células, tejidos, órganos y plantas completas. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) utilizando un sistema de inmersión temporal. Diferentes concentraciones (0, 50, 100, 200 mg/L) de NTCPM se adicionaron al medio de cultivo líquido Murashige y Skoog en etapa de multiplicación *in vitro* en el biorreactor de inmersión temporal. A los 30 d de cultivo, se evaluaron las variables de desarrollo: número de brotes por explante, longitud del brote, contenido de clorofila y porcentaje de carbono. Los resultados mostraron un incremento en el desarrollo de los brotes de caña de azúcar en las concentraciones de 100 y 200 mg/L de NTCPM. El contenido de clorofila se incrementó en las concentraciones de 50 y 100 mg/L de NTCPM. Los mayores porcentajes de carbono se obtuvieron con las concentraciones de 100 y 200 mg/L de NTCPM con 60.00 y 64.07%, respectivamente. Los resultados sugieren un efecto hormético. En conclusión, el uso de NTCPM tuvo efectos fisiológicos y bioquímicos durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar y pueden tener un uso potencial en otras especies de interés agrícola.

³¹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba.

³² Agricultura Sustentable y Protegida. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.

³³ CONACYT- Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. *Autor de correspondencia: jericobello@gmail.com



Palabras clave: *Saccharum* spp., desarrollo, clorofila, hormesis, porcentaje de carbono

Introducción

La nanotecnología se ocupa de los nanomateriales que tienen al menos una dimensión que oscila entre 1 y 100 nm; ha surgido como un campo multidisciplinario en la generación de materiales funcionales con una amplia gama de aplicaciones, como la medicina, electrónica, biotecnología, sectores energéticos y ciencia de materiales (He *et al.*, 2019; Nasrollahzade *et al.*, 2019). La nanotecnología está ganando interés en la botánica, debido a la necesidad de desarrollar sistemas miniaturizados eficientes para mejorar la germinación de las semillas, el crecimiento y la protección de las plantas ante el estrés abiótico y biótico (Sanzari *et al.*, 2019). Esta tecnología tiene el potencial de la entrega precisa de agroquímicos para mejorar el manejo de las enfermedades, el crecimiento de las plantas y el uso eficiente de los nutrientes, lo cual se debe a que la interacción de la célula vegetal con las nanopartículas conduce a cambios en la expresión génica de la planta y las vías biológicas asociadas, que posteriormente afectan el crecimiento y desarrollo de la planta (Pramanik *et al.*, 2020; Usman *et al.*, 2020).

Los nanomateriales se clasifican según su origen: a base de carbón, a base de metales y compuestos. Los de base de carbono están formados por átomos de carbono, entre los que se encuentran el fullereno, grafeno, nanodiamante y nanotubos de carbono (NTC) (Rizwan *et al.*, 2021). Los NTC se clasifican en dos estructuras que son nanotubos de carbono de pared simple (NTCPS) y nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM). Los NTCPS se forman al enrollar una sola lámina de grafeno, mientras que los NTCPM son un grupo de varias láminas de grafeno enrolladas concéntricas (Garg *et al.*, 2021). Los NTC son uno de los nanomateriales más prometedores debido a sus propiedades eléctricas, térmicas y mecánicas, con un enfoque en sus aplicaciones en el campo de la agricultura. Además, por sus mecanismos de captación y translocación de NTC en plantas y de defensa contra el estrés ambiental (Safdar *et al.*, 2022). El impacto de los NTCPM en las plantas ha atraído interés, porque son más fáciles de producir y más baratos en comparación con los NTCPS (Zhuzhukin *et al.*, 2023). Con el empleo de los NTC se han observado efectos positivos en los cultivos de arroz (*Oryza sativa*) (Joshi *et al.*, 2020), uva (*Vitis vinifera*) (Li *et al.*, 2022) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (Kalpana *et al.*, 2020).



Una alternativa para estudiar con mayor exactitud los efectos de los NTC en plantas es mediante el cultivo de tejidos vegetales. Esta técnica permite la manipulación de células, tejidos, órganos o plantas completas bajo condiciones asépticas y controladas. Se han reportado algunos estudios sobre la administración de los NTC en cultivos *in vitro* como palma (*Heliconia chartacea* cv. Sewy) (Taha *et al.*, 2016), vinca (*Catharanthus roseus*) (Ghasempour *et al.*, 2019) y tomillo (*Thymus daenensis*) (Samadi *et al.*, 2020). Sin embargo, los efectos bioquímicos de los NTC en plantas no se han estudiado completamente.

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es uno de los cultivos comerciales más importantes, principalmente por la obtención de sacarosa. Adicionalmente, de esta planta se pueden obtener productos, coproductos, subproductos y derivados, incluyendo su uso en la biofábrica de nuevos productos innovadores. Este estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de los nanotubos de carbono de pared múltiple durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar cv. Mex 69-290, utilizando un sistema de inmersión temporal.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de trabajo

El experimento se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos del Colegio de Postgraduados campus Córdoba, Veracruz, durante el periodo comprendido de marzo de 2020 a febrero de 2021.

Establecimiento de explantes caña de azúcar *in vitro*

Para el establecimiento de los cultivos *in vitro* se colectaron ápices de caña de azúcar cv. Mex 69-290 de un tamaño aproximado de 30 cm, provenientes de plantas de cuatro meses de edad. Los ápices se redujeron a una longitud de 15 cm y se colocaron en termo hidroterapia en un baño termostático con circulación (Ecoshel, SC-15; TX, USA) a 50°C durante 20 min. Posteriormente, en una campana de flujo laminar los ápices se redujeron a 1.5 cm, se enjuagaron durante 5 min en una solución al 10% (v/v) de cloro comercial Cloralex™ (Industrias Alen, S.A. de C.V.; NL, México) (5% de i.a.) con tres gotas de Tween 20® (Sigma-Aldrich®) por cada 100 mL de agua. Los ápices se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril. Finalmente, los explantes se colocaron individualmente en tubos de ensayo que contenían 10 mL de medio semisólido MS, suplementado con 30 g/L de sacarosa sin reguladores de crecimiento. El pH del medio de cultivo se ajustó a 5.8, se añadió 0.25% (p/v) Phytigel™ (Sigma-



Aldrich®) como agente gelificante y se esterilizó en la autoclave durante 15 min a 120°C y 115 kPa. Los explantes se incubaron a $24 \pm 2^\circ\text{C}$, bajo irradiancia de $40 \pm 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y un fotoperiodo de 16 h de luz. Después de una semana de cultivo, los ápices se transfirieron para la fase de multiplicación a medio semisólido MS suplementado con 30 g/L sacarosa, 1 mg/L kinetina (KIN), 0.6 mg/L ácido indolacético (AIA) y 0.6 mg/L bencilaminopurina (BAP). Todos los reactivos fueron Sigma-Aldrich®. Después de tres subcultivos (30 d cada uno) en fase de multiplicación en medio semisólido, se tomaron brotes como fuente de explante para los experimentos con los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM).

Nanotubos de carbono (NTC)

Se utilizaron nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) (CAS: 308068-56-6) (Sigma-Aldrich® Chemical Company, MO, USA).

Aplicación de nanotubos de carbono en cultivos *in vitro*

Para la multiplicación *in vitro* se utilizó medio líquido MS. Los NTCPM se administraron al medio de cultivo líquido en diferentes concentraciones (0, 50, 100, 200 mg/L). Se emplearon biorreactores de inmersión temporal (BIT) con capacidad de 1000 mL, se aforaron a 500 mL de medio de cultivo y se esterilizaron a 120°C por 20 min. Se utilizaron 10 explantes por frasco, los cuales se cortaron de dos brotes fusionados de la base con longitud de 2 cm. El tiempo de inmersión fue de 2 min cada 8 h durante 30 días. Las condiciones de incubación fueron las mismas descritas anteriormente.

Cuantificación del contenido de carbono

El contenido de carbono (C) se determinó según el método de Walkley-Black. Muestras de 100 mg de tejido vegetal fresco de cada tratamiento se sometieron a una digestión en una mezcla de 10 mL de dicromato de potasio 1 N y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado 0.1 N. Posteriormente, la mezcla se realizó en matraces Erlenmeyer de 500 mL y se agitó manualmente por 1 min. La cuantificación de C se realizó por titulación con sulfato ferroso heptahidratado 0.05 N.

Contenido de clorofila

El contenido de clorofila total se determinó según la metodología propuesta por Harborne (1998). Para cada muestra se maceró 1 g de tejido vegetal fresco con acetona al 80% y se dejó reposar a -4°C por 24 h a un volumen final de 10 mL. Posteriormente, la mezcla se filtró con papel filtro No. 41, se ajustó a un volumen de 25 mL con acetona al 80%. Se utilizaron 2 mL por muestra a una absorbancia de 663 y 645 nm para clorofila a y b, respectivamente. Las lecturas se realizaron utilizando un espectrofotómetro (Genesys 10S, Thermo Scientific; MA, USA).



Finalmente se realizó la cuantificación utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila total} = [(8.20 * A663) - (20.20 * A645)] (V) / (1000 * W)$$

Donde A663 y A645: absorbancia, V: volumen de graduación en mL⁻¹, W: peso de la muestra en g y 1000 es el factor de conversión.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Los datos se sometieron a un análisis de varianza de una vía y la comparación de medias se realizó por Tukey ($p < 0.05$), utilizando el software estadístico IBM SPSS® (versión. 22 para Windows). Los datos porcentuales se transformaron con la fórmula $Y = \arcseno(\sqrt{x/100})$, donde x es el valor porcentual.

Resultados y Discusión

Efecto de nanotubos de carbono de pared múltiple durante el desarrollo de los brotes

La administración de diferentes concentraciones de NTCPM tuvo un efecto contrastante sobre el número de brotes por explante, y la longitud de brotes de caña de azúcar cultivados en BIT. La mayor cantidad de brotes se obtuvo en las concentraciones de 100 y 200 mg/L de NTCPM, con 38.33 y 37.93 brotes por explante, respectivamente, mientras que, la menor cantidad de brotes se observó en el tratamiento control, con 26.06 brotes por explante (Figura 1a). La mayor altura de brotes se observó en el tratamiento con 200 mg/L de NTCPM, con 8.61 cm de longitud, mientras que la menor longitud se observó en el tratamiento control, con 6.01 cm de altura (Figura 1b).

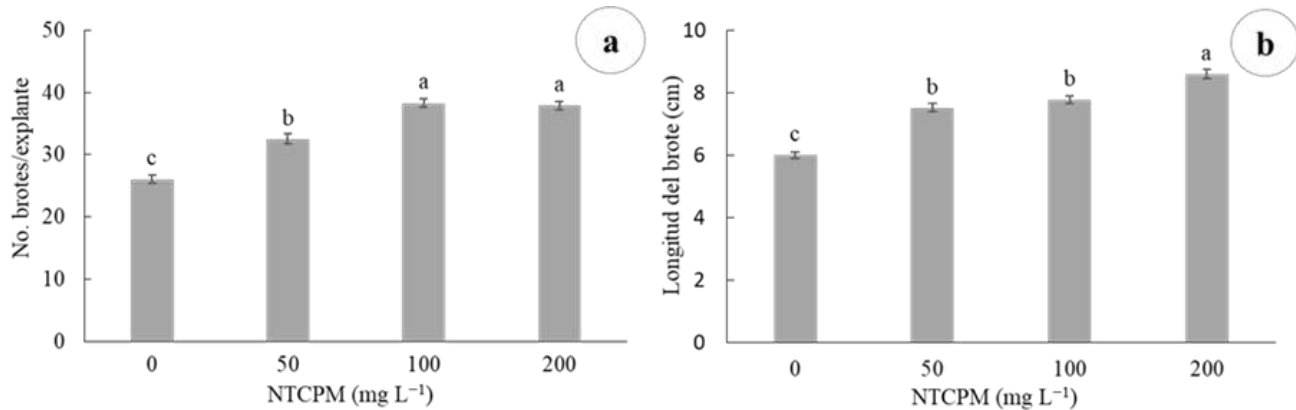


Figura 1. Efecto de los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) durante el desarrollo de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) cv. Mex 69-290 cultivadas *in vitro* en el biorreactor de inmersión temporal. a) número de brotes por explante, b) longitud del brote, a los 30 días de cultivo. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con diferente letra, son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

En este estudio se demuestra el efecto de los NTCPM durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar (Figura 2).

El incremento en la tasa de multiplicación y longitud de brote a concentraciones de 100 y 200 mg/L de NTCPM podría deberse a una mayor absorción de nutrientes y compuestos orgánicos como la sacarosa, reguladores del crecimiento, vitaminas, entre otros. Al respecto, Khodakovskaya *et al.* (2012) observaron en callo de tabaco (*Nicotina tabacum*) *in vitro* un incremento en la biomasa entre 55 y 64% en un rango de concentraciones de 5 a 500 $\mu\text{g/mL}$ de NTCPM. Pandey *et al.* (2018) lograron aumentar el porcentaje de germinación y longitud del brote en semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) y pasto varilla (*Panicum virgatum*) *in vitro* en la concentración de 200 $\mu\text{g/mL}$ de NTCPM. De manera similar, en melón amargo (*Momordica charantia*), Seddighinia *et al.* (2020) obtuvieron un mayor desarrollo en longitud de brote y raíz, en 200 mg/L de NTCPM. Samadi *et al.* (2020) reportaron que la altura fue tres veces mayor en tomillo (*Thymus daenensis*) *in vitro* en comparación con el control en plántulas desarrolladas con 250 $\mu\text{g/mL}$ de NTCPM; sin embargo, las concentraciones de 500 a 2000 $\mu\text{g/mL}$ de NTCPM, tuvieron efecto negativo sobre su desarrollo.



Figura 2. Efecto de diferentes concentraciones de nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) en el desarrollo de brotes *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) cv. Mex 69-290 a los 30 días en biorreactor de inmersión temporal; a-d) 0, 50, 100 y 200 mg/L de NTCPM, respectivamente. Barra = 1 cm.

Efecto de nanotubos de carbono pared múltiple (NTCPM) en el contenido de clorofila y carbono

La administración de diferentes concentraciones de NTCPM tuvo un efecto contrastante sobre el contenido de clorofila, siendo mayor en los tratamientos con 50 y 100 mg/L de NTCPM, con 0.38 y 0.37 mg/g PF, respectivamente, mientras que, el menor contenido de clorofila se observó en los tratamientos con 0 y 200 mg/L de NTCPM con 0.27 y 0.28 mg/g PF, respectivamente (Figura 3a). Por su parte, los mayores porcentajes de carbono se obtuvieron en las concentraciones de 100 y 200 mg/L



de NTCPM con 60.00 y 64.07%, respectivamente; mientras que, el menor contenido de carbono se obtuvo en las concentraciones de 0 y 50 mg/L de NTCPM, con 47.39 y 51.25% de carbono, respectivamente (Figura 3b).

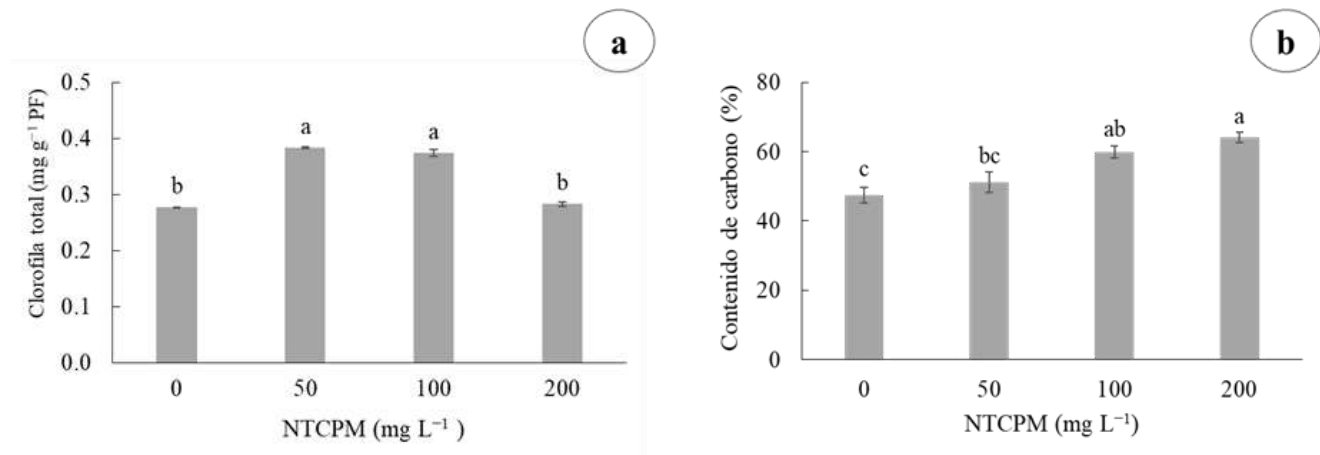


Figura 3. Efecto de los nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) cv. Mex 69-290 cultivadas en biorreactor de inmersión temporal. a) clorofila total, b) contenido de carbono a los 30 días de cultivo. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con diferente letra, son significativamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$).

El incremento del contenido de clorofila en las concentraciones de 50 y 100 mg/L de NTCPM está relacionado a una mayor actividad fotosintética. Al respecto, Sun *et al.* (2020) y López-Vargas *et al.* (2020), mencionaron que los NTC tienen la capacidad de moverse a través de los tejidos formando poros vía apoplástica y vía endocitosis hasta llegar a las células del mesófilo en hojas, especialmente dentro de los cloroplastos, afectando la actividad fotosintética mediante la captura de carbono para uso de energía y transporte de electrones. Ghasempour *et al.* (2019) en vinca (*Catharanthus roseus*) *in vitro*, en concentración de 50 mg/L de NTCPM tuvieron la mayor cantidad de biomasa y en concentraciones de 100 y 150 mg/L de NTCPM observaron un aumento en el contenido de clorofila. En salvia (*Salvia verticillata*), Rahmani *et al.* (2020) observaron aumento en el contenido de clorofila en concentración de 50 mg/L de NTCPM.

La mayor fuente de carbono fue suministrada en forma de sacarosa y otros compuestos orgánicos en el medio de cultivo MS (glicina, mio-inositol, ácido nicotínico, piridoxina, tiamina), reguladores de crecimiento KIN, AIA, BAP y por el contenido de C de los tratamientos con NTCPM. El incremento del porcentaje de C total esta relaciona con el incremento de la concentración de NTCPM.



Conclusiones

Los nanotubos de carbono tuvieron un efecto sobre el desarrollo *in vitro* de explantes de caña de azúcar. Las concentraciones de 100 y 200 mg/L de NTCPM promovieron el mayor número de brotes por explante. Sin embargo, en la concentración de, 200 mg/L de NTCPM se observó un incremento de la longitud de los brotes.

El contenido de clorofila aumentó en las concentraciones de 50 y 100 mg/L de NTCPM y disminuyó en concentraciones de 0 y 200 mg/L de NTCPM.

Se observó un aumento en el contenido de carbono relacionado al incremento de las concentraciones de nanotubos de carbono adicionados al medio de cultivo.

Se demostró que la administración de NTCPM a una concentración 100 mg/L produce efectos fisiológicos favorables sobre el desarrollo en etapa de multiplicación *in vitro* de caña de azúcar cv. Mex 69-290 utilizando biorreactores de inmersión temporal. Por otra parte, a concentraciones superiores a 200 mg/L los NTCPM producen efectos negativos en el desarrollo de los explantes. Estos resultados indicaron que dosis bajas pueden inducir hormesis durante la multiplicación *in vitro* de caña de azúcar y pueden tener un uso potencial en otras especies.

Literatura Citada

- Garg, A., H. D. Chalak, M. O. Belarbi, A. M. Zenkour and R. Sahoo. 2021. Estimation of carbon nanotubes and their applications as reinforcing composite materials—an engineering review. *Compos. Struct.* 272, 114234.
- Ghasempour, M., A. Iranbakhsh, M. Ebadi. and Z. O. Ardebili. 2019. Multi-walled carbon nanotubes improved growth, anatomy, physiology, secondary metabolism, and callus performance in *Catharanthus roseus*: an *in vitro* study. *3 Biotech* 9(11):1-10.
- Harborne, J. B. 1998. *Phytochemical methods. A guide to modern techniques of plant analysis.* 3rd. ed. Chapman & Hall. London, UK. 302 p.



- He, X., H. Deng. and H. M. Hwang. 2019. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *J. Food Drug Anal.* 27:(1):1-21.
- Joshi, A., L. Sharma, S. Kaur, K. Dharamvir, H. Nayyar and G. Verma. 2020. Plant nanobionic effect of multi-walled carbon nanotubes on growth, anatomy, yield and grain composition of rice. *Bionanoscience* 10:430-445.
- Kalpana, A., D. K. Tripathi and S. Rajani. 2020. Functionalization of multi-walled carbon nanotubes and its impact on growth of tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 8(4): 469-478.
- Khodakovskaya, M. V., K. De Silva, A. S. Biris, E. Dervishi, and H. Villagarcia. 2012. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS nano* 6(3):2128-2135.
- Li, Y., M. Liu, X. Yang, Y. Zhang, H. Hui, D. Zhang and J. Shu. 2022. Multi-walled carbon nanotubes enhanced the antioxidative system and alleviated salt stress in grape seedlings. *Sci. Hortic.* 293, 110698.
- López-Vargas, E. R., Y. González-García, M. Pérez-Álvarez, G. Cadenas-Pliego, S. González-Morales, A. Benavides-Mendoza, and A. Juárez-Maldonado. 2020. Seed priming with carbon nanomaterials to modify the germination, growth, and antioxidant status of tomato seedlings. *Agronomy* 10(5):639
- Nasrollahzadeh, M., S. M. Sajadi, M. Sajjadi, and Z. Issaabadi. 2019. An introduction to nanotechnology. p. 1-27. *In: Nasrollahzadeh, M., S. M. Sajadi, M. Sajjadi, Z. Issaabadi and M. Atarod (eds.). An introduction to green nanotechnology. Academic Press. Cambridge, MA, USA. 356 p.*
- Pandey, K., M. H. Lahiani, V. K. Hicks, M. K. Hudson, M. J. Green and M. Khodakovskaya. 2018. Effects of carbon-based nanomaterials on seed germination, biomass accumulation and salt stress response of bioenergy crops. *PLoS One* 13, e0202274.



- Pramanik, P., P. Krishnan, A. Maity, N. Mridha, A. Mukherjee, and V. Rai. 2020. Application of nanotechnology in agriculture. *Environ. Nanotech.* 4:317-348.
- Rahmani, N., T. Radjabian and B. M. Soltani. 2020. Impacts of foliar exposure to multiwalled carbon nanotubes on physiological and molecular traits of *Salvia verticillata* L., as a medicinal plant. *Plant Physiol. Biochem.* 150:27-38.
- Rizwan, M., A. Shoukat, A. Ayub, Razzaq and M. B. Tahir. 2021. Types and classification of nanomaterials. p. 31-54. *In: Tahir, M. B., M. Sagir and A. M. Assiri (eds.). Nanomaterials: synthesis, characterization, hazards and safety.* Elsevier. Amsterdam, Netherlands. 302 p.
- Safdar, M., W. Kim, S. Park, Y. Gwon, Y. O. Kim and J. Kim. 2022. Engineering plants with carbon nanotubes: a sustainable agriculture approach. *J. Nanobiotech.* 20(1):1-30.
- Samadi, S., M. J. Saharkhiz, M. Azizi, L. Samiei and M. Ghorbanpour. 2020. Multi-walled carbon nanotubes stimulate growth, redox reactions and biosynthesis of antioxidant metabolites in *Thymus daenensis* Celak. *in vitro.* *Chemosphere* 249, 126069.
- Sanzari, I., A. Leone and A. Ambrosone. 2019. Nanotechnology in plant science: to make a long story short. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 7, 120.
- Seddighinia, F. S., A. Iranbakhsh, Z. O. Ardebili, T. N. Satari and S. Soleimanpour. 2020. Seed priming with cold plasma and multi-walled carbon nanotubes modified growth, tissue differentiation, anatomy, and yield in bitter melon (*Momordica charantia*). *J. Plant Growth Regul.* 39(1):87-98.
- Sun, C., W. Li, Y. Xu, N. Hu, J. Ma, W. Cao and Q. Huang. 2020. Effects of carbon nanotubes on the toxicities of copper, cadmium and zinc toward the freshwater microalgae *Scenedesmus obliquus*. *Aquat. Toxicol.* 224, 105504.



Taha, R. A., M. M. Hassan, E. A. Ibrahim, N. H. A. Baker and E. A. Shaaban. 2016. Carbon nanotubes impact on date palm *in vitro* cultures. PCTOC 127(2):525-534.

Usman, M., M. Farooq, A. Wakeel, A. Nawaz, S. A. Cheema., H. U. Rehman *et al.* 2020. Nanotechnology in agriculture: current status, challenges and future opportunities. Sci. Total Environ. 721, 137778.

Zhuzhukin, K. V., P. M. Evlakov, T. A. Grodetzkaya, A. A. Gusev, O. V. Zakharova, A. V. Shuklinov *et al.* 2023. Effect of multi-walled carbon nanotubes on the growth and expression of stress resistance genes in birch. Forests 14(1):163.



ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA AGRICULTURA PROTEGIDA EN SAN SALVADOR EL VERDE, PUEBLA, USANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Jesus Guevara Brindis³⁴, Perla Castillo Martínez³⁴, Arturo Santos Gómez³⁴ y Jacinto Sandoval Lira^{34*}

Resumen

La creciente demanda mundial de alimentos ha impulsado el desarrollo de la agricultura protegida en México, una práctica que permite mejorar la producción y garantizar un suministro constante de alimentos. En San Salvador el Verde, Puebla, esta actividad agrícola ha experimentado un crecimiento gracias a la implementación de estrategias innovadoras de producción y cosecha, especialmente en los cultivos de rosa y crisantemo. El presente estudio tiene como objetivo analizar y evaluar la evolución de la agricultura protegida en la región de San Salvador el Verde durante el periodo desde 2010 hasta 2022. Para realizar este análisis, se empleó Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta valiosa que permite visualizar y evaluar datos espaciales de manera precisa y eficiente. Los resultados revelan un crecimiento sostenido de la agricultura protegida en San Salvador el Verde, con una tasa de cambio anual promedio del 10.59% en la superficie destinada a esta actividad. Este incremento significativo en el número de instalaciones (invernaderos) y la expansión de la superficie dedicada a la agricultura protegida sugiere un creciente interés de los agricultores en adoptar esta práctica como una alternativa viable para aumentar la producción y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. El modelo de crecimiento se ajusta a una función exponencial ($g(x) = ae^{bx}$), que confirma un crecimiento acelerado de la actividad en el tiempo. Los coeficientes de correlación, R^2 de 0.9978 y 0.9911, para el número de instalaciones y el incremento en la superficie en función del tiempo demuestran una alta correlación, lo que respalda la validez y precisión del modelo. El estudio destaca el crecimiento de la agricultura protegida y evidencia el impacto positivo que esta práctica ha tenido en el desarrollo económico de la región. El uso de SIG ha sido fundamental para analizar y evaluar estos datos de manera eficiente y precisa. Estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y

³⁴ Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, División de Ingeniería Ambiental
*jacinto.sandoval@smartin.tecnm.mx



decisiones de políticas agrícolas que promuevan la sustentabilidad y la seguridad alimentaria en la comunidad local y el país en su conjunto.

Palabras clave: invernaderos, modelo de crecimiento, QGis, tasa de cambio

Introducción

El aumento de la población mundial se concentra en áreas urbanas, ocasionando la demanda de más alimentos. La respuesta para producir alimentos en zonas urbanas ha sido la agricultura protegida o agricultura con ambiente controlado. Esta tecnología, también se utiliza para producir alimentos en zonas agrícolas rurales. Por otro lado, los individuos sociales se han vuelto más exigentes respecto a los alimentos que consumen y la forma como se producen. En esta área de oportunidad, cobra importancia la agricultura periurbana que debe ser capaz de suministrar alimentos frescos, sanos, nutritivos e inocuos en cantidades suficientes a los consumidores rurales y urbanos, además de generar un acercamiento entre productores y consumidores (Segrelles-Serrano, 2015). Conjuntamente, una característica de nuestra época es el crecimiento de las ciudades, debido al aumento de la migración que se establece en las zonas periurbanas. Poblaciones que presentan, por lo general, una serie de necesidades que se deben atender bajo un desarrollo sostenible para generar un valor económico, social, paisajista y ecológico (Hernández-Puig, 2016). La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2021), confirma que, en México, la agricultura protegida también ha tomado gran importancia; se reportan 47,795 ha sembradas para la producción de hortalizas, frutales y ornamentales, superficie que registra un crecimiento anual de 2,700 ha. Los informes de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2018), muestran que los cultivos con más producción son: tomate rojo, pepino, chile y berenjena. Con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015), en el estado de Puebla existían 4,880 instalaciones de agricultura protegida (invernaderos, casa sombra, techo sombra, macro túnel, micro túnel y pabellón) con una superficie de 1,284.51 ha, cultivadas principalmente con tomate, jitomate, chile, pepino, rosa de corte y zarzamora. La agricultura protegida se reportó en 138 municipios del estado de Puebla; sin embargo, sólo se concentra en 27 de ellos. Para promover la agricultura protegida en el estado de Puebla, se han realizado diferentes programas sociales, por ejemplo, el Programa Integral de Desarrollo



Rural en su componente de Agricultura Familiar, Periurbana y Traspatio (SAGARPA, 2015). En la actualidad, en el estado de Puebla, específicamente en el municipio de San Salvador el Verde, se presenta un incremento por el uso de tecnologías aplicadas a la agricultura protegida, no obstante, a su condición de urbanidad por la actividad mercantil e infraestructura para vivienda, existen productores que siguen ejerciendo la agricultura en diferentes condiciones. En la dinámica que prevalece en el municipio, además de los servicios de turismo y comercio, resaltan condiciones socioeconómicas y tecnológicas en la que se desarrolla la agricultura protegida. El presente trabajo tiene como marco de referencia el municipio de San Salvador el Verde, Puebla, México, el cual se caracteriza por la producción de flores en agricultura protegida. En este contexto, es importante analizar la evolución del crecimiento de la agricultura protegida usando tecnologías digitales en el periodo que comprende los años de 2010 a 2022.

Materiales y Métodos

Análisis de imágenes satelitales en instalaciones de agricultura protegida

Para la determinación del crecimiento de la agricultura protegida, se hace uso de la recolección de datos mediante la observación de imágenes satelitales RapidEye2 de alta resolución (5×5 m). El objetivo es identificar y trazar polígonos sobre las estructuras destinadas a la agricultura protegida como invernaderos ubicados geoespacialmente en San Salvador el Verde. En la plataforma de visualización para datos geoespaciales Google Earth Pro3 se explora y analiza la misma información de los años 2010, 2015 y 2020. La información del año 2022 se tomó del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) Earth Explorer a través de imágenes Landsat 8 (resolución mínima de 30 m). El procesamiento de las imágenes satelitales del USGS, se realizó con el software QGIS (QGIS, 2009). Al igual que Google Earth Pro3, el procedimiento de imágenes en QGIS, en lo que se refiere al trazado de polígonos sobre los invernaderos, es similar, la diferencia radica en la exportación de los datos en el formato KMZ para su compatibilidad con Google Earth Pro3. La identificación de los cultivos por especie de los invernaderos trazados de los años 2010, 2015, 2020 y 2022, se realizó a través del mapa digital de México tomado de la plataforma del INEGI. Este procedimiento se concentra en monitorear el crecimiento de la agricultura protegida destinada a la floricultura en San Salvador el Verde para los periodos mencionados. La determinación de los cultivos



por especie en los polígonos de invernaderos trazados es a través del filtro de búsqueda por actividad. Los cultivos de rosa, crisantemo y jitomate se identificaron con un mayor número de instalaciones en agricultura protegida.

Evolución de la agricultura protegida

Para describir la evolución de la agricultura protegida en San Salvador el Verde, se utilizó la tasa de cambio, también conocida como tasa de variación, que es el cambio en porcentaje de una variable entre dos momentos distintos del tiempo (Palacio-Prieto, 2004) y se calcula con la siguiente ecuación:

$$TC_{i-f} = \left[\left(\frac{SPF}{SPI} \right)^{\frac{1}{p}} - 1 \right] * 100 \quad (1)$$

en donde TC_{i-f} es la tasa de cambio porcentual anual, SPF y SPI se refiere a la superficie final e inicial en ha, respectivamente. Finalmente, p es el período o intervalo de tiempo en el cual se hace la comparación.

Resultados y Discusión

Identificación de estructuras destinadas a la agricultura protegida

El análisis geoespacial apoyado en mapas permitió conocer el cambio de la actividad agrícola en la superficie del suelo de San Salvador el Verde, incluyendo sus distintas juntas auxiliares. Esto permitió analizar y hacer más accesible grandes cantidades de información para identificar dónde se localizan las instalaciones destinadas a la agricultura protegida (invernaderos). El crecimiento demográfico ha impulsado actividades enfocadas al sustento y abastecimiento de alimentos y otros productos agrícolas como flores, por lo cual no es de extrañar que haya un cambio significativo en el uso de suelos con este fin. En la Figura 1 se muestra una imagen satelital de la zona de estudio de mes de mayo de 2010 y del mismo mes en el año 2022, con 12 años de diferencia, se puede observar un cambio significativo; en primera instancia, es notorio el aumento de instalaciones destinadas para la agricultura protegida, en su totalidad son invernaderos construidos en la zona central del municipio. Las localidades con mayores instalaciones dedicadas a la agricultura protegida son San Salvador el Verde y San Gregorio Aztotoacan, lo cual se puede atribuir a factores edáficos presentes en el municipio, como clima y tipo de suelo, que benefician dichas zonas. Los suelos de las diferentes localidades son de diferentes tipos:



Arenosoles, Cambisoles y Phaeozems. Si bien, el Arenosol no juega a favor para los requerimientos nutricionales de los cultivos ornamentales como rosa y crisantemo, los Cambisoles y Phaeozems aportan los macronutrientes primarios esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio) para cualquier planta. Por otra parte, el clima es favorable debido a que la mayoría de instalaciones se encuentran en zonas templadas subhúmedas con una temperatura media anual entre 12 y 18°C, provocando que la humedad prevalezca en la mayor parte de año.



Figura 1. Imagen satelital de las instalaciones de invernaderos de San Salvador el Verde, Puebla.

La agricultura protegida en 2010

En la Figura 2 se muestra el mapa de invernaderos instalados, elaborado a partir de imágenes satelitales del portal de Google Earth del año 2010, en donde se pueden observar las zonas con mayor presencia de estructuras destinadas a la agricultura protegida. La nomenclatura usada es dependiendo el tipo de cultivo: rosa (color azul), crisantemo (color verde) y jitomate (color rojo). La cuantificación del número de invernaderos destinados a la agricultura protegida se realizó con base en los datos del SIAP, que corresponden a la superficie cosechada de rosa y crisantemo del año 2010 (SIAP, 2021). Los resultados de la producción de agrícola en el municipio de San Salvador el Verde, bajo el concepto de agricultura protegida, en el año 2010, es de 44 ha (sembrada y cosechada) para el cultivo de rosa. Las metodologías empleadas por SIAP se basan en el procesamiento de información estadística de todas las etapas productivas, agropecuarias, hortofrutícolas, ornamentales, acuícolas y pesqueras. Con la finalidad de validar la información reportada por SIAP, se hace uso del mapa de la Figura 2 para identificar las instalaciones destinadas para la agricultura protegida mediante imágenes satelitales consultadas en Google Earth y posteriormente analizadas, mediante el software QGIS, como herramienta principal con la que se calculó la superficie ocupada para dichas instalaciones. Los



resultados se presentan en el Cuadro 1, donde el número de hectáreas destinadas a la agricultura protegida en el año 2010 es de 45.67 ha. La diferencia en superficie de los valores reportados por SIAP y los calculados por SIG, es del orden de 1.67 ha, lo que muestra la capacidad de predicción de los SIG, además de que se destaca la clasificación del tipo de cultivo, como se muestra en la Figura 2 y el Cuadro 1.

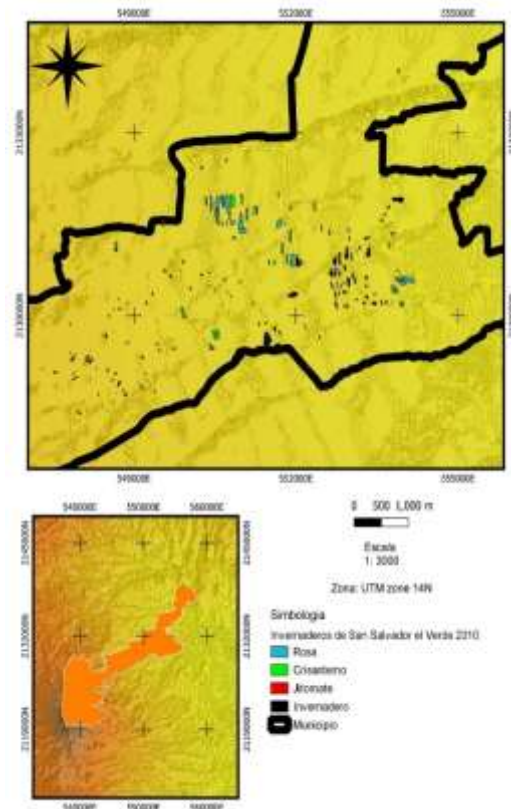


Figura 2. Invernaderos en San Salvador el Verde en 2010.

Cuadro 1. Producción agrícola de rosa, crisantemo y jitomate en 2010.

Cultivo	Instalación	Cantidad	Superficie (ha)
Rosa	Invernaderos	63	20.93
Crisantemo		8	3.56
Jitomate		27	2.02
Desconocido		133	19.16
Total		231	45.67

La agricultura protegida en 2015

La Figura 3 presenta el mapa de invernaderos para el año 2015, elaborada con SIG. A diferencia de la Figura 2, es notorio el crecimiento en la superficie destinada a la agricultura protegida, principalmente en la zona central del municipio, en un periodo de cinco años.

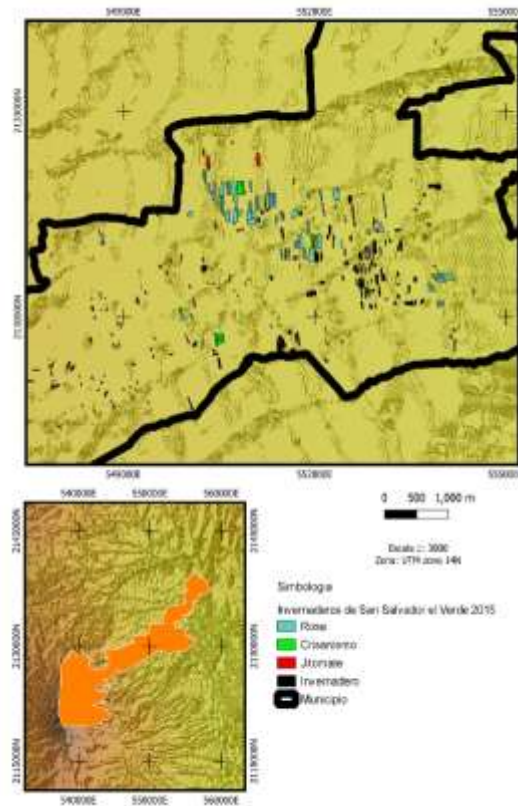


Figura 3. Invernaderos en San Salvador el Verde en 2015.

Los datos del SIAP para el 2015 en materia de agricultura protegida, reportan para el cultivo de rosa 53.6 ha (sembrada y cosechada), por primera vez se reporta a el cultivo de crisantemo con una superficie de 11.0 ha, con un total de 64.6 ha. Se puede atribuir a que los floricultores decidieron experimentar con dicho cultivo para generar más ganancias, en comparación con las generadas a partir del cultivo de rosa. Un análisis cuantitativo del mapa de invernaderos para el año 2015 de la Figura 3 usando SIG, presentado en el Cuadro 2, muestra una diferencia de 18.78 ha entre el valor reportado por SIAP (64.6 ha) y la presente investigación (Cuadro 2), la cual es casi 11 veces mayor en comparación con la del año 2010 (1.67 ha). En el Cuadro 2 se muestran datos correspondientes al número de invernaderos destinados a la agricultura protegida por tipo de cultivo, cantidad de instalaciones y



superficie. Destaca el crecimiento de instalaciones destinadas al cultivo de rosa de 63 en el año 2010 a 116 para el año 2015. Para crisantemo, el crecimiento en instalaciones es de ocho en el año 2010 a 16 para el año 2015.

Cuadro 2. Producción agrícola de rosa, crisantemo y jitomate en 2015.

Cultivo	Instalación	Cantidad	Superficie (ha)
Rosa		116	38.67
Crisantemo	Invernaderos	16	6.11
Jitomate		51	5.60
Desconocido		230	33.00
Total		413	83.38

Tomando la diferencia de los totales de los Cuadros 1 y 2, el crecimiento en la agricultura para el periodo de 2010 a 2015 es de 37.71 ha. Un análisis más detallado del crecimiento de la agricultura protegida se realizó utilizando la variable llamada *Tasa de Cambio*. La tasa de cambio, presentada en la ecuación 1, se aplica, directamente a los datos totales de los Cuadros 1 y 2, para determinar el crecimiento porcentual anual de la agricultura protegida en el periodo de 2010 a 2015, de la siguiente manera:

$$TC_{2010-2015} = \left[\left(\frac{83.38}{45.67} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 \right] * 100, \quad TC_{2010-2015} = 12.79\%. \quad (2)$$

El porcentaje obtenido es positivo, lo que demuestra que hubo un crecimiento anual en la superficie de agricultura protegida del 12.79% en un periodo de cinco años.

La agricultura protegida en 2020

En la Figura 4 se muestran las ubicaciones de los invernaderos en el año 2020 en la zona de estudio. A diferencia de las Figuras 2 y 3, el cambio no se visualiza en la zona central del municipio, sino que se enfoca en las juntas auxiliares, principalmente en los patios traseros (traspatio) de las viviendas de las localidades.

Los datos del SIAP para el año 2020, muestran un crecimiento de la agricultura protegida, específicamente en el cultivo de rosa, a diferencia del cultivo de crisantemo. Los datos reportados por SIAP para el cultivo de rosa para el año 2020 son de 119 ha, lo que indica un crecimiento de 65.4 ha

respecto al año 2015 y para el cultivo de crisantemo, la superficie es de 14.2 ha con un crecimiento de sólo 3.2 ha en comparación del año 2015, dando como total 132.2 ha.

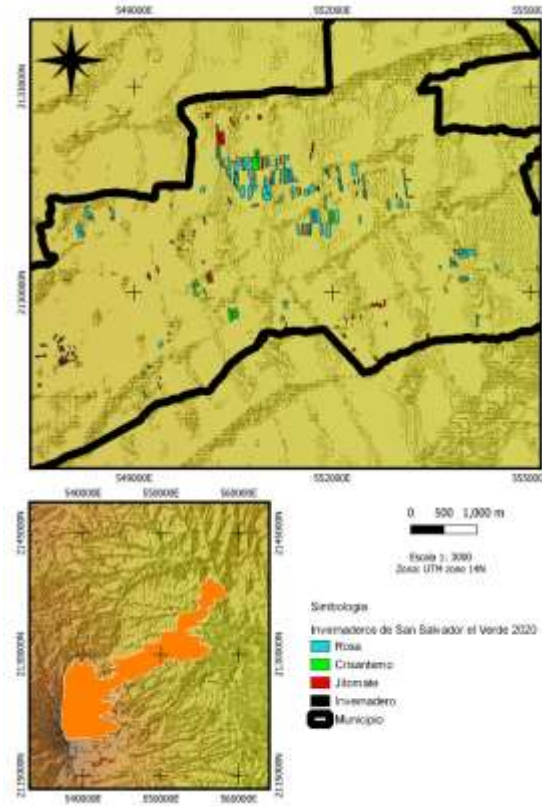


Figura 4. Invernaderos en San Salvador el Verde en 2020.

El análisis cuantitativo del mapa de localización de los invernaderos en el año 2020 de la Figura 4, se presenta en Cuadro 3. Es notoria la diferencia entre los datos obtenidos por el SIAP y los encontrados en la presente investigación usando SIG; por ejemplo: para el cultivo de rosa existe una diferencia de 67 ha. Tomando la diferencia de los totales de los Cuadros 2 y 3, el crecimiento en superficie es de 42.26 ha. Para determinar el porcentaje anual del crecimiento de la agricultura protegida en el periodo de 2015 a 2020, se hace uso de la tasa de cambio, a partir de la ecuación:

$$TC_{2015-2020} = \left[\left(\frac{125.64}{83.38} \right)^{\frac{1}{5}} - 1 \right] * 100, \quad TC_{2015-2020} = 8.5\%. \quad (3)$$



El resultado de la tasa de cambio o el porcentaje anual de crecimiento de la agricultura protegida, $TC_{2015-2020}$, es de 8.5%, para el periodo del 2015 a 2020, lo que demuestra que hubo una menor variación de la superficie destinada a la agricultura protegida; si se compara con la $TC_{2010-2015} = 12.79\%$. El crecimiento en superficie real (ha), se puede evaluar hasta el momento en periodos de cinco años usando datos obtenidos por SIG, siendo para 2010 (45.67 ha), 2015 (83.38 ha) y 2020 (125.64 ha).

Cuadro 3. Producción agrícola de rosa, crisantemo y jitomate en 2020.

Cultivo	Instalación	Cantidad	Superficie (ha)
Rosa	Invernaderos	186	51.31
Crisantemo		29	7.62
Jitomate		128	13.88
Desconocido		386	52.83
Total		729	125.64

La agricultura protegida en 2022

El mapa de localización de los invernaderos del año 2022 en San Salvador el Verde, se omite, ya que visualmente no hay cambios significativos si lo comparamos con la Figura 4, debido a que el periodo transcurrido es de sólo dos años. Sin embargo, de manera cuantitativa si hay cambios, con SIAP la superficie para el cultivo de rosa es de 135.0 ha y para crisantemo es de 17.5 ha con un total de 152.5 ha. El crecimiento en superficie ha de la agricultura protegida en un periodo de dos años, según SIAP, para el cultivo de la rosa es de 16 ha y para el cultivo de crisantemo es de 3.3 ha. Usando SIG, se elaboró el Cuadro 4, en el que se cuantifica el número de instalaciones de agricultura protegida y su superficie en ha. Las diferencias en los totales de los Cuadros 4 y 3, muestran que el crecimiento en el número de invernaderos en un periodo de dos años es de 126 y en superficie es de 26.24 ha. Este resultado confirma que la agricultura protegida, en años anteriores, ha tenido un crecimiento notable en lo que llamamos comúnmente agricultura de traspatio. Como en los periodos anteriores de cinco años, para el periodo de dos años (2020-2022), se determina el porcentaje anual de la tasa de cambio. Se usa para determinar la $TC_{2020-2022}$:



$$TC_{2020-2022} = \left[\left(\frac{151.88}{125.14} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] * 100, \quad TC_{2020-2022} = 10.1\%. \quad (4)$$

El porcentaje anual de la tasa de cambio para el periodo de año 2020 al año 2022, es de 10.1%, lo que indica que hay una mayor variación de la superficie dedicada a la agricultura protegida en el año 2022, respecto al valor de referencia del año 2020; si lo comparamos con el valor de la $TC_{2015-2020} = 8.4\%$.

Cuadro 4. Producción agrícola de rosa, crisantemo y jitomate 2022.

Cultivo	Instalación	Cantidad	Superficie (ha)
Rosa		239	51.31
Crisantemo	Invernaderos	29	7.62
Jitomate		128	13.38
Desconocido		459	79.57
Total		855	151.88

Porcentaje anual del crecimiento para el periodo 2010-2022

Finalmente, se realizó el cálculo del porcentaje anual del crecimiento de la agricultura protegida en superficie (ha), a partir de la tasa de cambio para el periodo del 2010-2022, con datos totales de los Cuadros 1 y 4 y la ecuación siguiente:

$$TC_{2010-2022} = \left[\left(\frac{151.88}{45.37} \right)^{\frac{1}{12}} - 1 \right] * 100, \quad TC_{2010-2022} = 10.59\%. \quad (5)$$

El resultado indica que la variación en el crecimiento de superficie ha de agricultura es del 10.59% anual, respecto al valor inicial de 45.37 ha del año 2010.

Modelo de crecimiento de la agricultura protegida

Los resultados presentados muestran un claro crecimiento de la agricultura protegida en el municipio de San Salvador el Verde. En el Cuadro 5 se presenta un resumen del incremento del número de invernaderos y la superficie ha destinada a la agricultura protegida, datos de la presente investigación, en los periodos discutidos en las secciones anteriores.



Cuadro 5. Crecimiento de la agricultura protegida en el periodo del año 2010 al año 2022.

Año	Instalaciones	Superficie (ha)
2010	231	45.67
2015	413	83.38
2020	729	125.14
2022	855	151.88

Los datos del Cuadro 5, se ajustaron a tres modelos distintos. Las funciones de ajuste son las presentadas en las siguientes ecuaciones: modelo *Lineal* ($f(x) = ax + b$), modelo *Exponencial* ($g(x) = ae^{bx}$).

La Figura 5 presenta el ajuste de los modelos *Lineal* y *Exponencial* para predicción del crecimiento del número de invernaderos en función del tiempo. La Figura 6, presenta el ajuste con las mismas funciones, respecto al crecimiento de la superficie ha en función del tiempo. Los valores de los coeficientes de correlación, R^2 , para todos los ajustes de los modelos se presentan en el Cuadro 6.

Los valores de R^2 , muestran que para los dos modelos propuestos correlacionan de manera correcta. Si se toma a R^2 , como un criterio para elegir la función que mejor ajusta a los datos del Cuadro 5 tanto para predecir el crecimiento del número de invernaderos, como la superficie ha en función del tiempo (año), es la función *Exponencial* con valores de 0.9978 y 0.9911; respectivamente. Este resultado es consistente con lo reportado por el portal Imagen Agropecuaria en el 2012, el cual indica que el crecimiento de la agricultura protegida en México ha tenido un crecimiento exponencial en la última década (Imagen Agropecuaria, 2022).

Cuadro 6. Coeficientes de determinación (R^2) para los modelos de ajuste.

Modelo	Año v/s Invernaderos	Año v/s Superficie (ha)
Lineal	0.9836	0.9911
Exponencial	0.9978	0.9911

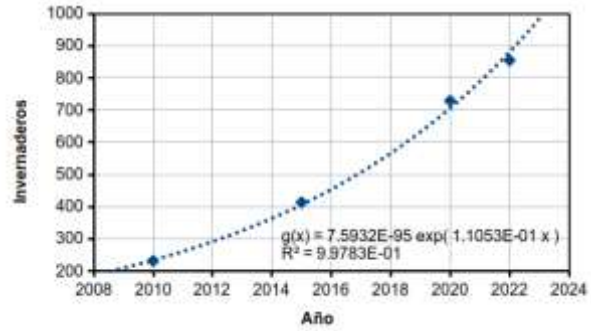
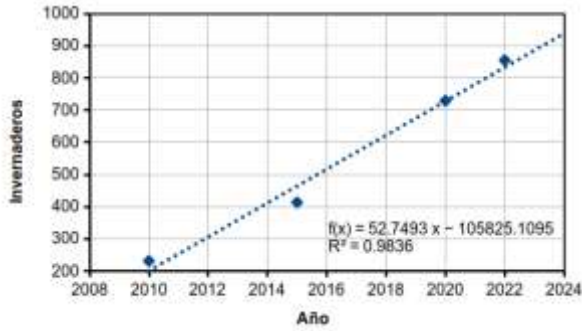


Figura 5. Modelos de crecimiento del número de invernaderos en el periodo del año 2010 al año 2022.

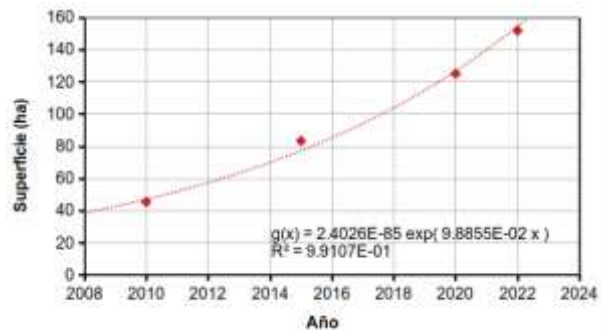
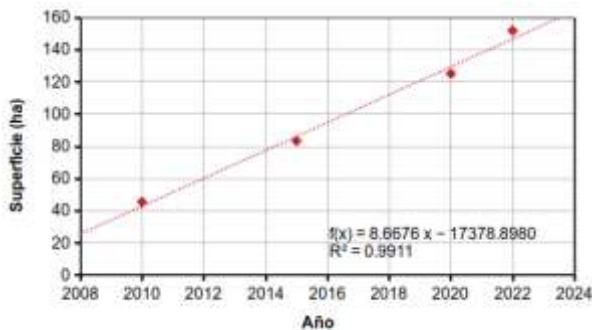


Figura 6. Modelos de crecimiento de la superficie ha en el periodo del año 2010 al año 2022.

La función propuesta como modelo de ajuste es la función *Exponencial*. Para predecir el crecimiento del número de invernaderos en función del tiempo (año) es la ecuación:

$$g(x) = 7.5932E - 95e^{1.10023E-01x}, \quad (6)$$

y para predecir el crecimiento de la superficie ha en función del tiempo (año) es la ecuación:

$$g(x) = 2.4026E - 85e^{9.8855E-02x}. \quad (7)$$

La aplicación del modelo *Exponencial* se realizó para la predicción de la superficie ha para el año 2016. Esto es debido a que para el año 2016 se cuenta con datos del censo agropecuario. El resultado de sustituir el año 2016, en la ecuación es:

$$g(2016) = 2.4026E - 85e^{9.8855E-02(2016)} \quad g(2016) = 85.49 \text{ ha.} \quad (8)$$

El resultado indica que para el año 2016 la superficie ha destinadas a la agricultura protegida es de 85.49 ha. Sin embargo, datos oficiales del censo agropecuario del INEGI del 2016 reportan 197.25 ha destinadas a la agricultura protegida en San Salvador el Verde. La discrepancia es del orden de 111.76 ha, entre el valor reportado por INEGI y el valor predicho por el modelo *Exponencial* determinado a



partir de uso de SIG. Una explicación, a la sobreestimación, se atribuye a que INEGI reportó la superficie total del predio donde se localiza el invernadero y no sólo la superficie ha de real destinada a la agricultura protegida.

Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló un modelo basado en tecnologías digitales, usando imágenes satelitales procesadas en Sistemas de información Geográfica, el cual describe tanto el crecimiento en el número de instalaciones (invernaderos) o superficie ha de la agricultura protegida es de tipo exponencial, $g(x) = ae^{bx}$, en la región de San Salvador el Verde para el periodo 2010-2022.

Agradecimientos

Jacinto Sandoval Lira y Arturo Santos Gómez agradecen a PRODEP por el apoyo al fortalecimiento del cuerpo académico de IA en el período 2021-2023, con el cual se adquirió el kit de monitoreo nutrimental y Jacinto Sandoval Lira al TecNM por el financiamiento de los proyectos 13861-22-PD y 17859-23-PD.

Literatura Citada

Hernández-Puig, S. 2016. El periurbano, un espacio estratégico de oportunidad. *Biblio3W* 21(1), 160.

Imagen Agropecuaria. 2022. Agricultura protegida crece y alcanza un valor de mercado de 47.1 mil mdp. <https://imagenagropecuaria.com/2022/agricultura-protegida-crece-y-alcanza-un-valor-de-mercado-de-47-1-mil-mdp/> [consultado el 27 de julio de 2023].



Palacio-Prieto, J. L. 2004. Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. Instituto Nacional de Ecología. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/161> [consultado el 27 de julio de 2023].

QGIS (Qgis Geographic Information System). 2009. Open Source Geospatial Foundat. <https://qgis.org> [consultado el 27 de julio de 2023].

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Agricultura protegida ubica a México entre los principales productores de frutas y hortalizas. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/agricultura-protegida-ubica-a-mexico-entre-los-principales-productores-de-frutas-y-hortalizas?idiom=es%2%A0> [consultado el 27 de julio de 2023].

SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2015. Entrega SAGARPA 348 mil pesos en apoyo a la soberanía alimentaria de Puebla. <https://www.gob.mx/agricultura%7Cpuebla/articulos/entrega-sagarpa-348-mil-pesos-en-apoyo-a-la-soberania-alimentaria-de-puebla> [consultado el 27 de julio de 2023].

SAGARPA (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. ¿Qué productos se obtienen con la agricultura protegida? <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/productos-que-nos-ofrece-la-agricultura-protegida> [consultado el 27 de julio de 2023].

Segrelles-Serrano, J. A. 2015. Agricultura periurbana, parques naturales agrarios y mercados agropecuarios locales: una respuesta territorial y productiva a la subordinación del campo a la ciudad. *Scripta Nova* 19(502):1-35.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> [consultado el 27 de julio de 2023].



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Datos abiertos. Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> [consultado el 27 de julio de 2023].



EFECTO DE MICORRIZA EN CHILE ANCHO POBLANO AP-VR BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO Y SOLUCIÓN NUTRITIVA

David Sánchez Aspeytia^{35*}, Francisco Castillo Reyes³⁵, Juan Carlos Salazar Deanzo³⁶ y Gabriel Gallegos Morales³⁶

Resumen

Con la finalidad de determinar el efecto en la calidad y el rendimiento en el cultivo del chile ancho poblano AP-VR, éste fue inoculado con microorganismos tipo hongos micorrízicos. Para ello, se desarrolló un experimento bajo condiciones de invernadero donde se trasplantaron plántulas de chile ancho poblano en bolsas negras de polietileno con tierra de monte e inmediatamente se inoculó un volumen de 100 mL/maceta de una dilución de 5 g por L de agua del inoculante con base en el hongo micorrízico INIFAP® a una densidad de inóculo de 44 propágulos por gramo formulado; posteriormente las macetas se regaron con agua corriente durante cinco días; después de este tiempo se aplicó solución nutritiva como riego. A los 15 y 33 días después del trasplante (DDT) se volvió a aplicar la misma cantidad de inóculo inicial. Después de 90 DDT se inició la cosecha de fruto. Las variables que se cuantificaron fueron: producción por planta (PPP) en kg/planta, peso fruto (PF) en g, número de frutos/planta (NFP), estimación de producción por ha con densidades de 28 mil plantas/ha, así como, longitud (LF) y diámetro de fruto (DF). Al comparar el tratamiento vs el testigo, la producción se comportó de la siguiente manera: la PPP varió de 0.83 a 1.13 kg (testigo vs micorriza), PF varió de 66.8 a 56.97 g (micorriza vs testigo), NFP varió de 17.3 a 14.8 unidades (micorriza vs testigo), la estimación del rendimiento por ha (kg/ha) para una densidad de población de 28,000 plantas se estimó entre 31,752 y 23,483.4 kg (micorriza vs testigo). Así mismo, los rangos para LF entre 111.31 y 105.89 mm (micorriza vs testigo), y para DF entre 55.41 y 54.53 mm (micorriza vs testigo). El hongo micorrízico fue el tratamiento que tuvo mejor impacto en calidad y rendimiento, siendo superior en 35.19% respecto al testigo; esta mayor producción está dada por eficiencia de la absorción de agua y nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno en contraste con el testigo.

³⁵ Campo Experimental Saltillo. INIFAP.

³⁶ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.*Autor por correspondencia: aspeytia.david@inifap.gob.mx



Palabras clave: calidad, *Capsicum annuum* var. *annuum* 'Poblano', rendimiento, microorganismos

Introducción

Actualmente el mercado demanda la producción de hortalizas bajo un sistema sustentable, para evitar los graves problemas de salud pública y ambientales, lo que ha orillado a buscar alternativas de producción. Ante las limitantes que enfrentan los cultivos de especies hortícolas se requiere la exploración de técnicas que maximicen su potencial de rendimiento y utilidad. La nutrición de las plantas es preponderante y ante un mal uso de los fertilizantes químicos, que, por un lado, ocasiona un alto costo económico, y por el otro, efectos adversos al suelo y agua (Zhang *et al.*, 1996). Ante este panorama, una alternativa ecológicamente aceptable para aumentar el rendimiento de cultivos es la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento, denominados bioestimulantes o biofertilizantes (Compant *et al.*, 2010; Parmar y Dufresne, 2011). Los microorganismos del suelo pueden favorecer la sustentabilidad de los sistemas de producción de Chile. Las bacterias del género *Azospirillum* fomentan el incremento de biomasa total y el número de raíces en plántulas. El género *Capsicum* muestra afinidad por los hongos micorrízicos arbusculares del género *Glomus*, el cual habita con mayor frecuencia en la rizosfera de este cultivo (Cardona *et al.*, 2008), que además juegan un papel importante en la reducción de patologías (Espinosa *et al.*, 2004). Con la finalidad de conocer el comportamiento de la inoculación de ciertos microorganismos en la producción de Chile ancho poblano se planteó el siguiente objetivo: determinar el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares y solución nutritiva en la calidad y rendimiento del cultivo del Chile ancho poblano bajo condiciones de invernadero.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se desarrolló bajo condiciones de invernadero semiequipado con riego por goteo y solución nutritiva. La variedad de Chile usada fue el Chile ancho poblano AP-VR liberada por el Campo Experimental San Luis del INIFAP; esta variedad se caracteriza por ser de polinización libre, con una producción superior al 35% en comparación a los criollos (Delgadillo *et al.*, 2011), con recomendación



de fecha de plantación entre el 1 de abril y el 15 de mayo. Al inicio de la primavera del ciclo 2022 se germinó y desarrolló la plántula utilizada en el presente trabajo. El trasplante de las plántulas se realizó en macetas integradas por bolsas negras y tierra agrícola esterilizada el 26 de mayo; los tratamientos con base en hongos micorrízicos se aplicaron inmediatamente. Además, se incluyó un testigo sin aplicación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos aplicados al cultivo de chile ancho poblano variedad AP-VR para determinar su efecto en la calidad y rendimiento.

Tratamientos	Microorganismo	Formulación	Dosis/maceta
1	Micorriza (<i>Glomus intraradices</i>)	INIFAP® Sólida 44 propágulos por gramo	100 mL (5 g/L de agua corriente)
2	Testigo		100 mL de agua

Cada tratamiento constó de tres repeticiones con ocho macetas por repetición, bajo un diseño experimental completamente al azar. Posterior a la aplicación del tratamiento, cada maceta se saturó a capacidad de campo y continuó con riegos diarios con sólo agua durante los primeros cinco días, después de los cuales se empezó con la aplicación de la solución nutritiva con base en la fórmula 196 N, 232 P, 174K y 113 Ca, preparando una cantidad de solución nutritiva correspondiente a 600 L de agua, para lo cual se realizó la adición de 3 L de solución A [340 g de fosfato monoamónico (MAP), 2080 g de nitrato de calcio y 1100 g de nitrato de potasio] y 1.2 L de solución B [492 g de sulfato de magnesio, 0.48 g de sulfato de cobre, 2.48 g de sulfato de manganeso, 1.2 g de sulfato de zinc, 6.2 g de boro y 50 g de sulfato de hierro] más 360 mL de solución amortiguadora de pH. El cultivo se manejó de acuerdo a las necesidades hídricas diarias y control de plagas. A los 15 y 30 días después del trasplante se realizó una segunda y tercera inoculación de microorganismos sólo a las plantas con tratamiento con base en el hongo micorrízico de la misma forma inicial. Después de un periodo de 90 días se inició la cosecha de frutos por planta, a la que le siguieron varias cosechas más. Los frutos identificados de cada planta (producción por planta = PPP) por tratamiento se pesaron en una balanza (kg/planta) y contabilizaron (número de frutos por planta = NFP); el peso total PPP se dividió en NFP para determinar el peso promedio (g) de fruto (PF), así mismo, tanto la longitud (LF) y diámetro de fruto (DF) se midieron con un vernier (cm). Al final, los pesos, longitud y diámetro del fruto de cada



cosecha de cada planta se sumaron para estimar el rendimiento total. Cada una de las variables se sometió a un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey (0.5) utilizando el software R.

Resultados y Discusión

Efecto de tratamiento

Los resultados del análisis de varianza para las diferentes variables peso por planta (PPP), número de frutos por planta (NFP), peso promedio de frutos (PF), longitud (LF) y diámetro de frutos (DF), y rendimiento (REND) se muestran en el Cuadro 2, donde las variables PPP y REND fueron estadísticamente significativas; sin embargo, el resto de las variables no presentaron diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables agronómicas en la producción de chile poblano tratado con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP. Coahuila 2022.

FV	GL	PPP	NFP	PF	LF	DF	REND
Tratamiento	1	0.2376**	17.503 ^{ns}	263.43 ^{ns}	239.5 ^{ns}	6.29 ^{ns}	189327664*
E.E.	9, 31 ^a	0.038	8.459	60.69	230.5 ^a	26.2 ^a	30101314
Media		0.999	16.18	62.33	108.85	55.017	27949.91
CV		19.59	17.97	12.49	13.94	9.3	19.59

* = Diferencias significativas ($P \leq 0.05$); NS = Diferencias no significativas; FV = Fuentes de variación; GL = Grados de libertad; TRAT = Tratamientos; E. E = Error Experimental; CV = Coeficiente de variación; PPP = Peso por planta; NFP = Número de frutos por planta; PF = Peso promedio del fruto; LF = Longitud de fruto; DF = Diámetro de fruto; REND = Rendimiento.

Efectos en el rendimiento

Producción por planta (PPP). El análisis de varianza para rendimiento entre tratamientos fue significativo ($P=0.0038$) (Cuadro 2).

El rendimiento varió de 0.83 kg por planta para el testigo a 1.134 kg por planta para el tratamiento donde se aplicó el hongo micorrízico, lo que representa una diferencia porcentual entre tratamientos muy marcada de 35.19% entre el mejor tratamiento (micorriza) y el testigo (Figura 1).

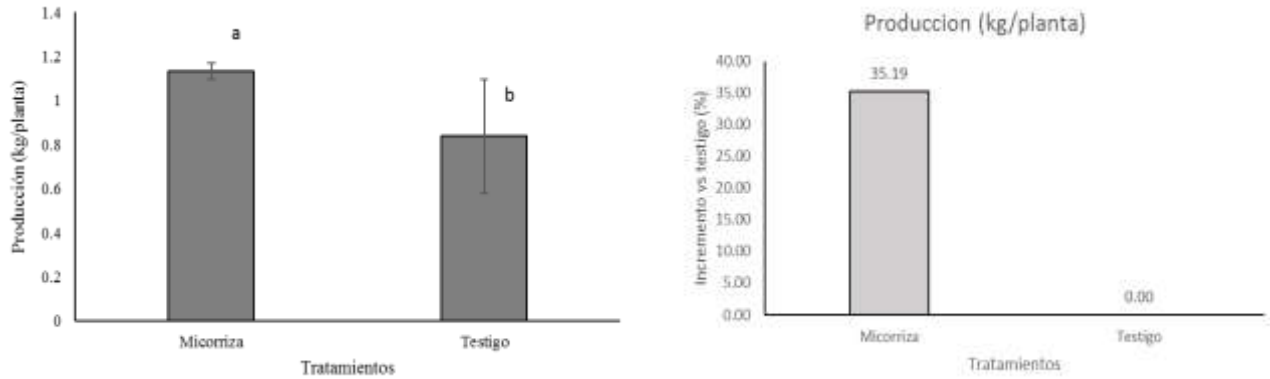


Figura 1. Comparación de medias de la variable producción por planta (a) y diferencia del incremento en porciento (b), en el cultivo de chile poblano variedad AP-VR tratado con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022. Las barras representan la desviación estándar.

Número de frutos por planta (NFP). Para la variable número de frutos por planta, en el análisis de varianza (Cuadro 2) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, en la comparación de medias (Figura 2) se señala que el mayor número de frutos por planta lo registró el tratamiento micorriza, con un valor de 17.3, en contraste a 15 frutos del testigo.

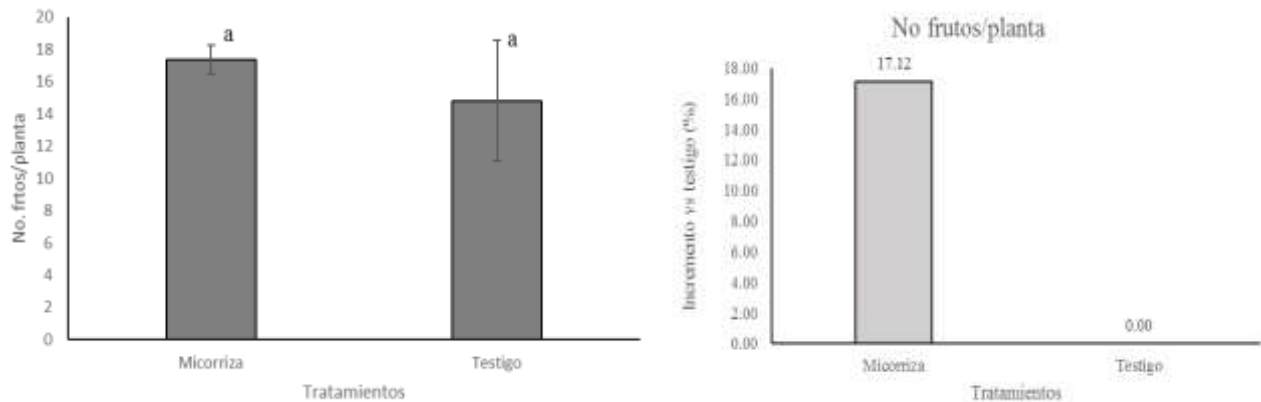


Figura 2. Comparación de medias de la variable número de frutos por planta en el cultivo de chile poblano variedad AP-VR tratado con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022. Las barras representan la desviación estándar.

Esta baja diferencia respecto al testigo pudo estar influenciada por las altas temperaturas registradas en el invernadero durante su desarrollo al momento de la floración, provocando aborto de las florecillas, lo cual disminuyó el número de frutos por planta, afectando la producción. Así mismo también se pudo deber a la fecha de siembra, la cual se desfasó por varias semanas de la fecha óptima de siembra que se



recomienda para la variedad AP-VR. El uso de inoculantes microbianos generalmente tiende a beneficiar los cultivos; Aguirre y Espinosa (2016) reportan que la inoculación de endomicorrizas y rizobacterias al cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) se refleja en un efecto positivo en el crecimiento de las plantas, con variaciones iniciales y finales. Así mismo, la inoculación de ciertos microorganismos como consorcios *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense* o de *Rhizophagus intraradices* y *A. brasilense* tiende a incrementar el número de frutos (Alfonso y Galán, 2006).

Peso de fruto (PF). No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 2), para la variable de peso promedio de fruto; sin embargo, la comparación de medias señala diferencias numéricas entre los tratamientos, siendo el tratamiento con el hongo micorrízico el que mejor respondió, con un valor de 66.8 g, seguido del tratamiento testigo, con el valor más bajo de 56.97 g (Figura 3).

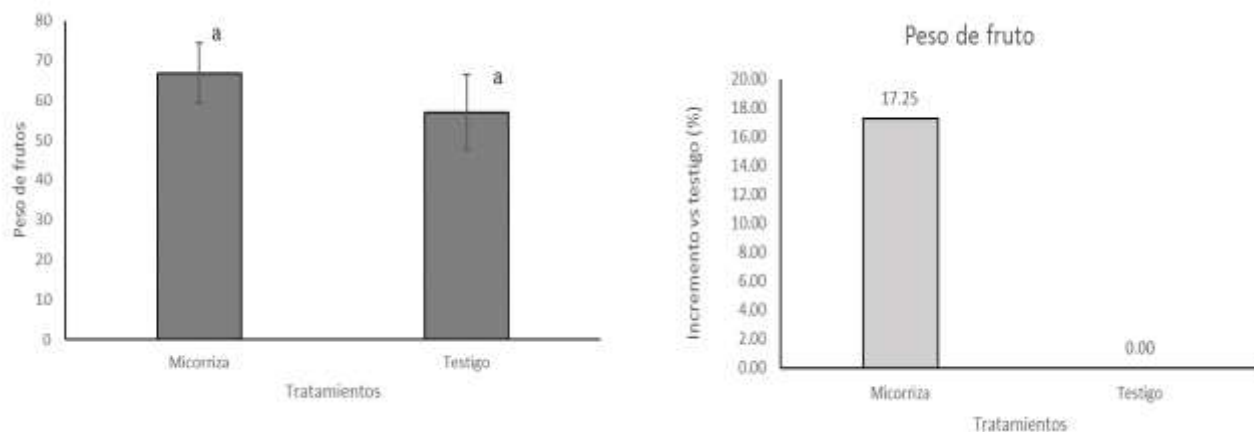


Figura 3. Comparación de medias de la variable peso de fruto en el cultivo de chile pobiano variedad AP-VR tratado con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022. Las barras representan la desviación estándar.

Los tratamientos inoculados con microorganismos tuvieron el peso promedio de fruto más alto, superando al testigo. Este efecto favoreció el desarrollo frutos, lo que repercute en mayor peso y tamaño. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Díaz *et al.* (2013) en pimiento bajo condiciones de invernadero, donde encontraron que la micorrización con *R. intraradices* promovió el incremento del peso promedio de fruto hasta un 30% respecto a plantas no micorrizadas. Este impacto por tratamiento con hongos micorrízicos en la calidad de fruto, puede estar estrechamente relacionado con la mejor condición de nutrición de la planta originada por el mismo hongo.



Efectos en la calidad

Longitud de fruto (LF). En el análisis de varianza (Cuadro 2) para esta variable fue no significativo ($P=0.316$) entre los tratamientos. En la Figura 4 se observan los valores promedio de la longitud del fruto, reportando la mayor longitud de fruto el tratamiento con el hongo micorrízico, con una media de 111.31 mm, seguido del tratamiento testigo con una longitud de 105.89 mm.

Los resultados señalan que con los hongos micorrízicos arbusculares se superó al testigo, lo cual coincide por lo reportado por González *et al.* (2017) en el cultivo de chile mirasol establecido en campo donde se evaluó el biofertilizante *A. brasilense* y el hongo micorrízico *G. intraradices* y se notaron diferencias entre tratamientos con biofertilizantes y el testigo, donde los biofertilizantes expresaron un mayor crecimiento de planta, un mayor número y tamaño de frutos. Por su parte, Reyes *et al.* (2014), reportaron que, con inoculantes microbianos en el cultivo de chile habanero, se obtuvieron plantas que presentaron significativamente mayor altura, diámetro de tallo, frutos con mayor longitud y diámetro, y por lo tanto, mayor rendimiento cuando se aplicó *Pseudomonas* spp. De igual manera, Alfonso y Galán (2006), reportan un mayor número de flores, frutos por planta y porcentaje de fructificación, y por lo tanto, rendimientos mayores al aplicar *G. clarum* + *A. brasilense* en el cultivo de tomate.

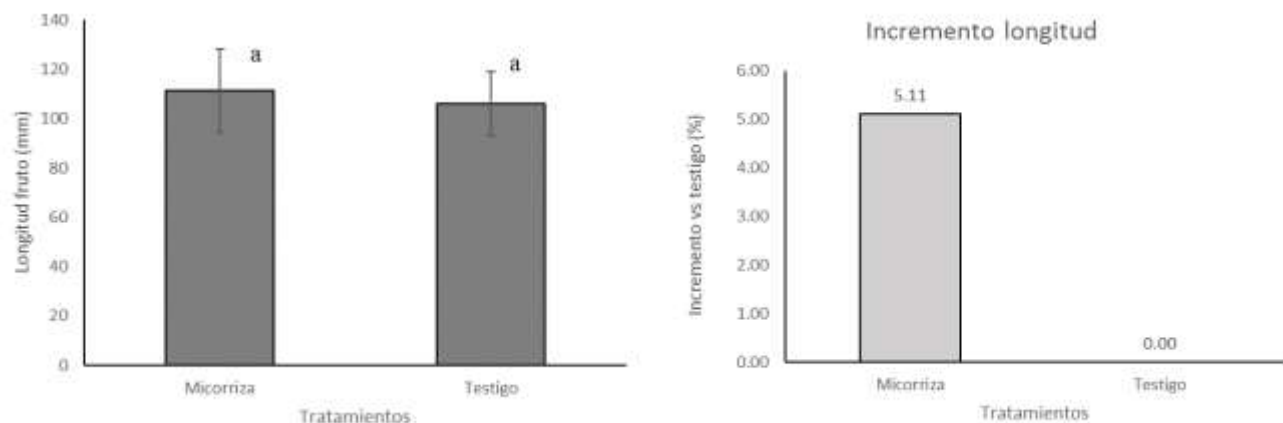


Figura 4. Comparación de medias de la variable longitud de fruto en el cultivo de chile poblano variedad AP-VR tratadas con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022. Las barras representan la desviación estándar.

Diámetro de fruto (DF). El análisis de varianza (Cuadro 2), para la variable diámetro de fruto, muestra diferencias no significativas ($P = 0.628$) entre los tratamientos; en la Figura 5 se observa la



comparación de sus medias. El tratamiento que mejor respondió fue micorriza, con valores de 55.41 mm, en contraste al testigo, con 54.51 mm.

Los resultados demuestran que los microorganismos ayudaron a que la planta produjera frutos de mayor diámetro respecto al testigo. Rizzardi (2018), reporta que la inoculación con *G. intraradices* y *P. fluorescens* no hay diferencias significativas para diámetro de fruto en el cultivo de tomate; de manera similar, Solís (2010) no encontró diferencias para diámetro de frutos en plantas inoculadas con hongos micorrízicos respecto a las sin tratar. Por su parte Tituaña (2013), reportó que, en el cultivo de pimiento, la inoculación de *Trichoderma asperellum* no afectó la longitud ni diámetro de fruto.

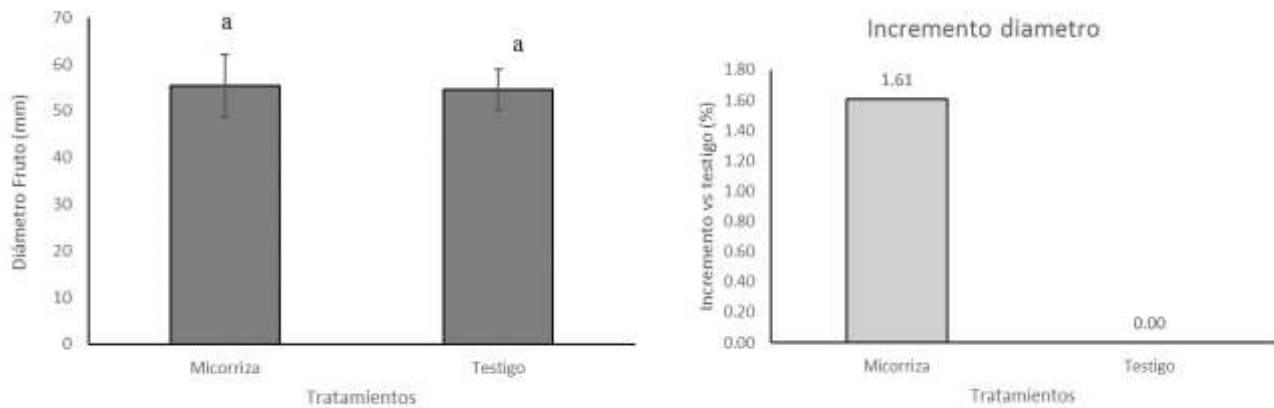


Figura 5. Comparación de medias de la variable diámetro de fruto en el cultivo de chile poblano variedad AP-VR tratadas con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022. Las barras representan la desviación estándar.

Rendimiento (REND)

En el análisis de varianza (Cuadro 2), se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P=0.0345$) para estimación de rendimiento a una densidad de plantación de 28,000 plantas por ha. El mayor rendimiento se obtuvo cuando se aplicó micorriza, con 31.7 t/ha, en contraste al testigo con 23.4 t/ha (Figura 6).

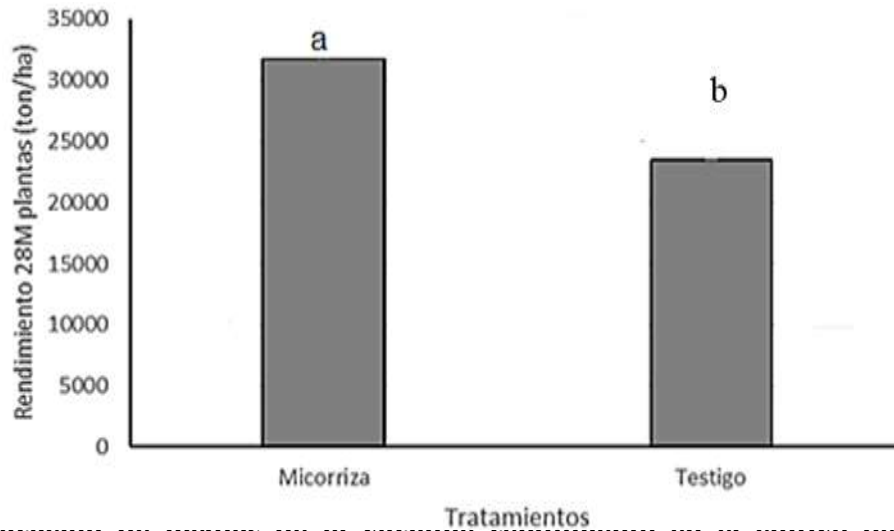


Figura 6. Comparación de medias de la variable Rendimiento en el cultivo de chile poblano variedad AP-VR tratadas con microorganismos benéficos en el Campo Experimental Saltillo del INIFAP, 2022.

Los resultados de rendimiento tienen relación a los señalados por Guillén *et al.* (2006) quienes reportaron un efecto de *Bacillus* sp. en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile, el cual superó hasta cuatro veces el rendimiento testigo y casi dos veces al cultivo tradicional. Toledo *et al.* (2020) reportan efectos en rendimiento en el cultivo de pimiento inoculado con *R. intraradices* y *G. cubense* con rendimientos de 73.75 y 90 t/ha, respectivamente en comparación con 43.75 t/ha del testigo. Los hongos micorrízicos han demostrado ser eficientes en los sistemas de explotación agrícola, pues con su uso se evidencian resultados satisfactorios en distintos cultivos de interés económico y tipos de suelos. Éstos contribuyen a un mejor aprovechamiento de los nutrientes en el suelo por las plantas, además ofrecen cierta protección contra patógenos, aumentan la tolerancia al déficit hídrico y un incremento en el rendimiento de los cultivos de entre el 30 y 45% (Rivera *et al.*, 2007).

Conclusiones

El uso de hongos micorrízicos y solución nutritiva en el cultivo de chile ancho bajo de condiciones de invernadero permite incrementar rendimientos.



Literatura Citada

- Aguirre, M. J. F. y J. A. Espinosa M. 2016. Crecimiento y rendimiento de *Capsicum annuum* L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias. REMEXCA 7(7):1539-1550.
- Alfonso, E. T. y A. L. Galán. 2006. Evaluación agrobiológica de la coinoculación micorrizas-rizobacterias en tomate. Agron. Costarricense 30(1):65-73.
- Cardona, G., C. P. Peña-Venegas y A. Arcos. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (*Capsicum* sp.) en la Amazonia colombiana. Agron. Colomb. 26(3):459-470.
- Compant, S., C. Clement and A. Sessitsch. 2010. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospect for utilization. Soil Biol. Biochem. 42:669-678.
- Delgadillo, B. C., J. A. Hernández A., C. Jasso C. y A. Ramiro C. 2011. Ancho mulato AM-VR y Ancho poblano AP-VR; nuevas variedades de chile para el Altiplano de México. Desplegable para Productores Núm. 45. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Díaz, F. A., M. Alvarado C., F Ortiz C. y O. Grageda C. 2013. Nutrición de la planta y calidad de fruto de pimiento asociado con micorriza arbuscular en invernadero. REMEXCA 4(2):315-321.
- Espinosa, V. D., D. González M., J. Placencia P. y R. García E. 2004. Reducción de la incidencia de *Phytophthora capsici* Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con *Glomus intraradices*. Terra Latinoam. 22(2):317-326.
- González, M. A., J. J. Almaraz S., R. Ferrera C., M. P. Rodríguez G., O. R. Taboada G., A. Trinidad S. et al. 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). Rev. Int. Contam. Ambient. 33(3):463-474.



- Guillén, C. R., F. D. Hernández C., G. Gallegos M., R. Rodríguez H, C. N. Aguilar G., E. Padrón C. *et al.* 2006. *Bacillus* spp. como biocontrol en un suelo infestado con *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani* Kühn y *Phytophthora capsici* Leonian y su efecto en el desarrollo y rendimiento del cultivo de chile (*Capsicum annum* L.). Rev. Mex. de Fitopatol. 24(2):105-114.
- Parmar, N. and J. Dufresne. 2011. Beneficial interactions of the plant growth promoting rhizosphere microorganisms. p. 27-42. *In: Singh, A., N. Parmar and R. C. Kuhad (eds.). Bioaugmentation, biostimulation and biocronol. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, Germany.*
- Reyes, R. A., M. López A., E. Ruiz S., L. Latournerie M., A. Pérez G., M. G. Lozano C. *et al.* 2014. Efectividad de inoculantes microbianos en el crecimiento y productividad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq). Agrocienza 48(3):285-294.
- Rivera, R., F. Fernández, K. Fernández, L. Ruiz, C. Sánchez and M. Riera. 2007. Advances in the management of effective arbuscular mycorrhizal symbiosis in tropical ecosystems. p. 151-196. *In: Hamel, C. and C. Plenchette (eds.). Mycorrhizae in crop production. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.*
- Rizzardi, M. V. 2018. Efectos de la inoculación con hongos micorrízicos (*Glomus intraradices*) y bacterias BPCV (*Pseudomonas fluorescens*) sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en vivero y en cultivo bajo invernadero. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias. Esperanza, Santa Fe, Argentina. 62 p.
- Solís, G. S. R. 2010. Efecto de los hongos micorrizógenos arbusculares (*Glomus fasciculatum*) en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum*) variedades Alambra y Fortuna en la zona Urcuquí provincia de Imbabura. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo, Ecuador. 55 pp.
- Tituaña, T. F. J. 2013. Uso del hongo *Trichoderma asperellum* en plántulas de pimiento (*Capsicum annum*) y su efecto sobre la supervivencia y productividad en campo. Tesis de licenciatura. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias e Ingenierías. Quito, Ecuador. 52 p.



Toledo, C. B., G. Montero L. y A. Bazán D. 2020. Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (hma), en el rendimiento del Pimiento (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones protegidas. *Agrisost* 26(1):1-12.

Zhang, W. L., Z. X. Tian, N. Zhang and X. Q. Li. 1996. Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59(3):223-231.



DIAGNÓSTICO DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) EN COTAXTLA, VERACRUZ

Antonio Villegas Vilchis³⁷, Itzel Galaviz Villa^{37*}, Isabel Araceli Amaro Espejo³⁷ y Arturo García Saldaña³⁷

Resumen

En atención al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (ODS 12), para obtener una producción y consumo responsable, se debe de lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. De acuerdo con la FAO/WHO, a menos que los envases de plaguicidas se manejen correctamente, son considerados peligrosos para los seres humanos y el ecosistema. Esto, debido al riesgo de envenenamiento por plaguicidas a causa de su reutilización en el almacenamiento de agua o alimentos, y al abandono de envases vacíos en los campos agrícolas. El objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico de la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y el manejo de residuos peligrosos o envases vacíos de agroquímicos, en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) en el municipio de Cotaxtla, Veracruz. Se aplicó una encuesta semiestructurada validada por expertos. Se incluyeron 30 apartados con preguntas abiertas, semiestructuradas y estructuradas, estas últimas con escala tipo Likert. La validación se realizó con el programa estadístico SPSS (IBM SPSS Statistics versión 25, 2015), el nivel de confiabilidad de la encuesta se determinó a través del coeficiente alfa de Cronbach con un grado de correlación interna entre apartados de 0.93. Se identificó que durante el ciclo vegetativo del cultivo se aplican de nueve a doce veces 26 diferentes productos agroquímicos para la fertilización, control de arvenses, plagas y enfermedades. Esto genera una gran cantidad de residuos peligrosos (envases vacíos de agroquímicos), que generalmente se desechan *in situ* a la orilla de la parcela o de los ríos, por desconocimiento de los riesgos potenciales de éstos a la salud humana y al ecosistema. El glifosato es uno de los plaguicidas que actualmente se emplea para el control de arvenses en el municipio de Cotaxtla, Ver., el cual por sus

³⁷ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río. Laboratorio Multidisciplinario de Ciencias Ambientales, Laboratorio de Ecotecnologías. Autor de correspondencia: *itzelgalaviz@bdelrio.tecnm.mx



propiedades cancerígenas ha sido clasificado como peligroso para la salud de los seres vivos y del ecosistema.

Palabras clave: envases vacíos de agroquímicos, glifosato, riesgo para la salud humana, riesgo ecológico

Introducción

En septiembre de 2015 los estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas, entre ellos México, aprobaron la Agenda 2030, en la que se contemplan 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En atención al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (ODS 12), para obtener una producción y consumo responsable se debe de lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente (CEPAL, 2018). La papaya (*Carica papaya* L.) es la tercera fruta más consumida en el mundo, de ahí su importancia económica en el mercado internacional. La producción aproximada de 2001 a 2015 fue de 1'058,162 t/año, generada en más de 60 países, siendo los principales productores: India, Brasil, Indonesia, Nigeria y México (Madrigal y Boza, 2013; Valencia *et al.*, 2017).

En México, los estados de Oaxaca, Colima, Chiapas y Veracruz aportan el 72.8% de la producción nacional de papaya (SIAP, 2022), y Veracruz reportó más de 200,000 t proveniente de los municipios de Adalberto Tejeda, Cotaxtla, Ignacio de la Llave, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano, Medellín, Soledad de Doblado y Tlaxicoyan (Granados *et al.*, 2015). Actualmente, ocupa el cuarto lugar con una producción de 120,687 t.

El municipio de Cotaxtla se ubica en la región de Sotavento de Veracruz en el centro del Golfo de México; es una zona agrícola de importancia en el estado y se destaca por ser el principal productor de papaya. Este municipio aporta el 24% de la producción estatal; esto es 25,775 t y un valor de producción de \$4,310,001.79 USD.

El cultivo de papaya se considera atractivo para los agricultores por su rentabilidad en un periodo de tiempo corto, ya que, a partir de los seis meses posteriores a la siembra, inicia una producción continua que se mantiene hasta por siete meses (García, 2010).



Los productores de papaya del municipio de Cotaxtla emplean plaguicidas como paratión, methamidophos y oxamilo, que no tienen autorización para el manejo fitosanitario del cultivo. Además, desconocen las prácticas de manejo adecuadas que les permitan mejorar sus procesos de producción hacia un enfoque sustentable (Megchun *et al.*, 2016).

De acuerdo con la FAO/WHO (2008), a menos que los envases de plaguicidas se manejen correctamente, son considerados peligrosos para los seres humanos y para el medio ambiente. Esto, debido al riesgo de envenenamiento por plaguicidas a causa de su reutilización en el almacenamiento de agua/o alimentos, y al abandono de envases vacíos en el medioambiente, que genera contaminación por plaguicidas en el suelo y aguas subterráneas. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico de la aplicación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y el manejo de residuos peligrosos o envases vacíos de agroquímicos, en el cultivo de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente proyecto se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, localizado entre las coordenadas geográficas 18°44' y 18°59' de latitud norte y 96°11' y 96°32' de longitud oeste, a una altitud de 10 a 200 m. Cuenta con una superficie de 537.81 km², que corresponde al 0.91% del estado de Veracruz. La región se destaca por la orientación del uso de suelo a actividades del sector primario; más del 91.5% de su territorio se destina a actividades agropecuarias con un 100% de población rural. La encuesta se aplicó a 24 productores de papaya de 12 localidades del municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Encuesta

Se diseñó una encuesta semiestructurada para la recolección de información del manejo agronómico del cultivo de papaya, aplicación de BPA y manejo de los envases vacíos de agroquímicos o residuos peligrosos; ésta se aplicó a productores de papaya de diferentes localidades del municipio de Cotaxtla Veracruz, en diciembre de 2022. El objetivo de la encuesta fue identificar el manejo agronómico del cultivo de papaya en el municipio de Cotaxtla, Ver., el cuál inicia con la selección de la semilla y finaliza con la comercialización del producto. Se incluyeron 30 apartados con preguntas abiertas, semiestructuradas y estructuradas, estas últimas con escala tipo Likert. Se evaluaron variables a un



nivel de medición ordinal acorde al uso de suelo, BPA, uso y manejo de agroquímicos para el control de plagas, enfermedades y arvenses, variedades, semillas, duración y rotación del cultivo, tiempo de cosecha del monocultivo, tipo de riego, y principales problemáticas que enfrenta la producción y comercialización del producto.

Validez de la encuesta

La encuesta se validó por tres expertos reconocidos en el ámbito de la investigación, con conocimientos sobre el cultivo de papaya y BPA. La validación se realizó a través de la evaluación de cada apartado, considerando la coherencia, claridad, escala y relevancia de cada uno de éstos. Además, mediante una matriz de consistencia se evaluó la validez y concordancia a través el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC); en la valoración de cada apartado se seleccionaron aquellos con un CVC de 0.90 (Hernández, 2002).

Confiabilidad de la encuesta

Se empleó el programa SPSS (IBM SPSS Statistics versión 25, 2015) para determinar el nivel de confiabilidad de la encuesta, a través del coeficiente alfa de Cronbach, para determinar el grado de correlación interna entre apartados (Cronbach, 1951), obteniendo un resultado de 0.93. Una vez validado y establecido el nivel de confianza de la encuesta, se aplicó a los productores.

Análisis de datos

Los datos que se obtuvieron de la encuesta se analizaron con el software SPSS (IBM-SPSS 25.0), utilizado para el análisis estadístico y de datos.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, el 50% de los productores cuentan con más de 20 años de experiencia en el cultivo de papaya, destinando de 2 a 3 ha por productor. El 60% de los productores continúa trabajando este cultivo, y el resto, lo ha cambiado por el cultivo de limón persa, debido al alto costo de los productos agroquímicos, fertilizantes y semillas. El 80% de los productores cuentan con terreno propio, el 20% paga un costo de arrendamiento que fluctúa entre 8,000 a 10,000 pesos por ciclo o siembra, el cual, en algunos casos, se divide entre dos o más productores. Se reportan diez variedades de papaya, siendo la variedad Maribel la que más se utiliza por sus características y nivel de producción (Figura 1).

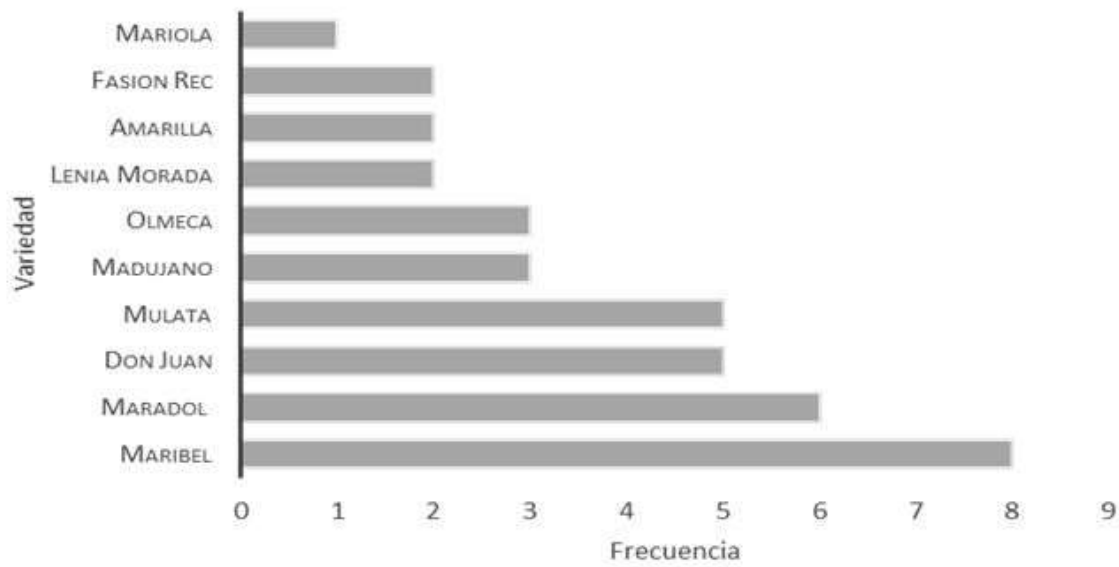


Figura 1. Frecuencia con la que se siembran las variedades de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

El 63.64% de los productores utiliza semilla de segunda (Figura 2), es decir, recolectan los mejores ejemplares de otras siembras y extraen las semillas para establecer sus almácigos. El 31.82% de los productores emplea semilla certificada, y el 4.5% adquiere la plántula para sembrar en campo. Respecto al manejo agronómico se observó que, a los 30 días de la germinación se siembran las plántulas, para completar un ciclo vegetativo de seis meses; posteriormente inicia la cosecha, la cual tiene una duración de cuatro meses. Durante este proceso los productores aplican de nueve a 12 veces, 26 productos agroquímicos diferentes, 10 para la fertilización, 11 para el control de plagas y enfermedades y cinco para el control de arvenses, comúnmente llamadas malezas (Cuadro 1).

Los productores aplican agroquímicos para proteger el cultivo de plagas y enfermedades, sin considerar la toxicidad del producto y sus efectos en el medio ambiente, lo cual repercute en la calidad del aire, agua y suelo del agroecosistema (Castillo *et al.*, 2020). Se puede observar el uso de paraquat y glifosato para el control de arvenses, ambos considerados peligrosos y altamente tóxicos (Cuadro 1); este último se clasifica como peligroso de acuerdo con su concentración; esto es, a mayor concentración, mayor peligro para la salud de los seres vivos y del ecosistema (COFEPRIS, 2023). Es importante señalar que el Gobierno de México prohibió el uso y distribución del glifosato (DOF, 2023).

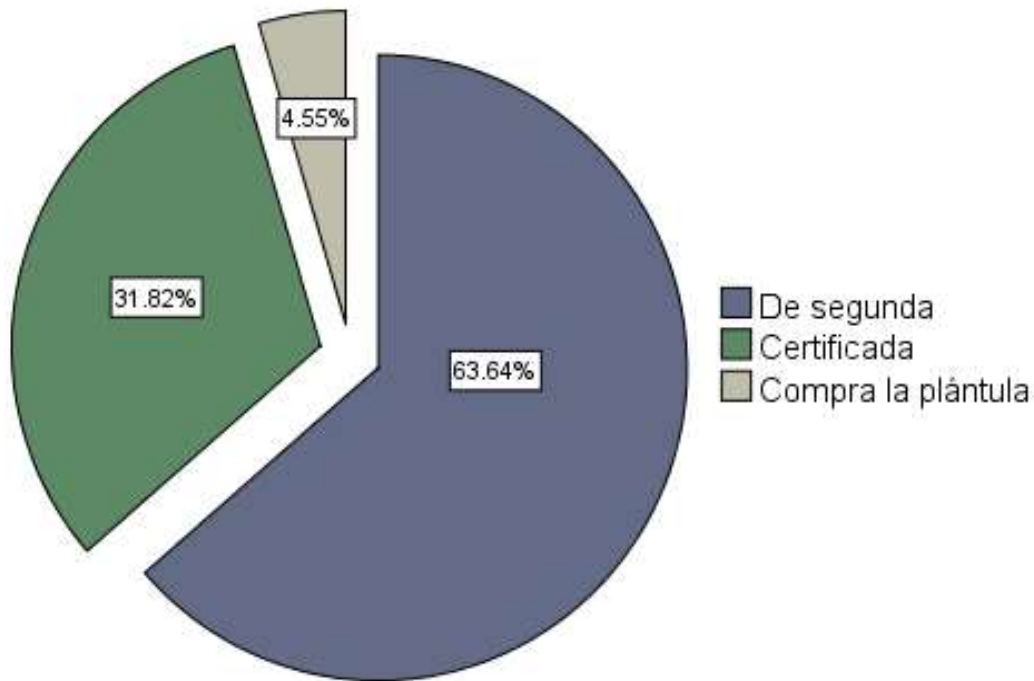


Figura 2. Tipo de semilla que se utiliza en la siembra de papaya en el municipio de Cotaxtla, Ver.

Cuadro 1. Agroquímicos que se emplean en la fertilización, control de plagas, enfermedades y arvenses en el cultivo de papaya, en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Fertilizantes	Plaguicidas			
	Control de plagas y enfermedades		Control de arvenses	
	Nombre comercial	Ingrediente activo	Nombre comercial	Ingrediente activo
Fosfato diamónico (DAP)	Confidor	Imidacloprid	Faena	Glifosato
Coplex	Sportak	Procloraz	Gramoxone	Paraquat
Ultra Sop Potasio (K)	Amistar	Azoxistrobin	Tarang	Glufosinato de amonio
Urea	Muralla Max	Imidacloprid y betacyfluthrin	Finale Ultra	Glufosinato de amonio
Sulfato	Abamectina	Abamectina	Glufin	Glufosinato de amonio



Fertilizantes	Plaguicidas			
	Control de plagas y enfermedades		Control de arvenses	
	Nombre comercial	Ingrediente activo	Nombre comercial	Ingrediente activo
Gro Green	Manzate	Mancozeb		
Nitrabor	Nealta	Ciflumetofen		
Supermagro	Kasumin	Kasugamicina		
Nitrofoska	Redomil Gold	Metalaxil		
Triple 17	Imidacloprid	Imidacloprid		
	Tamaron	Clorpirifos		

Se observó una disposición inadecuada de los envases vacíos de agroquímicos, los cuales se desechan *in situ* en los límites de la parcela, lo que de acuerdo con Sánchez (2021), afecta principalmente al suelo y la salud humana. Uribe *et al.* (2012), recomiendan capacitar tanto a los trabajadores como a sus familias sobre los posibles efectos que puede desencadenar la exposición a plaguicidas, así como sobre las prácticas de manejo seguro de estas sustancias.

El total de los productores utiliza agua de pozo para el riego. No reportan análisis de agua o suelo previos a la siembra. Los principales problemas que afectan la producción de papaya son: el alto costo de los agroquímicos empleados para el control de plagas, enfermedades y arvenses, y la disposición inadecuada de los envases vacíos de agroquímicos o residuos peligrosos.

El 80% de los productores no conoce las BPA, mientras que el resto utiliza abonos orgánicos, la asociación de cultivos y lombricomposta (Figura 3).

Esto coincide con lo reportado por Caamal (2022), quien menciona que el 100% de los productores de piña en una comunidad del estado de Quintana Roo, desconoce las BPA y sus implicaciones. Reasco y Castillo (2019), mencionan que las BPA son normas y recomendaciones técnicas aplicadas a los métodos de producción, procesamiento y transporte de alimentos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente; éstas permiten proveer a los consumidores alimentos sanos, saludables y evitar enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).

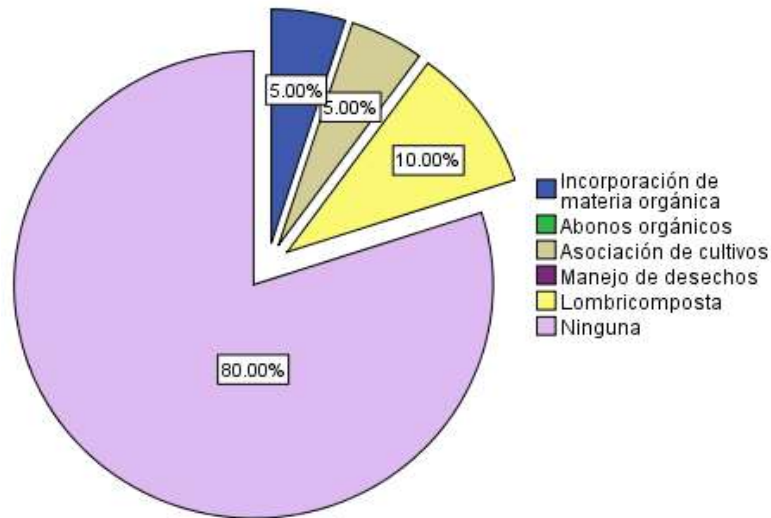


Figura 3. Aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas en el cultivo de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

Las BPA actualmente han adquirido importancia debido a las múltiples exigencias del mercado internacional por obtener productos con altos estándares de calidad e inocuidad para el consumidor (Castro, 2021). Además, son un factor competitivo en la calidad de los productos, lo que implica mejorar sus precios, accesos y consolidación en los mercados. Sin embargo, la producción del municipio de Cotaxtla es para consumo nacional, por lo cual no se exige el cumplimiento de los estándares de calidad.

Conclusiones

1. Uno de los principales problemas que afectan la producción de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, es el alto costo de los productos agroquímicos que se emplean para la fertilización y control de plagas, enfermedades y arvenses, por lo cual, se recomienda capacitar a los productores en la incorporación de las BPA en el uso eficiente de los compuestos agroquímicos. 2. Se observó la disposición incorrecta de los envases vacíos de agroquímicos o residuos sólidos contaminantes, los cuales se desechan *in situ* por desconocimiento de los riesgos potenciales de estos a la salud humana y al ecosistema. 3. Se constó que los productores de papaya aplican paraquat y glifosato; este último con importación, uso y distribución prohibida en México.



Agradecimientos

Al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por el financiamiento asignado al proyecto CP 0911 1338/2023.

Literatura Citada

Caamal, S. C. R. 2022. Las buenas prácticas agrícolas: estrategias de intervención para la gestión y mitigación de riesgos en el manejo de productos fitosanitarios por productores de piña, comunidad agrícola de Manuel Ávila Camacho, Bacalar, Quintana Roo. Tesis de maestría. Universidad de Autónoma del Estado de Quintana Roo. División de Humanidades y Lengua. Chetumal, Q. Roo, México. 195 p.

Castillo, B., J. O. Ruiz, M. A. Manrique y C. Pozo. 2020. Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete. Rev. Espacios 41(10):1-11.

Castro, P. A. T. 2021. Análisis de la implementación de las buenas prácticas agrícolas en las exportaciones ecuatorianas de frutas tropicales hacia el mercado europeo en el periodo 2017-2020. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Administrativas. Guayaquil, Ecuador. 109 p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2018. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Publicación de las Naciones Unidas LC/G.2681-P/Rev.3. Santiago de Chile. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40155-la-agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible-oportunidad-america-latina-caribe> [consultado el 27 de junio de 2023].



COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2023. Glifosato actualización 2020. <https://www.gob.mx/cofepris/articulos/glifosato-actualizacion-2020?idiom=es#:~:text=NOM%2D082%2DSAG%2DFITO%2FSSA1%2D2017> [consultado el 6 de julio de 2023].

Cronbach, L. J. 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 16:297-334.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2023. Decreto por el que se establecen diversas acciones en materia de glifosato y maíz genéticamente modificado. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5679405&fecha=13/02/2023#gsc.tab=0 [consultado el 6 de julio de 2023].

FAO/WHO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2008. Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas. Directrices sobre opciones de manejo de envases vacíos de plaguicidas. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/be7d7334-e4d3-4dec-acbc-79a058009e93/> [consultado el 3 de julio de 2023].

García, M. A. 2010. Guía técnica del cultivo de la papaya. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Programa MAG-CENTA-FRUTALES. <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/DOCUMENTOS%20WEB/0002534-ADDOCGG.pdf> [consultado el 30 de junio de 2023].

Granados, R. R., R. Salceda L. y M. P. Longar B. 2015. Situación actual y perspectivas tecnológicas para la papaya (*Carica papaya* L.) en el distrito de Veracruz, Veracruz. *REMEXCA* 6(4):749-761.

Hernández, N. R. A. 2002. Contribuciones al análisis estadístico. Facultad de Ciencias Jurídicas, Políticas y Criminológicas de la Universidad de Los Andes. Instituto de Estudios en Informática. Mérida, Venezuela. 29 p.



- Madrigal, F. D. y P. Boza M. 2013. La competitividad en las exportaciones de papaya de México: un análisis cuantitativo. *Rev. Anál. Econ. Comer. Neg. Inter.* 7:27-54.
- Megchun, G. J. V., D. A. Rodríguez L., M. R. Castañeda C., J. Murguía G., F. Lango R., O. R. Leyva O. *et al.* 2016. Manejo de los plaguicidas en el agroecosistema con papaya (*Carica papaya* L.) en Cotaxtla, Veracruz. p. 1-5. *In: Gallardo-López, F. (coord.). Memorias XXIX Reunión Científica y Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz 2016. II Reunión Internacional Científica y Tecnológica.* Tepetates, mpio. de Manlio Fabio Altamirano, Ver., México.
- Reascos, P. J. L. y F. Castillo C. 2019. Buenas prácticas agrícolas. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana.* <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/03/buenas-practicas-agricolas.html> [consultado el 7 de julio de 2023].
- Sánchez, C. M. A. 2021. Manejo de envases vacíos de agroquímicos y su impacto en la calidad ambiental de los sectores rurales del cantón Buena Fe, año 2020. Tesis de maestría. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Unidad de Posgrado. Quevedo, Ecuador. 84 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Panorama Agroalimentario. 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://drive.google.com/file/d/1jVWS4EFKK7HGwQOBpGeljUyaDT8X8Iyz/view> [consultado el 27 de junio de 2023].
- Uribe, M. V., A. Castro R., I. Paéz, N. Carvajal, E. Barbosa, M. León L. *et al.* 2012. Impacto en la salud y el medio ambiente por exposición a plaguicidas e implementación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de tomate, Colombia, 2011. *RChSP* 16(2):96-106.
- Valencia, S. K., D. Duana A. y T. J. Hernández G. 2017. Estudio del mercado de papaya mexicana: un análisis de su competitividad (2001-2015). *Suma de Negocios* 8(18):131-139. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.10.002> [consultado el 26 de junio de 2023].



COSCOMATEPEC, RAZA DE MAÍZ NATIVO MÁS IMPORTANTE PARA LA REGIÓN INTERMEDIA DEL ESTADO DE VERACRUZ

Mauro Sierra Macías^{38*}, Clara Ríos Isidro³⁸, Ana Isabel Marín Andrade³⁹, Pedro Díaz Reyes⁴⁰, Roberto Ojeda Castro⁴¹ y Juan Manuel Hernández Casillas⁴²

Resumen

El maíz nativo de la raza Coscomatepec, se siembra en la región intermedia del estado de Veracruz, en suelos de origen volcánico, con topografía accidentada y fuertes problemas de acidez. El clima de esa región es frío y con alta nubosidad durante la mayor parte del año, por lo que el ciclo de cultivo dura 10 meses; los productores se caracterizan por marginación alta. Con los objetivos de conocer la diversidad del maíz nativo en la región de Coscomatepec, durante 2022 y 2023 se inició el proceso de selección en planta con criterios de altura de mazorca baja, sanidad, vigor y carga de mazorca y a la cosecha, seleccionando mazorcas de buen tamaño, sanas, pero, sobre todo, mazorcas completas; este último criterio es una forma de seleccionar maíz nativo con tolerancia a los suelos ácidos. Se colectaron 22 muestras de maíz nativo en las comunidades de Zacatla y El Mirador. Se realizó la identificación racial; particularmente 15 muestras se identificaron como raza Coscomatepec, una como Celaya Negro y una como Mushito. También se identificaron mezclas de razas: dos de Mushito-Coscomatepec, dos de Coscomatepec-Mushito y una de Coscomatepec-Olotillo. La caracterización del grano y mazorca de las muestras se realizó de acuerdo con el formato de la hoja pasaporte y corresponden al promedio de 10 mazorcas en cada una de las variables registradas. Se encontró variación en el peso promedio por mazorca de 158 a 255 g, la forma de la mazorca en todos los casos fue cónico cilíndrica, el número de hileras por mazorca varió de 12 a 14 en 18 de las muestras caracterizadas y de 10 a 12 hileras por mazorca en las muestras 2, 8, 13 y 20. El número de granos por hilera varió desde 34 en la muestra 6 hasta 46 y 48 para las muestras 12 y 9, respectivamente, mismas que corresponden a las muestras con

³⁸ Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

*Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx y mauro_s55@hotmail.com

³⁹ Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

⁴⁰ CADER Huatusco, Distrito de Desarrollo Rural de Orizaba, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

⁴¹ Municipio de Coscomatepec, Veracruz.

⁴² Recursos Genéticos Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.



mayor longitud de la mazorca. Catorce muestras tuvieron grano blanco cremoso, seis color azul, una azul con blanco y una amarillo.

Palabras clave: Diversidad, razas, *Zea mays* L., caracterización

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada, valor de la producción y ocupar el 20% de la población económicamente activa. El uso principal es en la alimentación humana con un consumo *per cápita* aparente de 209.8 kg (Morris y López, 2000). La superficie nacional en los últimos años es de alrededor de 8.2 millones de hectáreas, con una producción de 18 millones de toneladas de grano, de las cuales, 12.3 millones de toneladas se utilizan para el consumo humano; de éstas, el 36% a través de la industria harinera y 64% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización (Betanzos *et al.*, 2003; SAGARPA, 2012).

El maíz tiene múltiples usos como grano, forraje y en la industria; sin embargo, el más importante es el consumo directo en la alimentación humana, es decir, forma parte de la dieta de todos los mexicanos a través del consumo de tortillas, huchepos, corundas, atoles, totopos, tlayudas y pozole, entre otros. El proceso de nixtamalización es un invento de las mexicanas y a través de este proceso, las mexicanas han creado múltiples platillos y formas para el consumo directo. Se considera a Mesoamérica uno de los centros con mayor diversidad primaria de maíz, siendo México donde se presenta la mayor diversidad genética en tipos y razas de maíz en el mundo. Específicamente la Cuenca del Balsas es la región con mayor consenso y evidencias para considerarse el principal centro de origen y ha tenido un papel importante en el desarrollo de las razas modernas y altamente productivas de América (Hernández, 1971; Kato *et al.*, 2009). Existen diversos trabajos sobre identificación y descripción de las razas de maíz en México; así Wellhausen *et al.* (1951) describieron 25 y siete quedaron sin definir; Hernández y Alanís (1970) agregaron cinco razas más; Ortega (1991) identificó 41 razas y Sánchez *et al.* (2000), agruparon 59 razas en total. Los maíces nativos en poder de los agricultores continúan evolucionando, mejorando su rendimiento y características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales (Herrera *et al.*, 2002; Ortega, 2003;



Sierra *et al.*, 2013; Andrés *et al.*, 2014). Los maíces criollos se han utilizado en el mejoramiento a través de la introgresión genética, con germoplasma mejorado mediante el método de retrocruza limitada, usando fuentes cuantitativas para bajar la altura de planta y mazorca, y a través de la integración de compuestos germoplásmicos de amplia base genética, como fuente para la derivación de líneas (Reyes, 1971; Reyes, 2000; Sierra *et al.*, 2008; Sierra *et al.*, 2013).

Particularmente, se han definido 59 razas, con base en sus usos, pero también en su adaptación, desde el nivel del mar hasta los 4,000 m de altitud, tolerancia a factores bióticos (enfermedades, plagas, etc.) y abióticos (sequía, suelos ácidos y con contenido de nutrientes bajo, temperaturas bajas). En el trópico, la raza Tuxpeño ha sido base en el mejoramiento genético. En el Istmo de Tehuantepec, las razas Zapalote chico y Zapalote grande, maíces precoces con tolerancia a la sequía y vientos fuertes, con las que se elaboran los totopos. La raza Bolita que se cultiva en los Valles Centrales de Oaxaca, con tolerancia a la sequía y de la que se elaboran las tlayudas. El maíz Cacahuazintle, apto para el pozole, los atoles y los elotes y Arrocillo amarillo, en altitudes mayores de 2,500 m.

En el estado de Veracruz, se sembraron durante 2021, 558,850 hectáreas de maíz con una producción de 1,285,497.17 toneladas y un rendimiento medio de 2.30 t/ha. Ese año, en el municipio de Coscomatepec, se sembraron 3,382 hectáreas con maíz con una producción de 8184.44 toneladas y un rendimiento medio de 2.42 t/ha (SIAP, 2021); Para la región intermedia del estado de Veracruz, que se caracteriza por altitudes que van generalmente desde 1,500 a los 2,000 m y se considera como la región de las altas montañas con condiciones de frío y de nubosidad alta, la raza de maíz nativo más importante y más frecuente es la Coscomatepec (Sierra *et al.*, 2016) (Figura 1).



Figura 1. Siembra del maíz nativo en Coscomatepec, Ver., en suelos con pendientes pronunciadas.



En esta región sólo se siembra un ciclo de siembra al año, el cual inicia durante el mes de marzo y termina con la cosecha en los meses de noviembre diciembre: la producción se utiliza principalmente para el autoconsumo. Esta raza presenta variación en color de grano, siendo las coloraciones más frecuentes: blanco, crema, amarillo, negro y pinto. De acuerdo a los productores de las comunidades de Zacatla y El Mirador, áreas marginales en donde se cultiva el maíz, el rendimiento es de 1.28 t/ha. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1. Mejorar las capacidades de producción y conservación de maíces nativos en las comunidades de El Mirador y Zacatla, en el municipio de Coscomatepec, Veracruz, mediante acciones de innovación, desarrollo de capacidades y aumento en la productividad, y 2. Desarrollar un modelo de producción y conservación del maíz nativo en esas comunidades, a través del envío de muestras al Banco de Germoplasma del INIFAP, en el Campo Experimental Valle de México y el establecimiento y consolidación de bancos comunitarios de germoplasma e intercambio de semilla.

Materiales y Métodos

Localización. El maíz nativo de la raza Coscomatepec, se distribuye principalmente en las comunidades del municipio de Coscomatepec, Veracruz y municipios aledaños en la región intermedia del estado de Veracruz. Particularmente esta raza se siembra en suelos de origen volcánico, con topografía accidentada, pendientes pronunciadas y problemas fuertes de acidez. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García, 2004), el clima es (A)Cam es frío y con alta nubosidad durante la mayor parte del año, por lo que el ciclo de cultivo dura 10 meses, es decir, se siembra un solo ciclo de siembra al año (Sierra *et al.*, 2013). Durante los años de 2022 y 2023, el Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla, La Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural y el municipio de Coscomatepec, Ver., participaron del proyecto estratégico: Desarrollo territorial en pueblos indígenas que custodian maíces nativos en México para el territorio de Coscomatepec, Veracruz.

Descripción de actividades. Este proyecto considera actividades de capacitación y transferencia de tecnología a través de cursos, eventos demostrativos y recorridos técnicos, cubriendo temas de utilidad para los productores, como: selección de semilla en planta y en mazorca, colecta, identificación racial y caracterización de las muestras en mazorca y grano, de acuerdo con el formato sugerido en la hoja



pasaporte, y tecnologías sustentables para la elaboración de abonos orgánicos, bioles, bocashi y aplicaciones de cal agrícola para corregir la acidez de los suelos. Se realizaron análisis de suelos en muestras que proporcionaron los productores, para conocer el contenido nutricional y el grado de acidez; en general se encontraron suelos pobres en nitrógeno, fósforo y potasio y con valores de pH entre 5 y 5.5.

Selección de maíz nativo. Durante 2022 se seleccionaron plantas con competencia completa con criterios de altura de mazorca baja, sanidad, vigor y carga de mazorca; a la cosecha se seleccionaron mazorcas de buen tamaño, sanas, pero, sobre todo, mazorcas completas; este último criterio es una forma de seleccionar maíz nativo con tolerancia a los suelos ácidos. Actualmente se tienen establecidos lotes de producción de semilla de este maíz nativo blanco, negro y amarillo, con la participación de los productores. En la selección se aprovecha la porción aditiva de la varianza genética presente y significa que se pueden acumular características deseables o genes favorables (Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 2019) y se requiere, además, semilla con buena calidad genética, fisiológica, física y sanitaria (Espinosa *et al.*, 2003a; Espinosa *et al.*, 2003b; Tadeo y Espinosa, 2003; Tadeo y Espinosa, 2004; Sierra *et al.*, 2016).

Colecta de maíz nativo. Durante el mes de marzo de 2023, los productores de las comunidades de Zacatla y El Mirador del municipio de Coscomatepec, nos compartieron muestras de su maíz nativo; se realizó la identificación racial de las muestras y se enviaron al Banco de Germoplasma del INIFAP en el Campo Experimental Valle de México, localizado en Coatlinchán, mpio. de Texcoco, Edo. de Méx. para su conservación. Se tomaron fotos, las cuales se enviaron al Dr. Juan Manuel Hernández Casillas, investigador en Recursos Genéticos del INIFAP, quien realizó la identificación racial de las muestras, mismas que se validaron al momento de recibir físicamente las muestras. Se registró información en las hojas pasaporte, se realizó la caracterización de las muestras en mazorca y grano de acuerdo con el formato sugerido en la hoja pasaporte y se obtuvieron los datos promedio de 10 mazorcas de cada muestra.

Variables y registro de datos. Se registraron las siguientes variables: peso de mazorca en kg, forma de la mazorca, número de hileras por mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca en cm, longitud de mazorca en cm, longitud del olote en cm, color del olote, color de grano, textura de grano, ancho de grano en mm, longitud de grano en mm, grosor de grano en mm, ancho/longitud, grosor/ancho, volumen de 10 granos en mL, peso de 100 granos en g.



Resultados y Discusión

En esta región se siembra un solo ciclo de siembra al año con maíces nativos de las razas Coscomatepec, Celaya y Mushito y mezclas de razas, de las cuales la raza Coscomatepec es la más importante. Los maíces nativos inician su establecimiento en el mes de marzo y se cosechan en el mes de noviembre y diciembre y se utilizan principalmente para el autoconsumo.

Identificación racial. Las 22 muestras colectadas y registradas en las hojas pasaporte se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Identificación racial del maíz nativo en la región de Coscomatepec, Veracruz. 2023.

Muestra	Productor	Lugar de colecta	Raza	Coordenadas (Latitud, longitud, altitud)
1	Fidelia Juárez Rosas	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'22''N 97°08'13''W 2155 m
2	Josefina Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'14''N 97°07'39''W 2017 m
3	Imelda Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'29''N 97°08'26''W 2197 m
4	Fidelia Juárez de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'19''N 97°08'05''W 2120 m
5	Ernesto Villa Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'13''N 97°06'58''W 1973 m
6	Elvira Alvarado Lino	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Celaya Negrito	19°00'09''N 97°07'37''W 2070 m
7	Zita Ojeda Hernández	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'08''N 97°06'32''W 1934 m
8	Quirino Dionisio Hernández Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'05''N 97°07'23''W 2049 m
9	Fernando Juárez Ojeda	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Olotillo	19°59'46''N 97°06'11''W 1839 m
10	Guillermo Juárez Ojeda	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°59'46''N 97°06'11''W 1839 m
11	Reynalda Montalvo de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'09''N 97°07'55''W 2126 m
12	Rosalía Juárez Gómez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'09''N 97°07'44''W 2098 m
13	Florentina Villa Montalvo	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'08''N 97°06'32''W 1934 m
14	José Albino Hernández Flores	Mirador, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°04'40''N 96°06'15''W 2070 m
15	José Albino Hernández Flores	Mirador, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°04'40''N 96°06'15''W 2070 m
16	Emilio Montalvo de Jesús	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Mushito	19°00'22''N 97°08'13''W 2155 m
17	Jorge Vázquez Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec Mushito	19°00'10''N 97°08'00''W 2141 m
18	Julia Bernardita Flores Vásquez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'17''N 97°08'01''W 2119 m
19	Acelina Vázquez Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Mushito Coscomatepec	19°00'07''N 97°07'53''W 2100 m

Muestra	Productor	Lugar de colecta	Raza	Coordenadas (Latitud, longitud, altitud)
20	Camelia Martínez Pérez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'15''N 97°07'23''W 2042 m
21	Juana Villa Román	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Mushito Coscomatepec	19°63'61''N 97°16'76''W 2120 m
22	Elvira de Jesús Juárez	Zacatla, Coscomatepec, Ver.	Coscomatepec	19°00'22''N 97°08'13''W 1874 m

Las muestras 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 21 y 22 se enviaron al banco de germoplasma. Se identificaron quince muestras de la raza Coscomatepec, una de Celaya Negroito, una de Mushito, dos de Mushito-Coscomatepec, dos de Coscomatepec-Mushito y una de Coscomatepec-Olotillo (Figuras 2 a 5).



Figuras 2 a 5. Fotografías de muestras de maíz en el Territorio de Coscomatepec, Veracruz. 2023

Caracterización en grano y mazorca. Se encontró variación en el peso promedio por mazorca de 158 a 255 g; en todos los casos, la forma de la mazorca fue cónico-cilíndrica, el número de hileras por mazorca varió de 12 a 14 en 18 de las muestras y de 10 a 12 hileras por mazorca en las muestras 2, 8, 13 y 20; el número de granos por hilera varió desde 34 en la muestra 6 hasta 46 y 48 en las muestras 12 y 9, respectivamente, mismas que corresponden a las muestras con mayor longitud de la mazorca. Catorce muestras presentaron grano blanco cremoso, seis son de color azul, una azul con blanco y una amarillo (Cuadro 2).



Cuadro 2. Características de grano y mazorca del maíz nativo Coscomatepec, Veracruz. 2023.

Muestra	Peso de mazorca (kg)	Forma de mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Diámetro de mazorca (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de olote (cm)	Longitud de olote (cm)
1	0.191	Cónico Cilíndrica	12 (80%), 10 (10%), 14 (10%)	38.300	4.210	18.250	1.697	18.517
2	0.187	Cónico Cilíndrica	10 (50%), 12 (40%), 14 (10%)	42.000	4.018	18.515	2.010	18.333
3	0.240	Cónico Cilíndrica	12 (30%), 14 (40%), 10 (10%), 16 (10%), 18 (10%)	35.400	4.350	16.030	2.200	15.667
4	0.240	Cónico Cilíndrica	14 (60%), 12 (30%), 16 (10%)	38.800	4.630	18.000	2.100	18.167
5	0.170	Cónico Cilíndrica	12 (40%), 14 (40%), 10 (10%), 16 (10%)	36.200	4.310	17.350	2.133	18.500
6	0.158	Cónico Cilíndrica	12 (40%), 14 (30%), 16 (30%), 12 (10%)	36.000	4.380	17.190	2.233	17.047
7	0.201	Cónico Cilíndrica	12 (60%), 14 (20%), 10 (10%), 16 (10%)	40.800	4.480	17.780	2.020	19.850
8	0.211	Cónico Cilíndrica	10 (50%), 12 (50%)	43.200	4.046	20.010	2.030	21.040
9	0.219	Cónico Cilíndrica	12 (50%), 14 (50%)	47.500	4.280	19.400	2.000	20.500
10	0.229	Cónico Cilíndrica	12 (60%), 14 (30%), 10 (10%)	39.200	4.610	18.570	2.400	19.700
11	0.189	Cónico Cilíndrica	14 (40%), 16 (30%), 12 (20%), 10 (10%)	42.800	4.220	19.200	1.933	19.333
12	0.240	Cónico Cilíndrica	14 (40%), 12 (40%), 10 (10%) 16 (10%)	45.800	4.400	20.950	2.067	21.833
13	0.213	Cónico Cilíndrica	12 (80%), 8 (20%)	39.200	4.480	18.450	2.000	17.167
14	0.249	Cónico Cilíndrica	14 (70%), 12 (30%)	43.200	4.620	19.950	2.267	21.000
15	0.222	Cónico Cilíndrica	12 (70%), 16 (20%), 14 (10%)	39.500	4.610	18.500	2.020	19.333
16	0.242	Cónico Cilíndrica	14 (60%), 16 (20%), 12 (20%)	43.100	4.690	19.700	2.333	20.333
17	0.223	Cónico Cilíndrica	14 (70%), 12 (20%), 16 (10%)	37.400	4.670	18.270	2.300	16.833
18	0.184	Cónico Cilíndrica	12 (50%), 14 (40%), 16 (10%)	35.700	4.380	17.050	2.283	17.183
19	0.182	Cónico Cilíndrica	14 (50%), 12 (40%), 10 (10%)	35.100	4.026	16.617	1.703	17.033
20	0.172	Cónico Cilíndrica	10 (50%), 12 (30%), 16 (10%), 8 (10%)	40.300	4.170	17.650	1.833	16.677
21	0.177	Cónico Cilíndrica	12 (70%), 14 (20%), 10 (10%)	38.600	4.200	18.250	2.033	19.000
22	0.255	Cónico Cilíndrica	12 (50%) 14 (40%), 16 (10%)	41.400	4.718	21.041	2.347	20.000

Continúa Cuadro 2...

Muestra	Color de olote	Color de mazorca	Textura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Grosor (mm)	Ancho/Longitud	Grosor/Ancho	Volumen de 10 granos (mL)	Peso de 100 granos (g)
1	Blanco	Blanco	Dentada	9.00	15.33	0.43	0.59	0.05	2.50	0.40
2	Blanco	Blanco	Dentada	10.00	13.33	0.40	0.75	0.04	3.17	0.43
3	Blanco	Azul oscuro	Dentada	8.33	14.00	0.40	0.59	0.05	2.50	0.30
4	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.67	15.67	0.43	0.55	0.05	2.83	0.40
5	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.67	12.43	0.40	0.71	0.05	2.83	0.33



Muestra	Color de olote	Color de mazorca	Textura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Grosor (mm)	Ancho/Longitud	Grosor/Ancho	Volumen de 10 granos (mL)	Peso de 100 granos (g)
6	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.33	14.33	0.43	0.59	0.05	2.77	0.27
7	Blanco	Blanco crema	Dentada	9.00	13.00	0.50	0.69	0.06	3.17	0.42
8	Blanco	Blanco crema	Dentada	9.33	13.33	0.43	0.70	0.05	2.83	0.04
9	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.67	14.67	0.40	0.59	0.05	2.83	0.43
10	Blanco	Blanco crema	Dentada	9.67	14.67	0.47	0.66	0.05	4.17	0.47
11	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.00	14.00	0.40	0.57	0.05	2.83	0.37
12	Blanco	Blanco crema	Dentada	9.33	14.67	0.50	0.64	0.05	2.57	0.42
13	Blanco	Blanco crema	Dentada	9.00	15.67	0.40	0.58	0.04	5.00	0.43
14	Blanco	Azul	Dentada	9.67	14.33	0.43	0.68	0.04	3.33	0.42
15	Blanco	Azul	Dentada	9.00	15.67	0.43	0.58	0.05	3.33	0.40
16	Blanco	Azul	Dentada	9.0	15.70	0.40	0.58	0.05	3.50	0.42
17	Blanco	Azul	Dentada	8.33	14.33	0.43	0.58	0.05	3.33	0.43
18	Blanco	Azul	Dentada	9.00	14.67	0.43	0.62	0.05	2.50	0.38
19	Blanco	Amarillo claro	Dentada	9.00	14.67	0.43	0.61	0.05	3.33	0.42
20	Blanco	Azul blanco	Dentada	9.67	14.00	0.40	0.69	0.04	3.33	0.43
21	Blanco	Blanco crema	Dentada	8.67	13.67	0.43	0.64	0.05	4.50	0.35
22	Blanco	Blanco crema	Dentada	10.0	14.30	0.53	0.70	0.05	4.33	0.45

El día 14 de enero de 2023 en la comunidad de Zacatla, Coscomatepec, Veracruz se realizó una evaluación sobre “Rendimiento de maíz, de nixtamal, de masa y de tortilla de maíz nativo en la región de Coscomatepec, Veracruz”. Para lo anterior, se pesaron 2.176 kg de grano de maíz, de los cuales se obtuvieron 3.743 kg de nixtamal, 4.477 kg de masa y 3.386 kg de tortilla; lo anterior equivale a que por cada kg de grano se obtienen 1.72 kg de nixtamal, 2.07 kg de masa y 1.556 kg de tortillas. En este evento se contó con la asistencia de 36 participantes, de los cuales 34 son productores y dos técnicos, de éstos 20 son mujeres y 16 hombres (Figuras 6, 7, 8 y 9).



Figuras 6, 7, 8 y 9. Rendimiento de maíz, masa y tortilla del maíz nativo.

Selección de semilla de maíz nativo en la comunidad de Zacatla, Coscomatepec, Veracruz. Se practicó el método de selección masal, en el cual se aprovecha la porción aditiva de la varianza genética presente en las poblaciones de maíz y consiste en acumular genes favorables o características favorables, que van a formar parte de la semilla para el siguiente ciclo de selección (Sierra *et al.*, 2019). La respuesta a la selección con este método sugiere que debe haber variabilidad en la población de maíz para las características que se desea mejorar y se realiza seleccionando plantas con competencia completa. La selección se realizó en tres lotes de producción maíz nativo, uno de maíz blanco, otro de maíz amarillo y otro en maíz negro, maíces que generalmente se siembran en la región y pertenecen a la raza Coscomatepec. En la comunidad de Zacatla, Coscomatepec, Veracruz, con las coordenadas 19.63618 LN y -97.16718 LW la selección de semilla de maíz nativo en la región de Coscomatepec, Veracruz se realizó en dos oportunidades: En planta en la etapa de elote, seleccionando y marcando plantas sanas, con altura de mazorca baja con la intención de seleccionar plantas con menor riesgo de acame, con buen vigor y con buena carga; esta práctica se realizó el día 6 de octubre de 2022 y se contó

con la participación de 27 asistentes registrados, de los cuales, 23 son productores y cuatro, técnicos; 13 son mujeres y 14 son hombres (Figuras 10, 11 y 12).

La cosecha se realizó el 29 de noviembre de 2022; se seleccionaron aquellas mazorcas completas y sanas, indicando una tolerancia relativa a la acidez de los suelos, problema generalizado en esa región; participaron en esta práctica 51 personas, de las cuales, 43 son productores y ocho técnicos del sector agropecuario. La semilla cosechada y seleccionada se utilizará para la siembra para el ciclo siguiente (Figuras 13, 14 y 15).



Figuras 13, 14 y 15. Selección del maíz nativo al momento de la cosecha.



Conclusiones

Se colectaron 22 muestras de maíces nativos en la región de Coscomatepec, Ver. Quince pertenecen a la raza Coscomatepec, una a Celaya Negro, una a Mushito, dos a Mushito Coscomatepec, dos a Coscomatepec Mushito y una a Coscomatepec Olotillo.

El peso promedio por mazorca de maíz nativo, fue de 158 a 255 g; su forma de mazorca es cónica cilíndrica, con 12 a 14, hileras, con 34 a 48 granos por hilera; 14 muestras tuvieron color de grano blanco cremoso, seis, azul, una, azul con blanco y una, amarillo.

Se capacitó a los productores y técnicos del sector agropecuario sobre la práctica de selección de maíz nativo en planta y en mazorca.

Las muestras de maíz se enviaron al Banco de Germoplasma del INIFAP para su conservación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural por el financiamiento de esta actividad a través del Proyecto Estratégico: “Desarrollo territorial en pueblos indígenas que custodian maíces nativos en México” Territorio Coscomatepec, Veracruz.

Literatura Citada

Andrés, M. P., M. Sierra M., A. Espinosa C., N. Gómez M., A. Palafox C., F. A. Rodríguez M. *et al.* 2014. Hoja de maíz (*Zea mays* L.), importante actividad en la zona norte del estado de Veracruz, México. *Revista Agroproductividad* 7(1):32-38.

Betanzos, M. E., N. Gómez M., A. Ortega C., A. Peña R., R. E. Preciado O., J. L. Ramírez D. *et al.* 2003. Propuesta de reorganización del Programa Nacional de Mejoramiento Genético de Maíz del INIFAP. Documento de trabajo. INIFAP. 66 p.



- Espinosa, C. A., M. A. López P., N. O. Gómez M., E. Betanzos M., M. Sierra M., B. Coutiño E. *et al.* 2003a. Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM ó MCP) en México. *Agron. Mesoam.* 14(1):105-106
- Espinosa, C. A., M. Sierra M. y N. O. Gómez M. 2003b. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agron. Mesoam.* 14(1):117-121.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D. F. 293 p.
- Hernández, X. E. 1971. Exploración etnobotánica y su metodología. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Edo. de Méx., México. 43 p.
- Hernández, X. E. y G. Alanís F. 1970. Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia* 5:3-30.
- Herrera, C. B. E., A. Macias L., R. Díaz R., M. Valadez R. y A. Delgado A. 2002. Uso de semilla criolla y caracteres de mazorca para la selección de semilla de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25:17-23.
- Kato, Y. T. A., C. Mapes S., L.M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D. F. 116 p.
- Morris, M. L. y M. A. López P. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D. F. 45 p.
- Ortega, P. R. 2003. La diversidad de maíz en México. p. 123-154. *In:* Esteva, G. y C. Marielle (coords.) Sin maíz no hay país. CONACULTA. México, D. F.



- Ortega, P. R. A., J. J. Sánchez G., F. Castillo G. y J. M. Hernández C. 1991. Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México. p. 161-185. *In*: Ortega, P. R. A., G. Palomino H., F. Castillo G., V. A. González H. y M. Livera M. (eds.). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. SOMEFI. Chapingo, Edo. de Méx., México.
- Reyes, C. P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. ITESM. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Monterrey, N.L., México. 138 p.
- Reyes, C. P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor. México, D.F. 460 p.
- Reyes, C. P. 2000. Cincuenta años de investigación agrícola de maíz para tierra caliente en México. *Agric. Téc. Méx.* 26(1):49-62.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> [consultado el 6 de noviembre de 2014).
- Sánchez, G. J. J., M. M. Goodman and C.W. Stuber. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of México. *Econ. Bot.* 54(1):43-59.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 8 de enero de 2022].
- Sierra, M. M., A. Palafox C., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., N. Gómez M., F. Caballero H. *et al.* 2008. H-520. Híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 34(1):119-122.



- Sierra, M. M., F. A. Rodríguez M., N. Gómez M., A. Espinosa C., F. J. Ugalde A. y P. Andrés M. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. p. 482-499. *In:* Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP. CP. UACH. INAPESCA. UV. TECN. Medellín, Ver., México.
- Sierra, M. M., I. Meneses M., A. Palafox C., N. Francisco N., A. Zambada M., M. Uribe B. *et al.* 2013. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco. p. 51-62. *In:* Mendoza, P. J. D., E. de la Cruz L., E. Martínez M., R. Osorio O y M. A. Estrada B. (eds.). Tópicos selectos en agronomía tropical Vol. 2. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tab., México.
- Sierra, M. M., P. Andrés M., A. Palafox C. e I. Meneses M. 2016. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en el estado de Puebla, México. *Rev. Cie. Nat. Agrop.* 3(9):12-21.
- Tadeo, R. M. y A. Espinosa C. 2003. Microempresas de semillas con híbridos “Pumas de maíz” alternativa para abastecimiento en México. *Revista FESC UNAM. Divulgación Científica Multidisciplinaria* 3(8):5-10.
- Tadeo, R. M. y A. Espinosa C. 2004. Producción de semilla y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Revista FESC UNAM. Divulgación Científica Multidisciplinaria* 4(14):5-10.
- Wellhausen, E., L. M. Roberts, E. Hernández X. y P. C. Mangelsdorf. 1951. Razas de maíz en México: su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Oficina de Estudios Especiales. México, D. F. 237 p.



TIPOS DE FERTILIZACIÓN EN MAÍZ NATIVO (*Zea mays* L.) X-MEJEN NAL, BAJO RIEGO POR GOTEO

Alfredo Lino Brito^{43*}, Maribel Apolinar Aguilar⁴⁴ y José Antonio Bolón López^{43†}

Resumen

El objetivo de la investigación, fue determinar alternativas sustentables de fertilización químico-orgánica en un material nativo de maíz, grupo X-Mején Nal, con aumento del 50% de la densidad de siembra a la tradicional forma de siembra del cultivo, 25,000 plantas/ha, además de riego por goteo. El trabajo de investigación se realizó en áreas de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, ubicada en el municipio de Calkiní, estado de Campeche. Se evaluaron siete tratamientos: 1. Sin fertilización, 2. Fertilización mineral (FM) 100% (66-27-57 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O), 3. 3 kg/m² de estiércol vacuno seco y descompuesto (MO), 4. FM 75% + 3 kg/m² de MO, 5. FM 50% + 3 kg/m² de MO, 6. 100% de N (urea 46-00-00) y 7. 16% de N y 100% de P₂O₅ (DAP 18-46-00), con aplicaciones del foliar Bayfolan[®] Forte en todos los tratamientos. Se sembró en charolas de 200 cavidades y se trasplantó a los 22 días de la emergencia de las semillas (dde), fertilizándose a los 29 dde para las fertilizaciones minerales. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo éstas de 20 m², con un marco de siembra de 1.0 x 0.20 m, para una densidad de siembra de 50,000 plantas/ha. Las características del fruto: mazorca y grano, presentaron los menores valores cuando no se fertilizó el cultivo y cuando se hizo solamente con urea o 18-46-00, evidenciando la necesidad de una nutrición balanceada; de igual manera, la combinación de la fertilización orgánica y mineral permitieron reducciones del 25 y 50%, de la dosis de fertilizante químico mineral de síntesis, sin disminución del rendimiento. Con producciones por plantas de 182.39 y 169.66 g para las fertilizaciones con reducción del 25 y 50% del fertilizante químico mineral, más 3 kg/m² de materia orgánica respectivamente, superando en 13.76 y 7.28% a la fertilización del 100% de fertilizante químico, pero sin materia orgánica.

⁴³ Universidad para el Bienestar Benito Juárez García. Autor de correspondencia: alfrelino_09@hotmail.com, 2331313993.

⁴⁴ Secretaría de Desarrollo Agropecuario.



Palabras clave: densidad de plantación, fertilización órgano-mineral, fertilización foliar

Introducción

Los maíces nativos, son aquellos que se han conservado por la práctica de selección de semillas que realizan los agricultores año con año; se diferencian de los que se han generado por métodos de mejoramiento, como las variedades de polinización libre, líneas puras e híbridos, tienen un gran potencial para brindar información útil que contribuye a enfrentar el cambio climático y la sustentabilidad alimentaria (SADER, 2021). Es México, centro de origen, domesticación y diversificación del maíz (*Zea mays* L.), existen 59 razas de acuerdo con la clasificación más reciente basada en características morfológicas e isoenzimáticas (Sánchez *et al.*, 2000), que tienen un porcentaje significativo de las 220 a 300 razas de maíz existentes en el continente americano (Kato *et al.*, 2009).

La diversidad de maíces presente en el país es el resultado de prácticas agrícolas milenarias, vinculadas al conocimiento tradicional de los pueblos indígenas de México, principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma nativo (Kato *et al.*, 2009; Turrent *et al.*, 2010). Los pequeños productores de maíz en México, aportan alrededor de 60% de la producción nacional; al unirse con los medianos productores, suman el 91% de la superficie sembrada, lo que significa que juntos aportan alrededor del 75% de la producción nacional de maíz (SADER, 2020). El 65% de la superficie cultivada en México se siembra con maíces nativos (Guadarrama *et al.*, 2014).

En el municipio de Calkiní, Campeche, perteneciente a la península de Yucatán, donde se realizó la investigación, el maíz es el cultivo agrícola más importante, desde el punto de vista alimentario, cultural y social; su cultivo en el estado de Campeche, representa anualmente alrededor del 94% de la superficie cultivada (superior a 160 mil hectáreas anuales) y volúmenes de producción alrededor de las 146 mil toneladas al año, siendo fundamentalmente maíces tradicionales, con rendimientos entre 0.8 a 0.9 t/ha, cifra por debajo del 50% del promedio nacional (2.0 t/ha) (Castillo *et al.*, 2021).

Uno de los programas prioritarios de gobierno para que estos productores eleven sus rendimientos y calidades del grano de maíz, es “Fertilizantes para el Bienestar”. Los fertilizantes son uno de los insumos agrícolas indispensables para que los cultivos tengan un mayor rendimiento y calidad. Sin embargo, no siempre se hace un uso correcto de los mismos. De igual manera, las bajas densidades de siembra y la falta de riego contribuyen a los bajos rendimientos de los maíces criollos.



Si bien los materiales nativos sobresalen por su adaptabilidad a condiciones adversas y por sus características particulares de color, sabor, textura y tamaño, es necesario brindar opciones sustentables para incrementar los rendimientos de estos maíces, ya que muchos productores al obtener rendimientos bajos deciden ya no seguir cultivándolos, pudiéndose obtener rendimientos aceptables de 5.3 y 5.4 t/ha, en maíces nativos en Chiapas, con fertilización, pero sin riego (López *et al.*, 2020); en el mismo sentido, pero en Puebla, se obtuvieron mayores rendimientos en poblaciones locales que en materiales introducidos, entre 5.6 y 4.5 t/ha, respectivamente, también en cultivo de temporal (Ángeles *et al.*, 2010).

De acuerdo con Rivetti (2006), un maíz sembrado con una densidad de 85,000 plantas/ha, mostró diferencia significativa ($\alpha = 0.05$) entre los tratamientos regados y no regado, con incremento promedio en grano en los tratamientos regados, de 72% mayor que en el tratamiento sin riego.

Por tales razones el objetivo de la investigación, fue determinar alternativas sustentables de fertilización en un material nativo de maíz, grupo X-Mejen Nal, que se originó de las razas de maíces, Nal tel, Dzit bacal y Tuxpeño (Martínez *et al.*, 2006). Igualmente, se incluyeron otras estrategias de manejo, tales como: aumento del 50% de la densidad de plantación, riego por goteo, producción de plántulas de maíz en charolas y nutrición foliar.

Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se realizó en áreas de la Universidad para el Bienestar Benito Juárez García (UBBJG), ubicada en el municipio de Calkiní, perteneciente al estado de Campeche. Ésta se localiza en la latitud 20.379291 y en la longitud -90.06113, con una altitud de 18.40 ± 36 m y una precisión de 20.10 m, determinado con el programa, NoteCam, cámara APP combinada con la información del GPS. El tipo de suelo es un Leptosol lítico (calcárico), de color rojo con roca calcárea abundante (Palma *et al.*, 2017).

El periodo de conducción del experimento fue de marzo a julio de 2022, consistiendo en la evaluación de siete tratamientos (Cuadro 1). El maíz se sembró en charolas de 200 cavidades, con una capacidad por cavidad de 22 mL y se trasplantó a los 22 días de la emergencia de las semillas (dde), fertilizándose una semana después del trasplante (29 dde) con la fórmula fertilizante 66-27-57 kg por hectárea de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente (fertilización mineral (FM) 100%), calculada a partir de los



macronutrientes extraídos por una tonelada de granos de maíz (Hernández *et al.*, 2014). También conformaron los tratamientos reducciones del 25 y 50% de la FM, combinada con 3 kg/m² de estiércol vacuno seco y descompuesto (MO), aplicación sola de MO y aplicaciones individuales de los fertilizantes urea y 18-46-00 (DAP), simulando lo que muchas veces realizan los productores, ya que son los fertilizantes que más se asignan en el programa Fertilizantes para el Bienestar. En el caso de la aplicación del portador orgánico se realizó en la conformación de los surcos, en los tratamientos que lo requirieron.

Cuadro 1. Tratamientos de fertilización aplicados al maíz, material vegetal, X-Mejen Nal, en el periodo de marzo a julio de 2022.

No.	Tratamientos
1	Sin fertilización
2	FM 100%
3	3 kg/m ² de MO
4	FM 75% + 3 kg/m ² de MO
5	FM 50% + 3 kg/m ² de MO
6	100% de N (urea 46-00-00)
7	16% de N y 100% de P ₂ O ₅ (DAP 18-46-00)

FM = fertilizante mineral; MO = materia orgánica.

El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones, siendo éstas de 20 m², con un marco de siembra de 1m x 0.20 m, para una densidad de siembra de 50,000 plantas por hectárea. Tradicionalmente el maíz criollo en la región se siembra a 0.8 m x 0.50 m (25,000 plantas por hectárea) (Basulto *et al.*, 2017). En todos los casos la información estadística, se procesó con el paquete The SAS System for Windows 9, versión en español, según diseño. La comparación de medias se realizó mediante Tukey al 0.05. Las siguientes variables se evaluaron a los 80 dde (fase reproductiva, entre las etapas R2 y R3): altura de la planta (cm) desde el suelo hasta la inserción de la hoja bandera, diámetro del tallo (cm), medido a la altura del cuarto entrenudo, número de hojas totales y el largo y ancho de las hojas para cálculo de área foliar, multiplicando largo x ancho x 0.75 en tres plantas por réplica (Wilhelm *et al.* 2000) para determinar área foliar por hoja, lo que permitió obtener el área foliar total y



promedio por planta, mientras que las otras variables se tomaron 20 plantas por réplica, dentro de la parcela útil, 10 m², del centro de cada réplica.

El maíz se cosechó a 140 dde, cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica, midiéndose los siguientes parámetros 30 días después de la cosecha, para que el grano obtuviera la humedad óptima: longitud de mazorca (LMz) en cm; diámetro de mazorca (DMz) en mm, tomado en la parte media de la misma; diámetro de olote (DO) en mm, tomado en la parte media; número de hileras por mazorca (NHM); número de granos por hilera (NGH), número de granos por mazorca (NGM), como el producto de NHM x NGH; peso de 100 granos (PG), tomados al azar de una muestra de 10 mazorcas por parcela útil, en gramos, así como el peso de grano por planta (RP), considerando que se obtuvo una sola mazorca por planta. El rendimiento de grano (RG), se ajustó de acuerdo con el número de plantas productivas por parcela útil y se transformó a kg/ha multiplicando el promedio en gramos por planta obtenido en cada tratamiento por las plantas fértiles estimada en una hectárea de cultivo, 20% promedio de plantas estériles en todas las parcelas útiles del experimento; este resultado no coincide con Ramírez *et al.* (2020), al estudiar el comportamiento agronómico de un material nativo bajo diferentes densidades de siembra, “Domesano” en Tabasco, 40% de plantas estériles en igual densidad de siembra, bajo condiciones de temporal. Además de las estrategias de manejo antes mencionadas, se incluyeron, el riego por goteo y fertilización foliar con Bayfolan[®] Forte, a dosis de 2, 3 y 4 L/ha, como indica el fabricante, siendo los momentos de aplicación a los 29, 44 y 52 dde, para todos los tratamientos.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 2 se presentan los valores de las variables morfológicas, altura y diámetro de tallo en el momento de fase reproductiva, entre las etapas R2 y R3, etapas de ampolla y lechosa.

Los valores de altura de planta y diámetro de tallo, como expresión del crecimiento y desarrollo de las plantas, presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde los tratamientos FM 75% + 3 kg/m² de MO (4) y FM 50% + 3 kg/m² de MO (5), mostraron los mejores resultados en ese orden, demostrando la eficacia de combinar la fertilización químico mineral con la orgánica, permitiendo así reducciones del 25 y 50% de los fertilizantes de síntesis química.



Cuadro 2. Efecto de los tratamientos en la altura de planta (m) y diámetro (cm) del tallo a los 80 dde.

Tratamientos	Altura de planta	Diámetro del tallo
Sin fertilización	1.96 ^{bc}	2.24 ^d
FM 100%	2.26 ^{abc}	2.94 ^{abc}
3 kg/m ² de MO	2.28 ^{abc}	2.56 ^{bcd}
FM 75% + 3 kg/m ² de MO	2.63 ^a	3.41 ^a
FM 50% + 3 kg/m ² de MO	2.31 ^{ab}	3.11 ^{ab}
100% de N	1.87 ^c	2.38 ^{cd}
16% de N y 100% de P ₂ O ₅	2.12 ^{abc}	2.51 ^{bcd}
DSMh	0.441*	0.606*
CV (%)	6.99	7.74

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales * ($p \leq 0.05$); DSMh (Diferencia significativa honesta) y Coeficiente de variación.

Mientras que, el diámetro del tallo, es un parámetro muy importante en el cultivo de maíz, ya que tiene impacto directo en la resistencia al acame. El grosor del tallo está influenciado, por la variedad y las condiciones ambientales y nutricionales en que se desarrolla el cultivo (Aguilar y Narváez, 2017).

Por su parte, la altura de la planta es una variable que también influye en el acame del cultivo, si se relaciona con diámetros de tallos mínimos. En este sentido plantas de maíz entre a 2.00 a 2.40 m de altura, pueden tener problemas con el acame, si se combinan con un diámetro de tallo reducido (Hernández y Esquivel, 2004). En un estudio de “Comportamiento agronómico y fisiológico de maíces nativos del sureste de México”, los materiales con diámetros de 2.26 cm presentaron una mayor resistencia al acame (García y Watson, 2003), valor que es similar al tratamiento sin fertilización, ya que el resto de los resultados son superiores a éste. Los tratamientos donde se fertilizó con uno y dos nutrientes, 6 y 7, presentan en ocasiones valores iguales o inferiores estadísticamente a la variante no fertilizada. Mayor altura y diámetro del tallo son indicadores de resistencia a enfermedades, tales como, *Spiroplasma kunkelii* o achaparramiento del maíz, la cual se trasmite por el vector la chicharrita del maíz (*Dalbulus maidis*). Esta enfermedad puede generar reducciones del rendimiento entre un 50 y 90%, fundamentalmente en maíces criollos (Monforte, 2019).

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de las variables fisiológicas área foliar total (AFT), área foliar promedio (AFP) y número de hojas totales (HT) por planta, las cuales presentaron diferencia



significativa ($p \leq 0.05$), donde los tratamientos con las reducciones de fertilizantes mineral al 25 y 50%, combinado con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica muestran los mejores resultados.

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos en el área foliar total (AFT) (cm^2) y promedio (cm^2) (AFP) de las plantas de maíz, así como el número de hojas totales (HT) a los 80 dde.

Tratamientos	AFT	AFP	HT
Sin fertilización	6217.00 ^f	454.96 ^e	13.66 ^{ab}
FM 100%	8809.00 ^c	644.94 ^b	14.00 ^a
3 kg/m^2 de MO	8451.66 ^{cd}	590.09 ^c	14.33 ^a
FM 75% + 3 kg/m^2 de MO	11786.00 ^a	753.44 ^a	15.66 ^a
FM 50% + 3 kg/m^2 de MO	10174.00 ^b	709.73 ^a	14.33 ^a
100% de N	6884.00 ^{ef}	530.13 ^d	11.66 ^b
16% de N y 100% de P_2O_5	7420.66 ^{de}	590.73 ^c	13.66 ^{ab}
DSMh	1156.10 [*]	53.16 [*]	2.277
CV	4.74	3.04	5.73

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); DSMn (Diferencia significativa mínima) y Coeficiente de variación.

El área foliar total, evidenció que cuando no se fertiliza el cultivo de maíz o cuando se emplea solamente nitrógeno, los resultados son muy inferiores. Caso contrario, cuando la fertilización químico mineral se redujo en un 25 y 50% y se combinó con abono orgánico.

El área foliar de las plantas es una variable que se relaciona con múltiples procesos fisiológicos, tales como: el análisis de crecimiento, la fotosíntesis, la transpiración, la interceptación de luz, la asignación de biomasa y el balance de energía (Estrada, 2011). Además, está demostrada su relación directa con el potencial de rendimiento, en el cálculo del uso eficiente de la radiación solar, como también en el cálculo del uso eficiente del agua y de la nutrición mineral (Sonnentag *et al.*, 2008).

Por su parte, el área foliar promedio reafirma la necesidad de fertilizar el material vegetal utilizado, ya que al igual que en la variable anterior, los menores valores se obtuvieron cuando no se empleó ningún tipo de fertilización. De igual manera, se confirma que cuando se fertiliza con fuentes que aportan uno o dos nutrientes solamente, los resultados no son muy superiores a no fertilizar. Aplicar una nutrición balanceada, aunado a un adecuado manejo agronómico, garantiza que las plantas expresen su potencial genético, dando frutos de calidad, y se desarrollen con los rendimientos esperados (Lafitte, 2017).



El número de hojas totales en maíz varía de 8 a 21, siendo lo más frecuente de 12 a 18, con promedios de 14, lo cual va a depender del número de entrenudos del tallo, que está relacionado con la altura de la planta y la fase fenológica (Pecina *et al.*, 2009). En todos los tratamientos, con excepción de la variante 6 (100% de N), el número de hojas está dentro del rango más frecuente para la variable, en el momento de la evaluación, destacando los tratamientos 4 y 5, donde se empleó un portador de materia orgánica en combinación con reducciones del 25 y 50% de la fertilización químico mineral. Tal resultado se atribuye a la mejora nutrimental del suelo, producto de la combinación de fertilizantes químico mineral y orgánico aplicado al mismo; un resultado similar se obtuvo al evaluar el crecimiento y rendimiento de maíz, bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional (Blessing y Hernández, 2009).

A medida que aumenta el número de hojas y el área foliar de la planta, se da como resultado el aumento de la biomasa del cultivo. Al respecto se plantea que la eficiencia en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz depende de la cantidad de biomasa que se distribuye hacia el grano (Castro *et al.*, 2014), considerándose la tasa de crecimiento de la planta un índice específico que refleja la productividad del cultivo (Santos *et al.*, 2010).

En el Cuadro 4 se muestran las características de la mazorca, influenciadas por los tipos de nutrición, donde se muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en todos los casos a favor de los tratamientos 4 y 5.

Las nutriciones con la FM 100%, así como las FM 75 y 50%, combinada con la aplicación edáfica del portador de materia orgánica, presentaron los mayores valores para la longitud de la mazorca, siendo éste uno de los componentes más importante del rendimiento del cultivo, debido a que, a mayor longitud de mazorca, mayor número de granos por hileras y por lo tanto, mayor rendimiento de granos. En estudios sobre el efecto de la fertilización mineral y orgánica (gallinaza) en el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz var. NB-S y NB-6, se encontró diferencia significativa para la longitud de la mazorca, con resultados similares (Blessing y Hernández, 2009).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en las características de mazorca a los 140 dde.

Tratamientos	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (mm)	Hileras mazorca	Diámetro de olote (mm)	Granos por hilera	Granos por mazorca
1	15.42 ^c	47.59 ^c	13.00 ^b	30.44 ^b	32.00 ^c	428.00 ^d
2	17.32 ^a	51.88 ^{ab}	13.50 ^{ab}	33.59 ^a	38.62 ^a	516.25 ^b



Tratamientos	Longitud de mazorca (cm)	Diámetro de mazorca (mm)	Hileras mazorca	Diámetro de olate (mm)	Granos por hilera	Granos por mazorca
3	16.46 ^b	50.99 ^b	13.75 ^{ab}	33.21 ^a	38.75 ^a	482.25 ^{bc}
4	17.22 ^a	52.83 ^a	14.50 ^a	33.89 ^a	40.37 ^a	575.00 ^a
5	17.15 ^a	52.75 ^a	14.50 ^a	33.75 ^a	39.50 ^a	534.75 ^a
6	15.95 ^c	48.47 ^c	13.00 ^b	30.32 ^b	33.25 ^c	473.00 ^c
7	16.50 ^b	46.86 ^c	13.00 ^b	29.00 ^c	36.12 ^b	468.50 ^d
DSMn	0.5884*	1.7151*	1.0711*	1.0511*	2.1575*	41.6920*
CV	2.389	2.299	5.298	2.209	3.931	4.985

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); DSMh (Diferencia significativa mínima honesta) y Coeficiente de variación.

La variable diámetro de mazorca presenta una tendencia similar a la longitud de ésta, presentando diferencias estadísticas a favor de los tipos de nutrición más completa donde se empleó el portador de materia orgánica, en combinación con la fertilización mineral al 75 y al 50% y la fertilización mineral al 100%. Esta variable que está determinada por factores genéticos e influenciada por factores edáficos, nutricionales y ambientales, es un parámetro fundamental para medir el rendimiento y está relacionada directamente con la longitud de la mazorca (Blessing y Hernández, 2009). Dentro de la etapa reproductiva de la planta, en la que se requiere de una gran actividad fotosintética y absorción de agua y nutrientes, si esto es adverso se ve afectado el tamaño de la mazorca en formación y por consiguiente se obtendrá menor diámetro de mazorca, que al final repercutirá en bajos rendimientos (Rocandio *et al.*, 2014).

Por su parte, el número de hileras por mazorca presentó diferencias estadísticas a favor de las nutriciones que tuvieron un mejor balance, no siendo el caso de los tratamientos 6 y 7 (100% de N y 16% de N y 100% de P_2O_5) donde se aportó uno y dos nutrientes respectivamente, siendo estadísticamente iguales a cuando no se fertilizó (tratamiento 1). Esta variable se relaciona con la longitud, diámetro de la mazorca y la genética de las variedades, pudiendo ser aumentada la masa de la mazorca con una buena nutrición en el suelo y, por ende, el número de hileras por mazorca (Zamudio *et al.*, 2015).



Una tendencia similar al número de hileras por mazorca, longitud y diámetro de la mazorca lo presenta el diámetro del olote, corroborando que una mayor masa relativa en la mazorca, permite mayor número de hileras.

Por su parte, el parámetro grano por hilera, también presenta diferencias significativas para los tratamientos donde la fertilización edáfica fue más completa. El número de granos por hilera está influenciado por el número de óvulos por hileras y a su vez, por la nutrición edáfica e hídrica, así como por la densidad y la profundidad de las raíces (Meza *et al.*, 2014).

Por otra parte, el número de granos por mazorca, está determinado por la longitud, número de hileras por mazorca y número de granos por hilera, siendo los mejores tratamientos en los tipos de nutrición que combinaron la fertilización mineral al 75 y 50%, con la orgánica a 3 kg/m². El Cuadro 5 presenta los valores de las características del grano de maíz, influenciados por los tipos de nutrición edáfica.

Cuadro 5. Efecto de los tratamientos en las características del grano de maíz material a los 140 dde.

Tratamientos	Altura de grano (mm)	Ancho de grano (mm)	Grosor de grano (mm)	Peso de 100 granos (g)
1	11.79 ^d	10.29 ^b	2.63 ^d	26.70 ^e
2	14.67 ^c	12.85 ^a	3.30 ^b	30.95 ^b
3	14.83 ^c	13.16 ^a	3.22 ^{bc}	30.35 ^{bc}
4	15.83 ^a	12.97 ^a	3.69 ^a	32.63 ^a
5	15.20 ^b	13.06 ^a	3.75 ^a	31.72 ^{ab}
6	9.65 ^e	7.82 ^d	3.16 ^{bc}	29.33 ^{cd}
7	9.47 ^e	8.17 ^c	3.03 ^c	28.49 ^d
DSMn	0.3203*	0.3201*	0.2270*	1.6088*
CV	1.650	1.926	4.695	3.606

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, *(p≤0.05); DSMn (Diferencia significativa mínima) y Coeficiente de variación.

El tamaño del grano de maíz, expresado por las variables altura, ancho y grosor del grano presentó diferencias significativas (p≤ 0.05) para los diferentes niveles de fertilización edáfica. En todos los casos fueron los tratamientos 4 y 5 (FM 75% + 3 kg/m² de MO y FM 50% + 3 kg/m² de MO, respectivamente), los que presentan los mayores tamaños de grano. A su vez, sólo las fertilizaciones



con nitrógeno y nitrógeno y fósforo (100% de N y 16% de N y 100% de P₂O₅, en ese orden), presentan los menores valores para las variables que determinan el tamaño de grano, por debajo de cuando no se fertiliza el cultivo, menos para el grosor.

La fertilidad del suelo contribuye al incremento o disminución del tamaño de los granos (Tercero y Torrez, 2004). Las variables asociadas al grano marcan la variabilidad morfológica en materiales de maíz, subrayando que es el órgano que se comercializa o utiliza para la alimentación, procesos agroindustriales y como simientes (Pardey *et al.*, 2016).

De igual manera, la variable peso de 100 granos, mostró una tendencia similar a los descriptores del tamaño de éste con diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde los tratamientos 4 y 5 presentaron los mayores resultados y los tratamientos 6 y 7, los de menor valor, para las fertilizaciones, siendo el tratamiento 1, el de menor valor.

El peso de semillas es una variable importante para poder clasificar el tamaño de la misma, ya que las semillas de mayor tamaño tienen un embrión de mayor volumen y más sustancias de reservas, lo que constituye un componente del rendimiento del cultivo de maíz, el cual se ve afectado por el ambiente, manejo agronómico y nutrientes (Puetate, 2015).

Por su parte, para la industria, el peso de las semillas es un indicador del tamaño y densidad del grano, caracter importante en la producción de harina, ya que los granos grandes contienen mayor proporción de endospermo en comparación a los de tamaño menor (Jiménez *et al.*, 2012).

Otras variables evaluadas (Cuadro 6) fueron el rendimiento por planta y por hectárea, reafirmando la tendencia de que, los mejores resultados se obtuvieron con las nutriciones al 75 y 50% combinadas con la fertilización químico mineral.

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos en el rendimiento de grano a los 140 dde.

Tratamientos	Peso de granos/planta (g)	Rendimiento (kg/ha)
Sin fertilización	114.08 ^f	4,563 ^e
FM 100%	157.30 ^c	6,292 ^c
3 kg/m ² de MO	146.35 ^{cd}	5,854 ^c
FM 75% + 3 kg/m ² de MO	182.39 ^a	7,295 ^a
FM 50% + 3 kg/m ² de MO	169.66 ^b	6,786 ^b
100% de N	138.74 ^{de}	5,549 ^d



Tratamientos	Peso de granos/planta (g)	Rendimiento (kg/ha)
16% de N y 100% de P ₂ O ₅	133.50 ^e	5,340 ^d
DSMh	12.093 [*]	467.05 [*]
CV	5.47	5.125

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); DSMn (Diferencia significativa mínima honesta) y Coeficiente de variación.

La variable peso de granos/planta, presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde los tratamientos 4 y 5, exhiben los mejores valores. Los mayores rendimientos en maíces, se obtienen por lo general con un promedio de rendimiento por planta de 150 a 180 g (Quiroz *et al.*, 2021), estando dentro de este rango los tratamientos 2 (FM 100%), 4 (FM 75% + 3 kg/m²) y 5 (FM 50% + 3 kg/m²), en todos los casos con tres aplicaciones de Bayfolan® Forte. Tales resultados evidencian que con un manejo adecuado de la agrotecnia y la nutrición se pueden aumentar los rendimientos por planta de un maíz nativo.

En cuanto al parámetro del rendimiento por superficie, la tendencia fue la misma. El rendimiento está en dependencia de la cantidad y tamaño de los granos. Tales resultados se deben, al complemento que produce la fertilización orgánica y la mineral; mientras que la mineral aportó como máximo los nutrientes N, P y K, los abonos orgánicos, poseen una diversidad mayor de elementos nutritivos, además de los ya mencionados, también aportan elementos como Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y S, que se requieren por el cultivo en cantidades menores, pero de vital importancia para el buen desarrollo y crecimiento de las plantas, que se expresa en mejores y mayores rendimientos.

Conclusiones

1. El desarrollo vegetativo de las plantas de maíz nativo expresado mediante la altura y diámetro del tallo fue mejor, cuando la fertilización orgánica y químico mineral se combinó y se disminuyó esta última entre un 25 y 50%.
2. Las variables fisiológicas área foliar total y promedio, así como hojas totales, en plena fase reproductiva, etapas R2 y R3 tuvieron una respuesta similar al desarrollo vegetativo del cultivo.



3. Las características del fruto: mazorca y grano, fueron menores cuando no se fertilizó el cultivo y cuando se hizo solamente con urea o 18-46-00, evidenciando la necesidad de una nutrición balanceada.
4. La combinación de la fertilización orgánica y mineral permitieron la reducción del 25 y 50%, de la dosis de fertilizante químico mineral, sin disminución del rendimiento, ni la calidad del grano.

Literatura Citada

- Aguilar, S. M. y X. E. Narváez, 2017. Comparación de dos fórmulas comerciales versus un orgánico industrial (Biogreen) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), Variedad Nutrinta Amarillo, Centro Experimental las Mercedes, 2016. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 32 p.
- Ángeles, E., E. Ortiz, P. A. López y G. López. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):287-296.
- Basulto, G. J. A., J. A. Gamboa y E. Reyes C. (eds.) 2017. Rendimiento de maíz criollo bajo temporal en Yucatán, México. p. 121-124. *In: Martínez, H. J., M. Á. Ramírez G. y J. Cámara-Córdova (eds.). Seguridad Alimentaria: aportaciones científicas y agroalimentarias.* Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Villahermosa, Tab., México.
- Blessing, D. M. y G. T. Hernández. 2009. Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) var. nb-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la Finca El Plantel. 2007-2008. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 39 p.
- Castillo, E., E. Marín, G. López, J. A. Jiménez y G. A. Muñoz. 2021. Perspectivas del sistema milpa en Yucatán. *Bioagrobiencias* 14(2):13-22.



- Castro, S., C. A. Reyes y A. J. Huerta. 2014. Diversidad genética de características del área foliar en maíces nativos de Tamaulipas bajo altas temperaturas. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(3):217-223.
- Estrada, C. 2011. Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x ananassa*) para el subtrópico. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx. México. 104 p.
- García, M. y C. E. Watson Jr. 2003. Herencia de la resistencia al acame de raíces en maíz dulce (*Zea mays* L.). *Rev. UDO Agríc.* 3(1):24-33.
- Guadarrama, A., F. Aragón y M. Willcox. 2014. Mejoramiento de maíces nativos. *Enlace* 5(22):11-15.
- Gutiérrez, J. A., 2006. Agricultura de roza y dinámica demográfica en una comunidad maya. http://www.etnoecologica.org.mx/Etnoecologica_vol1_n2/frame_superior_art_gutierrez.htm, [consultado 15 de junio de 2022].
- Hernández, C. y E. Esquivel. 2004. Rendimiento de grano y características agronómicas en germoplasma de maíz de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:27-31.
- Hernández, V., R. Zetina e I. Meneses. 2014. Extracciones nutrimentales en tres cultivos básicos en Veracruz, México. *Rev. Biol. Agropec. Tuxpan* 2(1):229-235.
- Jiménez, J., G. Arámbula, E. de la Cruz y M. Aparicio M. 2012. Características del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Univ. Cie. Tróp. Húm.* 28(2):145-152.
- Kato, Y. T. A., C. Mapes S., L. M. Mera O., J. A. Serratos H. y R. A. Bye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S. A. de C. V. México, D. F. 116 p.



- Lafitte, H. R., 2017. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical: guía de campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/727> [consultado el 15 de junio de 2022].
- López, D. J. D., L. M. Morales V. y R. Vilchis. 2020. Mejorando el rendimiento de los maíces nativos. CIMMYT. <https://idp.cimmyt.org/mejorando-el-rendimiento-de-los-maices-nativos/> [consultado el 25 de junio de 2022].
- Martínez, J., D. Zizumbo, P. Guepts, P. Delgado and P. Colunga. 2006. Structure and genetic diversity of wild populations of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) from the Yucatan peninsula, Mexico. *Crop Sci.* 46:1071-1080.
- Meza, P. A., M. Sierra M. J. A. Mejía, J. Molina, A. Espinosa C., A. Gómez *et al.*, 2014. Genotype-environment interaction in tropical maize varieties developed for the tropical region of Veracruz, Mexico. *Interciencia* 39(2):180-184.
- Monforte, J. I. 2019. Exploración de fuentes de tolerancia al achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelii*) y caracterización fisio-agronómica de maíces criollos. Tesis de maestría. Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yuc., México. 48 p.
- Palma, L. D. J., J. Zavala C., F. Bautista Z., M. A. Morales G., A. López C., E. D. Shirma T. *et al.* 2017. Clasificación y cartografía de suelos del estado de Campeche, México. *Agroproductividad* 10(12):71-78.
- Pardey, C., A. García y N. Moreno. 2016. Caracterización de maíz procedente del departamento del Magdalena, Colombia. *Corpoica Tecnol. Agropec.* 17(2):167-190.
- Pecina, J. A., M. C. Mendoza, J. A. López, F. Castillo y M. Mendoza, 2009. Respuesta morfológica y fenológica de maíces nativos de Tamaulipas a ambientes contrastantes de México. *Agrociencia* 43(7): 681-694.



- Puetate, L., 2015. Evaluación de dos poblaciones de maíz amarillo suave raza “Mishca” (*Zea mays* L.) en dos localidades de Pichincha. Tesis de licenciatura. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4796> [consultado el 23 de diciembre de 2022].
- Quiroz, J. I., O. Antuna, D. J. Pérez, J. L. Coyac, J. L., Espinoza A. y H. A. González, 2021. Efecto de la densidad de plantas en el rendimiento de grano en maíz. *Cie. Innov. Agroalim.* 2(2):1-15.
- Ramírez, J. S., R. De La Rosa, S. Miranda, J. J. García, J. A. Mejía, A. García *et al.* 2020. Comportamiento agronómico del maíz tropical Dosmesano nativo de Tabasco, México bajo diferentes densidades de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 43(3):251-258.
- Rivetti, A. 2006. Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Rev. Fac. Cie. Agr.* 38(2):25-36.
- Rocandio, M., A. Santacruz, L. Córdova, H. López, F. Castillo, R. Lobato *et al.* 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 37(4):351-361.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. Maíz el cultivo de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico#:~:text=Los%20peque%C3%B1os%20productores%20aportan%20alrededor,la%20producci%C3%B3n%20nacional%20de%20ma%C3%ADz> [consultado el 14 de junio de 2022].
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. La riqueza de México es el maíz. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-riqueza-de-mexico-es-el-maiz?idiom=es#:~:text=Los%20ma%C3%ADces%20nativos%20son%20aquellos,un%20gran%20potencial%20para%20brindar> [consultado el 14 de junio de 2022].



- Sánchez, J. J., M. M. Goodman and C. W. Stuber, 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54:43-59.
- Santos M., M. Segura y C. E. Núñez. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, Colombia. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63(1):5253-5266.
- Sonnentag, O., J. Talbot, J. M. Chen and N. T. Roulet, 2008. Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland. *Agric. Forest. Meteorol.* 144:200-212.
- Tercero, H. y O. Torrez. 2004. Evaluación de siete genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en época de primavera y postrera en el año 2002 y 2003 en Chiapas, Chinandega. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 41 p. <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1887> [consultado el 14 de junio de 2022].
- Turrent, A., J. I. Cortés, A. Espinosa, H. Mejía y J. A. Serratos. 2010, ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *REMEXCA* 1:631-646.
- Wilhelm, W. W., F. Ruwe and M. R. Schlemmer. 2000. Comparison of three leaf area index meters in corn canopy. *Crop Sci.* 40:1179-1183.
- Zamudio, B., A. Espinosa, M. Tadeo, J. J. Encastín, J. N. Martínez, A. Félix *et al.* 2015. Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *REMEXCA* 6(7):1491-1505.



RESPUESTA DE EMERGENCIA Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) A SOLUCIONES DE *Arthrospira platensis* SOBRE SEMILLAS

Maribel Apolinar Aguilar^{45*} y Alfredo Lino Brito⁴⁶

Resumen

El objetivo del trabajo fue determinar dosis y tiempos de inmersión en soluciones acuosas del producto comercial "Alga Spirulina", con base en *Spirulina platensis*, elaborado para la nutrición humana en semillas y plántulas de lechugas. El trabajo experimental se desarrolló en la comunidad Santa Cruz Pueblo, municipio de Calkiní, estado de Campeche. El periodo del experimento fue de noviembre y diciembre de 2022, valorando cinco tratamientos por tipos de lechugas (orejona y romana). Las semillas de lechugas, 100 por tratamientos se sumergieron en diferentes soluciones del producto comercial en polvo (soluciones de 5, 10, 20 y 30 g/L, de producto en agua para todos los casos). En lechuga orejona la inmersión fue por 2 h y en romana por 24. Las épocas de evaluación fueron a los 26 y 28 días después de emergida la plántula (dde), para lechuga orejona y romana, respectivamente. Con diseño experimental totalmente al azar, cuatro replicas por tratamientos y 20 plantas por réplica. Los resultados, por ciento de emergencia y características de plántulas muestran diferencias significativas para la dosis de 20 g/L del producto en agua, cuando la inmersión de semillas fue por 2 h. Mientras que, en la sumersión por 24 h, las dosis de 5 y 10 g/L del producto en agua, fueron significativamente mayores para el por ciento de emergencia y la de 10 g/L del producto en agua, para las características de plántula, menos para el número de hojas en inmersión de semillas por 2 h. Se concluye que "Alga Spirulina", adelanta la emergencia de las plántulas de lechuga, aumenta la velocidad y por ciento de emergencia de las mismas, estimulando la altura, largo de raíz y área foliar en ambos tipos de lechugas, no así en el número de hojas en lechuga romana, ya que sólo hubo efecto para la lechuga orejona. Siendo mejor las menores dosis (5 y 10 g/L) para 24 horas de inmersión y la intermedia (20 g/L) para las 2 h de sumersión.

⁴⁵ Secretaria de Desarrollo Agropecuario. Autor de correspondencia: maribel_0391@hotmail.com

⁴⁶ Universidad para el Bienestar Benito Juárez García.



Palabras clave: cianobacterias, microalgas e inmersión

Introducción

El término *Spirulina* se utiliza para referirse a dos especies de cianobacterias: *Arthrospira platensis* y *A. maxima* (Ramírez y Olvera, 2006). *A. platensis* es una alga verde-azul (cianobacteria) que posee un gran interés en el campo de la biotecnología. Por su alto valor nutricional es muy usada como producto farmacéutico y alimenticio humano y animal (Spolaore *et al.*, 2006; Papadaki *et al.*, 2017).

En agricultura, su empleo se debe a que activa el sistema inmune de las plantas, siendo más resistentes a enfermedades y al estrés ambiental, así como una mayor germinación y un mayor enraizamiento cuando se aplica al suelo (Pagnussatt, 2016; Wuang *et al.*, 2016).

Este es un microorganismo con una gran variedad de nutrientes, como: vitamina A (β -caroteno), vitamina K, vitamina B1 (tiamina), B2 (riboflavina), B3 (niacina), B6 (piridoxina) y B12; aminoácidos esenciales: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina; aminoácidos no esenciales: alanina, arginina, ácido aspártico, cistina, ácido glutámico, glicina, prolina, serina y tirosina. Además, contiene minerales: calcio, hierro, fósforo, yodo, magnesio, zinc, selenio, cobre, manganeso, cromo, potasio y sodio. Asimismo, fitonutrientes: ficocianina, clorofila, superóxido dismutasa, ácido gamma linolénico y carotenoides como β -caroteno y zeaxantina (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Por su parte la lechuga (*Lactuca sativa* L.), es un cultivo cuya producción ha ido creciendo en México en los últimos años. En 2017 se tuvo una producción de 481 mil toneladas, un año después aumentó a 486 mil toneladas, en 2019 alcanzó 516 mil toneladas y en 2020 sumó 539 mil toneladas (SADER, 2021).

Las semillas en sus diferentes etapas de germinación, cohabitan constantemente con condiciones ambientales adversas, como: temperaturas extremas, sequía y cambios de salinidad, por lo que la tasa de supervivencia de la mayoría de las especies de cultivos sometidos a diferentes condiciones de estrés ambiental se reduce considerablemente, ya que las mismas pueden entrar en un estado de dormancia secundaria que evita su germinación en condiciones desfavorables, siendo una buena opción para mejorar la germinación, el uso de bioestimulantes a base de productos algales que contrarrestan el efecto del estrés abiótico (Masondo *et al.*, 2018 y Sharma *et al.*, 2020).



En regiones tropicales, el cultivo de lechuga, presenta dificultades en la germinación de sus semillas, ya que son sensibles a las condiciones ambientales, principalmente a temperatura y humedad alta, retrasándose la germinación y, por tanto, el establecimiento de las plántulas (Nascimento y Pereira, 2007); condiciones imperantes en la localidad de estudio durante el periodo de cultivo de las lechugas. Sin embargo, se ha demostrado que la microalga *Spirulina*, en aplicaciones al suelo permite una mayor germinación y enraizamiento de los cultivos, pudiendo utilizarse en el manejo de cultivos para reducir el estrés abiótico y biótico (Sharma *et al.*, 2014).

Dentro del cultivo de hortalizas la producción de plántulas es una de las actividades agrotécnicas más importantes, en el establecimiento, desarrollo y producción de estos cultivos (Gómez y Vásquez, 2011). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar dosis y tiempos de inmersión en soluciones acuosas del producto comercial “Alga Spirulina”, con base en *Spirulina platensis*, elaborado para la nutrición humana sobre la germinación y el crecimiento temprano de lechugas. Lo anterior para prospectar a futuro un bioproducto con fines agrícolas, que permita el incremento en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos de importancia agronómica.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en la comunidad Santa Cruz Pueblo, municipio de Calkiní, estado de Campeche, ubicada en las coordenadas 20°23'20"N y 90°03'20"W. El periodo de conducción del experimento fue de noviembre a diciembre de 2022, consistiendo el mismo, en la evaluación de cinco tratamientos (Cuadro 1), por tipos de lechugas (orejona y romana). Las semillas de lechugas, 100 por tratamiento se sumergieron en diferentes soluciones del producto comercial en polvo “Alga Spirulina”, con base en *Arthrospira platensis*, comercializado para la nutrición humana. En el caso de la lechuga orejona la inmersión fue por 2 h y el tipo romana por 24 h (Cuadro 1). Posteriormente las semillas de ambos tipos de lechugas se sembraron en charolas de 200 alveolos, depositando una semilla por cavidad. El sustrato se conformó con relación a volumen con humus de lombriz al 75% y suelo de la localidad al 25%, para los tipos de lechugas.



Cuadro1. Tratamientos de dosis de “Alga Spirulina”, disuelta en agua, para los tipos de lechugas orejona y romana, durante 2 y 24 h respectivamente.

No.	Tratamiento
1	100 semillas en agua
2	100 semillas en una solución de 5 g/L de agua de producto
3	100 semillas en una solución de 10 g/L de agua de producto
4	100 semillas en una solución de 20 g/L de agua de producto
5	100 semillas en una solución de 30 g/L de agua de producto

Producto: “Alga Spirulina”: producto comercial en polvo con base en *A. platensis*, comercializado para la nutrición humana.

Las variables evaluadas fueron: días a emergencia cuando el 50% de las plantas habían emergido, por ciento (%) de emergencia a los 5, 10 y 15 días después de la siembra (dds) las semillas (previa transformación de Bliss, arcoseno), número de hojas, altura de la planta (cm), longitud de raíz (cm) y área foliar (cm²). En el caso del área foliar, se empleó el método de Montgomery, el cual encontró relación entre el largo de la hoja multiplicado por el máximo ancho de la misma y multiplicado por 0.75 como un método útil para determinar área foliar (De la Casa *et al.*, 2007).

Los momentos de evaluación en plántulas, fueron a los 26 y 28 días después de la emergencia de la plántula (dde), para lechuga tipo orejona y romana respectivamente. Con un diseño experimental completamente al azar, con cuatro réplicas por tratamientos y 20 plantas por réplicas. En todos los casos la información estadística, se procesó con el paquete The SAS System for Windows 9, versión en español, según diseño. La comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey al 0.05.

Resultados y Discusión

En los Cuadros 2 y 3 se presenta la información referente a la emergencia de semillas de lechuga tipo orejona y romana cuando se sumergieron las semillas por 2 y 24 h respectivamente. Se observa que hay efecto positivo del producto Alga Spirulina, el cual está conformado por biomasa de la microalga *S. platensis*, en los días a emergencia de las semillas. Se subraya que cuando se sumergieron las semillas por 2 h, aunque no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$), los mejores resultados fueron para las dosis bajas e intermedias. Sin embargo, cuando la semilla se humedeció por 24 h, los resultados favorecieron



los tratamientos de menor dosis del producto en solución, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a favor de éstas.

Cuadro 2. Momento de siembra e inicio de la emergencia de lechuga tipo orejona, sumergida la semilla por 2 h en soluciones con base en “Alga Spirulina”.

Tratamientos	Fecha de siembra	Inicio de emergencia
Semillas en agua		4 ^a dds
Semillas en una solución de 5 g/L de agua		3 ^a dds
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	16/11/2022	3 ^a dds
Semillas en una solución de 20 g/L de agua		3 ^a dds
Semillas en una solución de 30 g/L de agua		4 ^a dds
DMS _n		ns*
CV (%)		18.376

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, *($p \leq 0.05$); DSMn (Diferencia significativa mínima), n.s(sin diferencia significativa) y Coeficiente de variación (CV).

Cuadro 3. Momento de siembra e inicio de la emergencia de lechuga tipo romana, sumergida la semilla por 24 h en soluciones con base en “Alga Spirulina”.

Tratamientos	Fecha de siembra	Inicio de emergencia
Semillas en agua		3 ^a dds
Semillas en una solución de 5 g/L de agua		1 ^b dds
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	17/11/2022	1 ^b dds
Semillas en una solución de 20 g/L de agua		3 ^a dds
Semillas en una solución de 30 g/L de agua		3 ^a dds
DMS _n		0.7783*
CV (%)		16.6887

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, *($p \leq 0.05$); DSMn (Diferencia significativa mínima), n.s(sin diferencia significativa) y Coeficiente de variación (CV).

Cuando se aumentan las concentraciones y tiempo de exposición de las semillas de lechugas a productos algales, la presencia de compuestos fenólicos presentes en estos organismos puede ser la causa responsable de la inhibición de la germinación y crecimiento de las plántulas (Moller y Smith, 1998). En este mismo sentido otros autores reportan que el aumento del porcentaje de germinación a



bajas concentraciones se puede deber a la presencia de sustancias promotoras del crecimiento, como fitohormonas y micronutrientes, que cuando aumentaron las concentraciones de los productos algales el efecto fue contrario provocando estrés osmótico; un estudio de extractos de algas en diluciones (0.2, 0.4 y 1.0%) en semillas de tomate, mostraron que la germinación y longitud de radícula fueron mayores para la concentración de 0.2% (Hernández, *et al.*, 2019).

Se ha reportado que los extractos de la biomasa de *Spirulina* tuvieron efectos beneficiosos sobre la germinación de semillas de berros y trigo de invierno (Dmytryk *et al.*, 2014; Michalak *et al.*, 2016).

Los componentes activos de las algas, son efectivos a bajas cantidades (Crouch y van Staden, 1993).

En cuanto, al por ciento de emergencia, la dosis del producto que presentó mejores resultados en lechuga orejona, sumergida las semillas por 2 h, fue 20 g/L del producto en agua, con una mayor velocidad de la emergencia, ya que a los 10 dds, el cultivo alcanzó su máxima expresión con 88%. Hay que destacar que con la dosis de 30 g/L de agua de “Alga Spirulina, el cultivo alcanza los mismos resultados a los 15 dds (Cuadro 4).

Cuadro 4. Por ciento de emergencia de lechuga orejona a los 5, 10 y 15 dds. Sumergidas las semillas por 2 horas en soluciones con base en “Alga Spirulina”.

Tratamientos	Emergencia a los 5 dds (%)	Emergencia a los 10 dds (%)	Emergencia a los 15 dds (%)
Semillas en agua	56 ^c	75 ^c	75 ^c
Semillas en una solución de 5 g/L de agua	68 ^b	80 ^{bc}	81 ^b
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	71 ^b	80 ^{bc}	81 ^b
Semillas en una solución de 20 g/L de agua	84 ^a	88 ^a	88 ^a
Semillas en una solución de 30 g/L de agua	67 ^b	85 ^{ab}	87 ^a
CV %	4.478*	6.322*	3.669*

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Por otra parte, los porcentajes de emergencia de semillas en lechuga romana, presentaron los mejores valores, para las dosis menores 5 y 10 g/L del producto en agua, sumergidas las semillas por 24 h, destacando la primera con una mayor velocidad de este suceso, nótese que en este caso las dosis de 20 y 30 g/L, no permitieron una estimulación de la emergencia, más bien lo retrasaron, pero sin disminuir



el por ciento de emergencia de la semilla, por lo que se descarta un efecto tóxico de relevancia (Cuadro 5).

Cuadro 5. Por ciento de emergencia de lechuga romana a los 5, 10 y 15 dds. Sumergidas las semillas por 24 h en soluciones a base de “Alga Spirulina”.

Tratamientos	Emergencia a los 5 dds (%)	Emergencia a los 10 dds (%)	Emergencia a los 15 dds (%)
Semillas en agua	74 ^c	83 ^b	83 ^b
Semillas en una solución de 5 g/L de agua	86 ^a	88 ^a	90 ^a
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	80 ^b	85 ^{ab}	89 ^a
Semillas en una solución de 20 g/L de agua	53 ^d	81 ^b	83 ^b
Semillas en una solución de 30 g/L de agua	50 ^d	81 ^b	83 ^b
CV %	4.107*	4.339*	3.786*

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); CV: Coeficiente de variación.

Los resultados corroboran lo visto en los cuadros anteriores, cuando se sumerge las semillas por espacio de 2 h es la dosis intermedia (20 g/L), la de mejores resultados y cuando el tiempo de inmersión es mayor, 24 h son las dosis menores (5 y 10 g/L), las de efectos superiores. Las respuestas agrícolas ante dosis reducidas, se debe a la composición química de estos organismos, conformada por una amplia variedad de sustancias promotoras del crecimiento, como auxinas, citoquininas, giberelinas y sustancias orgánicas, como aminoácidos y proteínas, entre otras, que promueven la emergencia y desarrollo de los cultivos (García y Martel, 2017).

Los extractos algales, pueden tener tanto efectos positivos como inhibitorios en la germinación de las semillas, dependiendo de la concentración, por lo que se deben usar con precaución; sin embargo, en la mayoría de los casos, su aplicación a bajas concentraciones conduce a un aumento beneficioso de las tasas de germinación de semillas (Ghaderiardakani *et al.*, 2019).

Otro aspecto a destacar es el incremento de la emergencia que produce el producto evaluado con respecto al testigo, regenerando el proceso de germinación, en un 17 y 16% en el primer caso (lechuga orejona) y 8 y 7% en el segundo caso lechuga (romana), siempre para las mejores dosis. Resultados similares, se han obtenido, al inocular semillas de café variedad Costa Rica con un 51.66% de emergencia, con extractos acuosos de las microalgas *C. vulgaris* y *N. oculata*, en dosis de 20 mL/L en



ambos casos, durante 48 h, con incrementos del 36.67 y 31.67% de emergencia, respectivamente (Apolinar *et al.*, 2018).

Mientras los Cuadros 6 y 7 muestran los datos de las variables morfológicas, número de hojas, altura de la planta, longitud de raíz y área foliar, para ambos tipos de lechugas orejona y romana, sumergidas en las diferentes soluciones del producto comercial en polvo “Alga Spirulina”, a base de *A. platensis*.

Cuadro 6. Altura de planta (cm), largo de raíz (cm), número de hojas y área foliar (cm²) de lechuga a los 26 dds la semilla. Sumergidas las semillas por 2 h en soluciones a base de “Alga Spirulina”.

Tratamientos	Altura de planta	N° de hojas	Largo de raíz	de Área foliar
Semillas en agua	5.17 ^e	3.40 ^c	6.44 ^d	10.60 ^d
Semillas en una solución de 5 g/L de agua	5.63 ^d	4.06 ^b	6.69 ^d	16.95 ^c
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	5.87 ^c	4.00 ^b	6.85 ^c	16.71 ^c
Semillas en una solución de 20 g/L de agua	6.66 ^a	4.53 ^a	7.79 ^a	30.50 ^a
Semillas en una solución de 30 g/L de agua	6.11 ^b	4.13 ^b	7.41 ^b	26.15 ^b
DMS _n	0.160 [*]	0.309 [*]	0.256 [*]	0.899 [*]
CV (%)	1.906	5.088	2.411	2.956

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); DMS_n (Diferencia significativa mínima) y Coeficiente de variación (CV).

Los resultados de los Cuadros 6 y 7, presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$), en la mayoría de las variables morfológicas, evidenciando efectos positivos del “Alga Spirulina” en todas sus dosis y tiempo de inmersión de las semillas de lechugas, independiente del tipo, manteniendo la misma tendencia de cuadros anteriores. En el caso de la lechuga orejona que la semilla estuvo sumergida en la solución de “Alga Spirulina”, por 2 h, las dosis de mejores resultados fueron 20 y 30 g/L del producto en agua en ese orden. A su vez, en lechuga romana, cuando el tiempo de inmersión fue de 24 h, las concentraciones de mayores beneficios, fueron 10 y 20 g/L del producto en agua respectivamente.



Cuadro 7. Altura de planta (cm), largo de raíz (cm), número de hojas y área foliar (cm²) de lechuga romana a los 28 dds. Sumergidas las semillas por 24 h en soluciones a base de “Alga *Spirulina*”.

Tratamientos	Altura planta	de N° de hojas	Largo raíz	de Área foliar
Semillas en agua	4.94 ^d	4.00	7.29 ^c	16.40 ^c
Semillas en una solución de 5 g/L de agua	5.24 ^c	4.00	7.35 ^c	20.38 ^b
Semillas en una solución de 10 g/L de agua	5.66 ^a	4.00	7.91 ^a	22.57 ^a
Semillas en una solución de 20 g/L de agua	5.52 ^b	4.00	7.73 ^{ab}	21.26 ^b
Semillas en una solución de 30 g/L de agua	5.46 ^b	4.00	7.63 ^b	20.81 ^b
DMS _n	0.097 [*]	n.s	0.185 [*]	1.026 [*]
CV (%)	2.200	0.500	2.619	3.358

Valores con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales, * ($p \leq 0.05$); DSMn (Diferencia significativa mínima), n.s(sin diferencia significativa) y Coeficiente de variación (CV).

Tales resultados se deben, a la composición química de *A. platensis*, descrita en párrafos anteriores; además, este microorganismo posee reguladores del crecimiento y antioxidantes que son capaces de incrementar la tolerancia de las plantas ante condiciones de estrés ambiental e incrementar la germinación de las semillas (Andreeva *et al.*, 2020).

Por lo tanto, el empleo de biofertilizantes a base *Spirulina platensis* (*A. platensis*), no sólo permitirá el mayor crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos. De igual manera, desencadenará incrementos en los valores nutricionales de los cultivos. Tales son los casos de *Amaranthus gangeticus*, donde se ha encontrado que la imbibición de las semillas y la aplicación foliar de extractos de *Spirulina* incrementaron los niveles de proteínas y de hierro en las plantas (Kalpana *et al.*, 2014; Anitha *et al.*, 2016b). En este mismo sentido, se ha reportado que la imbibición de semillas de *Phaseolus aureus* y *Solanum lycopersicum* L., en extractos de esta especie, aumentó los niveles de zinc en las plantas (Anitha *et al.*, 2016a).



Conclusiones

Las dosis 5 y 10 g/L del “Alga Spirulina” con base en *A. platensis* en soluciones acuosas, tuvieron los mayores % de emergencia y velocidad de emergencia de las semillas de lechuga cuando la inmersión de la semilla fue por 24 h. A su vez, cuando la inmersión fue de 2 h, la dosis de 20 g/L tuvo los mayores efectos para las variables indicadas anteriormente. Por su parte, las características morfológicas de las plantas de lechuga expresaron un mayor crecimiento y desarrollo con la dosis de 20 g/L cuando la inmersión de la semilla fue por 24 h. Sin embargo, cuando la inmersión fue por 2 horas, las dosis de 20 y 30 g/L permitieron una mayor expresión de las características de la plántula.

Literatura Citada

- Andreeva, A., V. Dolganyuk, E. Budenkova, S. Sukhikh, O. Babich, S. Ivanova *et al.* 2020. Study of morphological features and determination of the fatty acid composition of the microalgae lipid complex. 10(11), 1571.
- Anitha, L, G. S. Bramari and P. Kalpana. 2016a. Effect of supplementation of *Spirulina platensis* to enhance the zinc status in plants of *Amaranthus gangeticus*, *Phaseolus aureus* and tomato. Adv. Biosci. Biotechnol. 7(6):289-299.
- Anitha L., P. Kalpana and G. S. Bramari. 2016b. Evaluation of *Spirulina platensis* as microbial inoculants to enhanced protein levels in *Amaranthus gangeticus*. Afr. J. Agric. Res. 11(15):1353-1360.
- Apolinar, M., A. Lino, M. Griselda, M. Serafín, A. García, C. Rosas *et al.* 2018. Efecto de microalgas en la emergencia de semillas de cultivos de importancia agronómica. *In: Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático.* INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México.



- Crouch, I. J. and J. van Staden. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regul.* 13:21-29.
- De la Casa, A., G. Ovando, L. Bressanini, A. Rodríguez y J. Martínez. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agric. Téc. (Chile)* 67(1):78-85.
- Dmytryk, A., E. Rój, R. Wilk and K. Chojnacka. 2014. Innovative bioformulations for seed treatment. Preliminary assessment of functional properties in the initial plant growth phase. *Przem. Chem.* 93(6):959-963.
- García, R. G. y A. Martel. 2017. Usos y aplicaciones de macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica. <http://fci.uib.es/Servicios/libros/conferencias/seae/Usos-y-aplicaciones-de-macroalgas-y-microalgas-y.cid221515> [consultado el 24 de junio de 2023].
- Ghaderiardakani, F., E. Collas, D. K. Damiano, K. Tagg, N. S. Graham and J. C. Coates. 2019. Effects of green seaweed extract on *Arabidopsis* early development suggest roles for hormone signalling in plant responses to algal fertilisers. *Sci. Rep.* 9(1):1-13.
- Gómez, D. y M. Vásquez. 2011. Plántulas de invernadero. Serie: Producción Orgánica de Hortalizas de Clima Templado. Programa PYMERURAL. Tegucigalpa, Honduras. 34 p.
- Gutiérrez, G., L. Fabila y G. Chamorro. 2015. Nutritional and toxicological aspects of *Spirulina* (*Arthrospira*). *Nutr. Hosp.* 2(1):34-40.
- Hernández, R. M., F. Santacruz y G. Hernández. 2019. Germination and seedling growth responses of tomato *Solanum lycopersicum* L. to seaweed extracts applied on seeds. *Rev. Latinoam. Biotecnol. Amb. y Algal* 10(1):28-44.



- Kalpana, P., G. S. Bramari y L. Anitha. 2014. Biofortification of *Amaranthus gangeticus* using *Spirulina platensis* as microbial inoculant to enhance iron levels. *Int. J. Res. Appl. Nat. Soc. Scie.* 2:103-10.
- Masondo, N. A., M. G, Kulkarni, J. F. Finnie and J. van Staden. 2018. Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 147:43-48.
- Michalak, I., K. Chojnacka, A. Dmytryk, R. Wilk, M. Gramza and E. Rój. 2016. Evaluation of supercritical extracts of algae as biostimulants of plant growth in field trials. *Front. Plant Sci.* 7, 1591.
- Moller, M. and M. L. Smith. 1998. The significance of the mineral component of seaweed suspension on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedling growth. *J. Plant Physiol.* 153:658-663.
- Nascimento, W. M. and R. S. Pereira. 2007. Testes para avaliação do potencial fisiológico de sementes de alface e sua relação com a germinação sob temperaturas adversas. *Rev. Bras. Sementes* 29(3):175-179.
- Pagnussatt, F. A., V. R. de Lima, C. Dora, J. A. Costa, J. L. Putaux and E. Badiale. 2016. Assessment of the encapsulation effect of phenolic compounds from *Spirulina* sp. LEB-18 on their anti-fusarium activities. *Food Chem.* 211:616-623.
- Papadaki, S., K. Kyriakopoulou, I. Tzovenis and M. Krokida. 2017. Environmental impact of phycocyanin recovery from *Spirulina platensis* cyanobacterium. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 44:217-23.
- Ramírez, L. y R. Olvera. 2006. Uso tradicional y actual de *Spirulina* sp. (*Arthrospira* sp.). *Interciencia* 31(9):657-663.



SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), 2021. Al alza, producción y exportación de lechuga mexicana. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-produccion-y-exportacion-de-lechuga-mexicana?idiom=es> [consultado el 14 de junio de 2022].

Sharma, S., C. Fleming, C. Selby, J. Rao and T. Martin. 2014. Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *J. Applied Phyco.* 26:465-490.

Sharma, V., L. Sharma and K. Sandhu. 2020. Cucumber (*Cucumis sativus* L.). p. 333-340. *In:* Nayik, G. A. and A. Gull. (eds.). *Antioxidants in vegetables and nuts. Properties and health benefits.* Springer Nature Singapore Pte Ltd. Singapore.

Spolaore, P., C. Joannis, E. Duran and A. Isambert, 2006. Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 101(2):87-96.

Wuang, S. C., M. C. Khin, P. Q. D. Chua and Y. D. Luo. 2016. Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Res.* 15:59-64.



EVALUACION DE GENOTIPOS DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.) CULTIVADO EN INVERNADERO CON TECNOLOGÍA SUSTENTABLE

Andrés Vásquez Hernández^{47*}, Héctor Cabrera Mireles⁴⁷, Arturo Durán Prado⁴⁷, Isaac Meneses Márquez⁴⁷
y Arturo Andrés Gómez⁴⁷

Resumen

En el ciclo O-I, 2022-2023 en un invernadero tropical con ventana cenital ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín, Ver., se estableció un experimento en el que se determinó el comportamiento agronómico de cinco genotipos de chile habanero, producidos con tecnología de fertirriego y acolchado plástico blanco-negro. Se evaluaron los genotipos Jaguar, Mayapan, HRA 1-1, Café y Amarillo, con dos tratamientos de fertilización: T1. Fertilización química tradicional con base en fertilizantes químicos al 100% (186N-80P₂O₅-120K₂O) y T2. Fertilización sustentable con 50% de fertilización química (80N-40P₂O₅-60K₂O) + 5 t/ha bocashi + *Rhizophagus* + *Trichoderma* a la siembra. El T2 fue estadísticamente diferente y superior al tradicional T1 con una diferencia de 4.73 t/ha. Los genotipos HRA-1-1, Mayapan y Café con T2 fueron superiores en rendimiento, peso y longitud de frutos, mostrándose como genotipos sobresalientes para el cultivo en invernadero con tecnología sustentable. La producción en invernadero muestra su bondad sobre la calidad de fruto, ya que, tanto en peso como en tamaño, los cinco genotipos evaluados rebasaron los índices de calidad de la NOM para chile habanero. El análisis de varianza para rendimiento de frutos por cortes resultó con diferencias altamente significativas ($\alpha > 0.0001$, DMS=0.497) y muestra como mejores a los cortes 1 y 2, en los cuales se obtuvo mayor rendimiento de frutos frescos, con 12.93 y 12.90 kg por corte respectivamente, seguidos por el 3, con 12.43 kg. De manera general el tratamiento sustentable sobrepasó de manera estadísticamente significativa a la tecnología tradicional en rendimiento, peso y longitud de fruto, mostrándose como una tecnología de alto impacto para la producción de chile habanero en invernadero, con una relación beneficio/costo de 3.96, tomando en cuenta el costo del invernadero a 12 años y dos ciclos anuales de cultivo.

⁴⁷ Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. *vasquez.andres@inifap.gob.mx



Palabras clave: agricultura protegida, *Rhizophagus*, *Trichoderma*

Introducción

En la actualidad, existen nuevas tecnologías de producción de hortalizas en ambiente protegido, con alto potencial de rendimiento y bajo impacto negativo al medio ambiente en comparación con las tecnologías tradicionales. La tecnología de producción en invernadero representa mayor seguridad de éxito para los productores, con productos de mejor calidad, ya que es posible controlar hasta cierta medida las condiciones extremas del cambio climático (Santoyo *et al.*, 2007), ya que en este tipo de tecnologías se utiliza menos agua para riego, se controla mejor la nutrición del cultivo y al estar aislada del medio ambiente exterior, se tiene menor riesgo al ataque de plagas y de enfermedades (Santoyo *et al.*, 2007 y Santos *et al.*, 2010), lo que reduce la aplicación de agroquímicos tóxicos al productor, consumidor y al medio ambiente, por lo que en México, más del 90% de la superficie sembrada con chile se establece con plantas producidas en almácigos e invernadero; también se menciona que de 2002 a 2006, diversos organismos de investigación como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, de Universidad Autónoma de Sinaloa, han implementado paquetes tecnológicos, producto de estudios de investigación, para validar semillas de alta productividad en invernadero (chiles bell) y campo abierto (chiles picosos) en condiciones de riego por goteo o localizado. Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez (2017) y López-Gómez *et al.* (2017) mencionan que la horticultura protegida es una alternativa para los productores, ya que les permite satisfacer las necesidades del mercado y enfrentar con éxito los rigores del cambio climático y sus efectos adversos. La producción de chile habanero en invernadero en condiciones óptimas es de 90 a 100 toneladas por hectárea al año, con un valor de venta de 18 a 20 pesos por kilogramo, que lo hace un cultivo muy rentable; su periodo desde el trasplante hasta la cosecha es de aproximadamente 85 días a cielo abierto y 130 en invernadero (Enríquez, 2012; Zamudio-Moreno *et al.*, 2014; López *et al.*, 2015), además, la producción de chile habanero con riego por goteo, fertirrigación, cubierta plástica, producción de plántula en charolas y el manejo integrado de plagas es una nueva alternativa tecnológica rentable y competitiva para mejorar los ingresos de los productores. La utilización adecuada de los fertilizantes en los cultivos permite obtener rendimientos adecuados, reducir costos de producción del cultivo y la contaminación del medio ambiente (Burgos *et*



al., 2020; López *et al.*, 2020). De igual manera, se han observado diferencias por el efecto de la interacción genotipo-ambiente entre distintos genotipos de *Capsicum chinense* en distintos ambientes (Zamudio-Moreno *et al.*, 2014; Burgos *et al.*, 2020).

La SAGARPA (2017) menciona que, en México el grupo de chiles y pimientos se constituye principalmente por los cultivos de chile de árbol, chile habanero, chile bell, chile ancho y chile Anaheim. Actualmente estos cultivos son de exportación, el 29.71% de la producción total se destina al mercado internacional. En particular, las exportaciones en México representan un porcentaje muy significativo de las importaciones de chiles y pimientos de Estados Unidos con 77.99%, Canadá, con 55.45% y Guatemala, con 52.25%. En México, la superficie sembrada en el año 2010, fluctuó alrededor de 148,758 ha, de las cuales, el 85% cuenta con sistemas de riego (SAGARPA, 2009; SAGARPA, 2017)

México ocupa el segundo lugar en producción de chiles frescos a nivel mundial, con el 9% del total y 132,337 ha del cultivo con 2'054,968 t producidas. Los países que presentan rendimientos más altos en la producción de chiles frescos son aquellos que emplean tecnologías de alta precisión para la aplicación de riegos y fertilizantes, entre ellos: Países Bajos, Bélgica, Reino Unido, Finlandia, Kuwait y Austria, todos con rendimientos arriba de 50 t/ha. México se clasifica un poco abajo del promedio de rendimiento mundial (17.22 t/ha), con un rendimiento promedio de 16.22 t/ha con relación al año 2010, ya que es una potencia productora y exportadora de hortalizas: décimo lugar mundial por volumen y cuarto exportador gracias a su diversidad de climas y territorios, que permiten este cultivo todo el año (CONAPROCH A.C., 2012). Aunque en décadas anteriores, Veracruz fue un estado con participación nacional importante en la producción de chile, la presencia de plagas como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) transmisora del virus “del chino”, hizo que se incrementaran los costos de producción por la alta cantidad y frecuencia de aplicación de agroquímicos, lo que además redujo drásticamente los rendimientos, por lo que la superficie sembrada prácticamente desapareció a partir del año 1996; en respuesta a esta problemática se elevó la aplicación de insecticidas, lo que incrementó los costos de producción y la contaminación del ambiente, sin lograr el control rentable de esta plaga, además de causar un aumento en la resistencia de este insecto a los agroquímicos comunes (Cruz y Díaz, 1992). López *et al.* (2015) mencionan que la producción de chile habanero con riego por goteo, fertirrigación, cubierta plástica, producción de plántula en charolas y manejo integrado de plagas es una nueva alternativa tecnológica rentable y competitiva para mejorar los ingresos de los productores. El inicio de la cosecha depende del tipo de chile habanero y el destino de la producción. Para el consumo en fresco,



generalmente se emplea el de color naranja; en este caso, el primer corte se realiza cuando los frutos tienen un color verde brillante y son duros al tacto; esto ocurre aproximadamente a los 75 días después del trasplante. Si el tiempo de la cosecha se alarga, el fruto maduro colorea y se reduce su valor comercial, y la planta pierde vigor y puede morir por el exceso de frutos que requiere mantener. La calidad del fruto del chile habanero color naranja, la determina su apariencia, el tamaño y el peso unitario, así como la firmeza y el color. Para su venta, el fruto se clasifica en grande, cuyo peso es mayor de 10 g, mediano, con peso de entre 7.5 y 10 g, chico, con peso de entre 5 y 7.5 g, y rezaga con peso menor a 5 g. Su tamaño determina el peso y el precio que se obtiene en el mercado (Gobierno del estado de Tabasco, 2017). El color de los frutos es verde cuando son tiernos, pero al madurar pueden presentar colores anaranjados, amarillos, rojos, rosados o marrones (INTAGRI, 2023). El chile habanero es el chile más producido en invernadero debido a su alta rentabilidad, retornos económicos, competencia y demanda en el mercado. En el sur del país, la península de Yucatán y Veracruz, son las regiones donde se produce más chile habanero, por sus climas idóneos para este cultivo. La cantidad de producción en invernadero de este cultivo en condiciones óptimas es de 90 a 100 t al año por hectárea y el cultivo se vende entre 18 y 20 pesos por kg, lo que lo hace muy rentable. Sus aplicaciones más comunes son en el mercado culinario; sin embargo, se están popularizando los usos industriales, como la adición a pinturas para la protección contra microorganismos (CONTUBMEX, 2023). La evaluación de genotipos de chile se enfoca en determinar su adaptación, crecimiento y producción en determinadas condiciones de desarrollo, con el fin de seleccionar los genotipos más competitivos, ya que pueden mostrar diferente comportamiento al someterlos a condiciones especiales de desarrollo, que es la interacción genotipo-ambiente, como es el caso del cultivo en invernaderos; con esta información el productor cuenta con más elementos para seleccionar el genotipo que responda a sus requerimientos y así reducir las probabilidades de una mala elección del material de siembra con las consecuentes pérdidas económicas (Elizondo-Cabalceta y Monge-Pérez, 2017). En la actualidad, la variedad comercial Jaguar se siembra en más de 50% de la superficie cultivada en México (Ramírez *et al.*, 2012; Meneses *et al.*, 2018), lo que representa un monopolio tanto comercial, como filogenético. Para generar competencia en el mercado y aumentar las opciones para los productores se requiere desarrollar variedades mejoradas genéticamente con excelentes atributos de calidad, rendimiento y productividad. Las evaluaciones agronómicas permiten conocer el potencial productivo que posee un cultivo; no obstante, las evaluaciones fenológicas y fisiológicas son un reflejo de su productividad y permiten relacionar las respuestas de las plantas con el ambiente (Jaimez y Rada, 2016). La importancia de



seleccionar los materiales a plantar, radica en que en ello se impactará directamente la productividad del mismo y ello implica seleccionar materiales con ciertas características de crecimiento y desarrollo y de adaptabilidad a ciertas condiciones de suelo y ambiente. Jaguar es la variedad de habanero más sembrada y comercializada en Yucatán, Chiapas, Veracruz y Michoacán, que son los principales estados productores (Ramírez *et al.*, 2018); produce frutos uniformes, de color verde esmeralda en estado verde sazón, que se tornan anaranjado brillante en madurez total; tiene frutos con longitud de 3.8 a 5.5 cm y 2.5 a 3 cm de diámetro con un peso por fruto de 6.5 a 10 g, los cuales reúnen las características especificadas en la Norma Mexicana para Chiles Frescos (CTNNPAP, 2007; Ramírez *et al.*, 2018). De acuerdo a la NOM NMX-FF-025-SCFI-2007, los chiles habaneros se clasifican por calidad de acuerdo a su tamaño en: chico < 2 cm, mediano de 2 a 3.9 cm y grande ≥ 4 cm. Tomando en cuenta que el chile habanero Jaguar es el que más se utiliza y siembra, se le considera como el referente de comparación para otros materiales que se evalúan, por lo que para generar competencia en el mercado y aumentar las opciones para los productores, se requiere desarrollar variedades mejoradas genéticamente con excelentes atributos de calidad, rendimiento y productividad. De esta manera, se vuelven indispensables los estudios de caracterización y evaluación que permitan diferenciar las mejores accesiones de una especie y sus atributos de importancia agronómica, así como conocer su potencial genético (Jaimez y Rada, 2016; Meneses *et al.*, 2018) y sus diferencias en desarrollo y contenido químico de frutos (Jeeatid *et al.*, 2018), como el contenido de capsaicinoides, además de la influencia genotipo-ambiente. Para el estado de Veracruz, Díaz *et al.* (2001) realizaron una zonificación para ubicar las zonas de excelente, mediano y bajo potencial productivo para 58 especies de importancia económica, entre ellos las diversas variedades de chile (*Capsicum* spp.), reportan que se delimitaron 240,276 ha con potencial óptimo para la producción de chile habanero, las cuales representan sólo el 3.05% de la superficie total estatal y el 4.46% del total de la superficie con potencial para esta variedad en la entidad. Esta zona óptima se localiza al sur del estado de Veracruz en un área comprendida entre los municipios de Playa Vicente, Hueyapan de Ocampo, San Juan Evangelista y Jáltipan de Morelos. La superficie con potencial mediano resultó de 5'149,355 ha, que representa 65.33% de la superficie total del estado y 95.54% de la superficie con potencial para chile habanero en la entidad. El chile habanero es una planta que logra ciclos de cultivo de 15 a 18 meses de vida. Aguirre *et al.* (2010) mencionan que las endomicorrizas benefician el desarrollo de las plantas o mejoran las condiciones del suelo mediante el incremento del área de exploración del sistema radical y mayor abastecimiento de nutrientes y agua; asimismo que se ha comprobado que la aplicación de diversas



combinaciones de microorganismos, hongos y bacterias en diferentes plantas, tienen efecto sinérgico en la nutrición de la planta huésped y su concomitante benéfico en el desarrollo vegetativo y reproductivo. Los hongos *Trichoderma* spp. han mostrado efecto biológico letal contra hongos patógenos, lo que posibilita incrementar la productividad y la competitividad de la agricultura, así como la producción de alimentos básicos inocuos y de alta calidad nutricional. Además, se ha demostrado que *Trichoderma* spp. actúa contra un amplio rango de hongos fitopatógenos que se transmiten por suelo y aire, por lo que se usa contra pudriciones en un amplio rango de especies, causadas por *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium* y patógenos formadores de esclerocios como *Sclerotinia* y *Sclerotium*. *Trichoderma* spp. tiene la capacidad de tomar los nutrientes de los hongos patógenos, compite con ellos o los degrada. También se alimenta de los materiales orgánicos, degradándolos. Por ello, las incorporaciones de materia orgánica y composta favorecen su establecimiento en el suelo. El hongo requiere de humedad para poder germinar. Además, tiene una velocidad bastante alta de crecimiento, por lo que es capaz de establecerse en el suelo y controlar enfermedades que afectan a los cultivos (Chiriboga *et al.*, 2015). Herrera-Parra *et al.* (2023) mencionan que las especies de *Trichoderma* presentan cuatro mecanismos de acción: el primero, asociado con la habilidad para competir por espacio y nutrientes para establecerse en la rizósfera y liberar moléculas de hierro, que favorecen la asimilación de iones de calcio, cobre y zinc, además de producir los ácidos orgánicos glucónico y fumárico, de solubilizar fosfatos, micronutrientes y cationes de minerales como hierro, magnesio y manganeso, que son asimilados por las plantas. En un estudio del efecto de los bioestimulantes sobre la calidad de chile habanero en que evaluaron tres bioestimulantes microbianos sobre semillas, plántulas y la calidad de fruto de chile habanero bajo condiciones protegidas de macrotunel, Murillo-Cuevas *et al.* (2021) encontraron que, en cuanto al tamaño y peso de frutos, las plantas tratadas con los bioestimulantes produjeron frutos significativamente más grandes y pesados que las plantas testigo. En un trabajo de investigación sobre la rentabilidad económica de producción de chile habanero en invernadero, mediante abonos orgánicos, Marina *et al.* (2020) concluyeron que existe viabilidad económica del cultivo de chile habanero en invernadero utilizando el tratamiento con lombricomposta debido a mayor rendimiento/planta y que es posible incrementar la rentabilidad y productividad del cultivo mejorando el manejo cultural, fertilización, manejo de plagas y enfermedades, mediante la capacitación técnica del productor, que le permita optimizar el sistema productivo. SMATTCOM (2023), menciona que el precio de habanero en los principales estados productores de México oscila entre \$35.00 y \$117.00 por kilogramo de fruto fresco. Para el estado de Veracruz se reporta un precio promedio al productor de



\$55.00 por kilogramo de fruto fresco, con un costo de producción de \$345,000 por hectárea para cultivo en invernadero.

Dada la importancia actual del sistema de producción en invernadero y del beneficio del cultivo de chile habanero para el productor, en esta investigación se determinó el comportamiento agronómico de cinco genotipos comerciales de chile habanero bajo condiciones de invernadero y con aplicación de biofertilizantes, *Rhizophagus* y *Trichoderma* adicionados con bocashi como abono orgánico, con el objetivo de contribuir con el paquete de tecnología de producción sustentable, adecuada a las actuales condiciones ambientales, económicas y sociales.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el ciclo O-I, 2022-2023 en un invernadero tropical con ventana cenital ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín, Ver. (18°8.33' y 96°11.31'), de dimensiones 12 x 30 m. Se utilizó un sistema de fertirriego y acolchado plástico blanco-negro calibre 600, ya que esta película tiene gran reflexión foto lumínica hacia el follaje de la planta, incrementando el proceso de fotosíntesis y ahuyentando a los insectos (INAGRIMEX, 2023). Se realizaron camas de siembra de 1 m de ancho y 26 m de largo en siembras a doble hilera, con una separación de 0.40 m entre hileras y 0.50 m entre matas con una planta por punto de siembra. Se usó cintilla de riego por hilera, con emisores cada 30 cm y un gasto de 1.10 L/h; para la producción de plántulas se utilizaron charolas de 200 cavidades. El diseño experimental fue de parcelas divididas: la parcela grande fueron los tratamientos de fertilización: 1. Fertilización química (F.Q.) al 100% (se aplicó el tratamiento 160-80-120, (N-P₂O₅-K₂O) dividido en 12 aplicaciones semanales), 2. Tratamiento con 50% de fertilización química (se aplicó una dosis única de 5 t ha⁻¹ de bocashi y el tratamiento de fertilización 80-40-60, dividido en 12 dosis semanales, combinado con los biofertilizantes *Rhizophagus* y *Trichoderma* que se aplicaron a la semilla a la siembra). La parcela chica fueron los genotipos de chile habanero Jaguar, Mayapan, HRA-1-1, Café y Amarillo; cada parcela experimental estuvo formada por 10 plantas con cuatro repeticiones. Se estimó altura de planta con regla graduada cada siete días en las 10 plantas de cada parcela. A partir de aparición de coloración de frutos se iniciaron los cortes, por parcela y repetición. Estos frutos se pesaron y caracterizaron por parcela; también se determinó el tamaño de frutos por su longitud y diámetro polar. Para ver el efecto de los tratamientos se hizo análisis de



varianza, y cuando este fue significativo se realizó prueba de Tukey para determinar las diferencias entre tratamientos.

Resultados y Discusión

El T2, correspondiente a la tecnología sustentable, tuvo un rendimiento general de 38.97 t/ha, y fue superior significativamente al T1 tecnología tradicional (Cuadro 1), el cual tuvo un rendimiento total durante el periodo que se condujo el experimento, equivalente a 34.23 t/ha, con una diferencia de 4.73 t/ha, lo que significa 12.15% de diferencia, claro indicador de las ventajas de la aplicación de *Trichoderma* y *Rhizophagus* combinados con bocashi sobre la tecnología tradicional, en concordancia con lo que mencionan Murillo-Cuevas *et al.* (2021), que las plantas de chile habanero tratadas con bioestimulantes producen frutos significativamente más grandes y pesados que las plantas testigo.

Cuadro 1. Comparación general de los tratamientos aplicados a los cinco genotipos.

Tratamientos	Rendimiento de fruto fresco (t/ha)
T2 Fq. 50% + Biofertilizantes	38.97 a
T1 Fq. 100%	34.23 b

$p > 0.5$, DMS = 0.56. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

El análisis de varianza del peso de frutos frescos por genotipo fue altamente significativo, sobresaliendo HRA-1-1 y Mayapan con 11.76 y 11.49 g por fruto respectivamente, café se mostró intermedio con 11.27 g por fruto, jaguar y amarillo estuvieron en lugar 4 y 5 respectivamente con 10.24 y 10.13 (Cuadro 2). De manera general, la calidad obtenida es sobresaliente, ya que todos los genotipos excedieron los 10 g de peso por fruto, y, de acuerdo con la clasificación de calidad de fruto de habanero del Gobierno del estado de Tabasco (2017), se pueden clasificar como frutos grandes.



Cuadro 2. Efecto de los tratamientos en el peso promedio de frutos frescos de un total de siete cortes.

Variedad	Peso promedio del fruto (g)
HRA-1-1	11.76 a
Mayapan	11.49 a b
Café	11.27 b
Jaguar	10.24 c
Amarillo	10.13 c

$p > 0.05$, DMS = 0.375. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

El genotipo HRA-1-1 presentó una longitud de fruto significativamente mayor al resto de los genotipos, con 53.29 mm, seguido por Café en T1 y T2, pero en todos los casos, el tratamiento de tecnología sustentable fue mejor que tecnología tradicional. En todos los genotipos y con ambos tratamientos de tecnología, la longitud de fruto rebasó los 40 mm, tamaño considerado como grande, de acuerdo a la NOM NMX-FF-025-SCFI-2007, y un claro indicador de fruto de buena calidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos en la longitud promedio de frutos por genotipo, de un total de siete cortes.

Genotipo	Longitud (mm)
HRA-1-1 T2	53.29 a
Café T2	50.99 b
Café T1	50.36 b
HRA1-1 T1	49.71 b
Amarillo T2	46.89 c
Jaguar T2	46.69 c
Mayapan T2	45.55 c d
Mayapan T1	45.22 d
Amarillo T1	44.76 d
Jaguar T1	43.55 e

$(p > 0.05)$, DMS = 1.44. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).



El análisis de varianza para rendimiento de frutos por cortes resultó con diferencias altamente significativas ($\alpha > 0.0001$, DMS=0.497) y muestra como mejores a los cortes 1 y 2, en los cuales se obtuvo mayor rendimiento de frutos frescos, con 12.93 y 12.90 kg por corte respectivamente, seguidos por el corte 3, con 12.43 kg; en los cortes posteriores el rendimiento disminuyó progresivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en el rendimiento promedio de frutos frescos por corte.

Corte	Frutos frescos (kg/parcela)
2	12.93 a
1	12.90 ab
3	12.43 b
4	11.23 c
5	10.11 d
6	8.86 e
7	8.39 e

$p > 0.05$, DMS= 0.497. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

Respecto al efecto de los tratamientos sobre los genotipos evaluados (Cuadro 5), el análisis de varianza muestra diferencias altamente significativas para genotipos y tratamientos de fertilización. La comparación de medias indica que T2 tecnología sustentable con base en el 50% de fertilización química y biofertilizantes, sobresale sobre T1 tecnología tradicional con fertilización química al 100%; de esto, los genotipos HRA-1-1, Mayapan y Café, al 50% con biofertilizante fueron superiores a los demás genotipos. En cuanto a la relación beneficio/costo, tomando en cuenta \$55.00 el valor promedio de chile habanero para el estado de Veracruz, con un rendimiento de 40 t/ha de fruto fresco, se tendrá un total de \$2'200,000.00 con un costo de producción de \$345,000.00 por hectárea más \$210,000 por costo de invernadero repartido a 12 años de uso, con dos ciclos de cultivo al año, se hace un costo total de \$555,000, con una ganancia de 1'645,000, lo que da una relación beneficio/costo de 3.96, la cual comprueba la bondad de la tecnología.



Cuadro 5. Efecto de tratamientos de fertilización sobre el rendimiento de los genotipos.

Genotipo	Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)
HRA-1-1	T2	40.533 a
Mayapan	T2	40.333 a
Café	T2	39.199 a b
Jaguar	T2	38.166 b c
HRA-1-1	T1	37.866 b c d
Amarillo	T2	36.599 c d
Mayapan	T1	36.266 c d
Café	T1	35.899 d
Amarillo	T1	30.933 e
Jaguar	T1	30.099 e

$p > 0.05$, DMS 2.049. Medias con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

1. El tratamiento sustentable fue mejor que la tecnología tradicional en todas las variables estudiadas, mostrándose como una tecnología positiva de alto impacto para la producción de chile habanero en invernadero. 2. El genotipo HRA-1-1 seguido de Mayapan y Café con tecnología sustentable con biofertilizantes *Rhizopagus* y *Trichoderma*, adicionados con bocashi, son superiores en rendimiento, peso y longitud de frutos, mostrándose como genotipos sobresalientes para el cultivo en invernadero con tecnología sustentable. 3. En tecnología tradicional los genotipos HRA-1-1, Mayapan y Café resultaron sobresalientes en rendimiento y calidad de fruto por peso y longitud. 4. La producción en invernadero mostró su bondad sobre la calidad de fruto, ya que, tanto en peso como tamaño, los cinco genotipos rebasaron los índices de calidad de la NOM para chile habanero. 5. La tecnología sustentable con base en biofertilizantes y abono orgánico fue mejor que la tecnología tradicional, ya que presenta grandes ventajas económicas por su relación de beneficio/costo, así como por su de bajo impacto al medio ambiente, por lo que es recomendable su difusión para incrementar su adopción por los productores.



Literatura Citada

- Aguirre, M. J. F., M. B. Irizar G., A. Durán P., O. A. Grajeda C., M. A. Peña R., C. Loredó O. *et al.* 2010. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Folleto Técnico Núm. 5. SAGARPA. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chis., México. 68 p.
- Burgos, V. E., I. Echevarría M., J. Narváez Z. y M. Martínez E. 2020. Genes relacionados a la biosíntesis de capsaicinoides en el género *Capsicum*: un enfoque transcriptómico. p. 293-294. *In*: Rodríguez, B. I. M., M. O. Ramírez S. y E. J. Ramírez R. (eds.). 2020. Metabolómica y cultivo del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) de la península de Yucatán, Mexico. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. Guadalajara, Jal., México.
- Chiriboga, P. H., G. Gómez B. y K. Garcés E. 2015. Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo: *Trichoderma* spp. para el control biológico de enfermedades. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria. Asunción, Paraguay. 14 p.
- CONAPROCH A. C. (Comité Nacional del Sistema Producto Chile). 2012. Plan Rector Nacional 2012. México. 80 p.
- CONTUBMEX. 2023. Invernaderos Contub – Proyectos de Invernaderos en México. <https://invernaderoscontub.com> [consultado el 25 de mayo de 2023].
- Cruz, R. L. M. y P. Díaz. 1992. Susceptibilidad a insecticidas de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae) procedente de la región hortícola de Piedras Negras, Veracruz. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 18. Villa Úrsulo Galván, Ver., México. 73 p.



- CTNNPAP (Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios). 2007. NMX-FF-025-SCFI-2007. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-chile fresco (*Capsicum* spp.) – especificaciones (cancela a la NMX-FF-025-1982). <http://cide.uach.mx/pdf/NORMAS%20MEXICANAS%20NMX/PRODUCTOS%20ALIMENTICIOS%20NO%20INDUSTRIALIZADOS%20PARA%20USO%20HUMANO/PRODUCTOS%20ALIMENTICIOS%20NO%20INDUSTRIALIZADOS%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO.%20CHILE%20FRESCO.pdf> [consultado el 10 de septiembre de 2023].
- Díaz, P. G., M. F. Cortina C. y L. Rodríguez P. 2001. Estudio de las potencialidades productivas para el uso del suelo del estado de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Fundación PRODUCE-Veracruz. Xalapa, Ver., México. 132 p.
- Elizondo-Cabalceta, E. y J. E. Monge-Pérez. 2017. Evaluación de rendimiento y calidad de 15 genotipos de pimiento (*Capsicum annum* L.) cultivados bajo invernadero en Costa Rica. *Tecnol. Marcha* 30(4):3-14.
- Enríquez, S. 2012. Logrando éxito en la producción de chile habanero bajo invernadero. Capacitación agrícola INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/noticias/exito-en-la-produccion-de-chile-habanero-bajo-invernadero> [consultado el 10 de septiembre de 2023].
- Gobierno del estado de Tabasco. 2017. Proyecto para generar valor agregado en los productos de chile habanero en el estado de Tabasco. Diseño de líneas estratégicas para potencializar la producción y comercialización de chile habanero. <https://docplayer.es/86750074-Proyecto-para-generar-valor-agregado-en-los-productos-de-chile-habanero-en-el-estado-de-tabasco.html> [consultado el 10 de septiembre de 2023].
- Herrera-Parra, E., M. Reyes-Estébanez, J. Cristóbal-Alejo, C. Basto-Pool y M. Zavala-León. 2023. *Trichoderma*: recurso microbiológico y sus aplicaciones en la agricultura en Yucatán, México. *DHCICY* 15:27-32.



INAGRIMEX (Industrias Agrícolas Mexicanas). 2023. Acolchado agrícola. <https://www.inagrimex.com/productos/acolchado> [consultado el 14 de junio de 2023].

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2023. Los biofertilizantes en la agricultura. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura> [consultado el 23 julio de 2023].

Jaimez R. E. and F. Rada. (2016). Gas exchange, growth, flowering and fruit production in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) along a thermal gradient determined by altitudinal differences in a tropical region. *Exp. Agric.* 52:251-265.

Jeeatid, N., S. Techawongtien, P. Suwor, S. Chanthai, P. W. Bosland and S. Techawongstien. 2018. Responses of hot peeper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars to different container sizes for capsinoid production under controlled house conditions. *SABRAO J. Breed. Genet.* 50(4):510-522.

López-Gómez, J. D., O. G. Villegas-Torres, H. Sotelo N., M. Andrade R., P. Juárez L. y E. Martínez F. 2017. Rendimiento y calidad de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) por efecto del régimen nutrimental. *REMEXCA* 8(8):1747-1758.

López, L. R., F. Mirafuentes H., W. I. Avilés B., J. A. Jiménez C. e I. Meneses M. 2015. Producción de chile habanero con riego por goteo. Folleto Técnico No. 80. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Huimanguillo. Huimanguillo Tab., Mexico. 55 p.

López, P. G., J. D. Rodríguez R., M. O. Ramírez S. e I. M. Rodríguez B. 2020. Manejo agronómico y los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas del cultivo de chile habanero. p. 4-23. *In: Rodríguez, B. I. M., M. O. Ramírez S. y E. J. Ramírez R. (eds.). 2020. Metabolómica y cultivo del chile habanero (Capsicum chinense Jacq) de la península de Yucatán, Mexico. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. Guadalajara, Jal., México.*



- Marina, C. J. A., V. M. Gerónimo A., R. E. Palacios T., C. J. Martínez C., L. Javier L. y M. E. Aguilera M. 2020. Rentabilidad económica de la producción del chile habanero con mezcla de sustratos y fertilización orgánica en invernadero. *Temas Cie. Tecnol.* 24(72):3-8.
- Meneses, L. R. E., R. Garruña H., L. Latournieri M., J. L. Andrade T. y A. Pérez G. 2018. Caracterización fenológica y fisiológica de variedades de chile habanero con alto potencial agronómico. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(1):67-74.
- Murillo-Cuevas, F. D., H. Cabrera-Mireles, J. Adame-García y A. Vásquez-Hernández, A. J. Martínez-García y R. Luria Moctezuma. 2021. Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *REMEXCA* 12(8):1473-1481.
- Ramírez, M. M., G. Arcos C., H. Mata V. y E. Vázquez G. 2012. Jaguar, variedad de chile habanero para México. Folleto Técnico. No. 28. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Las Huastecas. Tampico, Tam., México. 35 p.
- Ramírez, M. M., G. Arcos C. y R. Méndez A. 2018. Jaguar: cultivar de chile habanero para México. *REMEXCA* 9(2)487-492.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. SIACON 1980-2010. Base de datos.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Chiles y Pimientos Mexicanos. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Subsecretaría de Agricultura. México. 28 p.



Santos, B. M., H. A. Obregón-Olivas y T. P. Salamé-Donoso. 2010. Producción de hortalizas en ambientes protegidos: estructuras para la agricultura protegida. University of Florida. IFAS Extension.

https://horticulture.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk1816/files/extension_material_files/Santos_academic_paper_estructuras_para_la_agricultura_protegida.pdf [consultado el 10 de septiembre de 2023].

Santoyo, J. J. A., C. O. Martínez A. y J. A. Garzón C. 2007. Validación del potencial productivo de chiles anchos y picosos en el sur de Sinaloa. Resultados de Proyectos. Fundación Produce Sinaloa A. C. Centro de Validación y Transferencia de Tecnología de Sinaloa, A. C. Culiacán, Sin., México. 43 p.

SMATTCOM (Comercio Inteligente para el Agro). 2023. Precio habanero por tonelada. <https://www.smattcom.com> [consultado el 23 de junio de 2023].

Zamudio-Moreno, E., I. Echevarría-Machado, M. F. Medina-Lara, G. Calva-Calva, M. L. Miranda-Ham y M. L. Martínez-Estévez. 2014. Role of peroxidases in capsaicinoids degradation in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq) plants grown under water deficit conditions. Aust. J. Crop Sci. 8(3):448-454.



IMPACTO ECONÓMICO DEL BIOFERTILIZANTE MICORRIZICO INIFAP^{MR} EN EL CULTIVO DE YUCA (*Manihot esculenta* Crantz) EN VERACRUZ

Arturo Durán Prado^{48*}, Andrés Vásquez Hernández⁴⁸, Isaac Meneses Márquez⁴⁸, Mario Rodríguez Cuevas⁴⁹,
Miguel Ángel Ramírez Guillermo⁴⁹ y Jorge Martínez Herrera⁵⁰

Resumen

La raíz de yuca es un alimento que se considera como una fuente de energía principal para más de 500 millones de personas en Asia, África y América, ya que constituye un alimento básico en forma de raíz fresca o procesada. En el Campo Cotaxtla del INIFAP, se sembró una parcela de validación de la yuca variedad criolla Ceiba de San Andrés Tuxtla, Ver., México, con el objetivo de determinar el potencial productivo, actualizar y reducir en al menos el 50% de la fertilización química de N-P-K. Se validaron dos tratamientos: T1. Fertilización 100% (146-46-60 kg/ha de N-P-K) y T2. Fertilización al 50% (78-23-30 kg/ha de N-P-K) + 3 kg/ha de micorriza INIFAP; el diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron análisis estadísticos de la altura, diámetro de tallo, lecturas de SPAD Minolta 502 en hojas a los 34, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 días después de la siembra, así como el número, longitud y diámetro de raíces por planta, peso de raíces por planta y el rendimiento de raíces en t/ha. Los resultados indicaron que en la mayoría de las variables analizadas no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. 1. Se determinó que el potencial de rendimiento de raíces de yuca es de hasta 39.07 t/ha, con la aplicación de 3 kg/ha del biofertilizante micorrizico INIFAP, 2. Es posible reducir la fertilización química de N-P-K al menos en 50%, 3. Se desarrolló una nueva forma de fertilización que implica la combinación de fertilización química con micorriza que impacta en la productividad, rentabilidad y sustentabilidad del cultivo de yuca en Veracruz, y 4. Con base en el rendimiento de yuca fresca, el análisis económico fue más favorable para el T1 con una relación beneficio/costo (B/C) de 7.73 vs 6.99 del T2, fertilizado (100%). El rendimiento de yuca promedio en Veracruz (10.88 t/ha), fue superado en 259.0 y 260.1%, respectivamente.

⁴⁸ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. duran.arturo@inifap.gob.mx

⁴⁹ Campo Experimental Huimanguillo. CIRGOC. INIFAP.

⁵⁰ Universidad Politécnica de Huatusco, Ver.



Palabras clave: micorriza, SPAD, fertilización, validación

Introducción

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta tropical perenne-arbustiva de la familia Euphorbiaceae. Es originaria de las regiones subtropicales de Bolivia, Brasil, Argentina, Perú, Ecuador y Paraguay. Antes del año 1,600, los exploradores portugueses la llevaron a África y Asia. Es una raíz comestible que constituye una fuente importante de carbohidratos para 500 millones de personas en África, Asia y América. El principal productor mundial de yuca es Nigeria (59'485,947 t), seguido de la República Democrática del Congo (31'596,000 t), Tailandia (30'973,292 t), Indonesia (19'046,000 t) y Brasil (18'876,470 t). Los países antes indicados, producen el 54.3% del total mundial (FAOSTAT, 2017).

La producción nacional de yuca en México asciende a 26,024.05 t las cuales se obtuvieron en una superficie de 2,000 ha con un rendimiento medio nacional de 16.25 t/ha; la mayor superficie se tiene en el estado de Tabasco con 1,693.0 ha, seguido por Morelos, Michoacán y Veracruz con 150.2, 96.3 y 32.0 ha, respectivamente. El mayor rendimiento lo obtuvo Michoacán con 35.70 t/ha, seguido por Morelos, Tabasco y Veracruz con 12.97, 11.78 y 10.88 t/ha, respectivamente (SIAP, 2018). En Veracruz existen condiciones edafoclimáticas muy propicias para un buen potencial de rendimiento, al igual que otros estados del sureste de México como Guerrero y Yucatán.

Para hacer atractivo el cultivo a los productores en el estado de Veracruz y del sureste de México con condiciones similares, es importante revertir algunos de los puntos siguientes: 1. Los productores de yuca en el centro de Veracruz desconocen las principales bondades y beneficios que ofrecen los biofertilizantes micorrízicos INIFAP, como complemento a la fertilización química recomendada en el cultivo. 2. Se requiere dar a conocer tecnologías mediante parcelas demostrativas que incluyan el empleo de biofertilizantes, para contribuir a reducir al menos a la mitad el empleo de fertilizantes químicos. 3. Existe una gran variedad de biofertilizantes, de diversas funciones y atendiendo al tipo de cultivo. En general, los biofertilizantes más conocidos se componen de hongos micorrízicos y bacterias (Pooja *et al.*, 2007; All-Taweill *et al.*, 2009). 4. Con la implementación de la tecnología de fertilización química al 50% y complementada con la aplicación del biofertilizante micorrízico INIFAP antes de la siembra, se puede contribuir a superar la economía y pobreza actual de las zonas productoras que usan



bajo nivel de tecnología. Aunado a esto se ha determinado que la problemática de la nutrición vegetal de este cultivo es la siguiente: 1. Bajo rendimiento de raíces frescas en Veracruz (10.88 t/ha). 2. Deficiente o nula fertilización del cultivo a). Sin bases técnicas de análisis de suelo en laboratorio b). En ocasiones no se cubren las necesidades del cultivo c). Cuando se fertiliza se exceden en forma desbalanceada. 3. Elevado costo actual de los fertilizantes químicos sintéticos en México, debido a la franca dependencia de su importación de países en el conflicto Rusia-Ucrania. 4. La eficiencia de asimilación del fertilizante es menor al 50% en condiciones de temporal, debido a las precipitaciones escasas e irregulares. 5. Sequía severa a extrema (canícula) en el ciclo de temporal debido al cambio climático. 6. El tratamiento de fertilización química regional promedio en Veracruz es de 146-46-60 de N-P-K. 7. La fertilización química de la yuca representa aproximadamente el 26.3% del costo de producción de temporal.

En Angola, Joao *et al.* (2016), encontraron que con la aplicación de micorriza (*F. mosseae*) se obtuvieron incrementos significativos ($p < 0.001$) en todas las variables evaluadas, obteniendo plantas de yuca más vigorosas con mayor crecimiento e incrementos en altura de 21%, los rendimientos de raíces comestibles se elevaron de 14.4 Mg/ha en el tratamiento testigo a 33.6 Mg/ha en el tratamiento inoculado y las esporas micorrízicas en cosecha se incrementaron ocho veces, indicando la efectividad de *F. mosseae* en estas condiciones edáficas. Los resultados dejan clara la potencialidad de la aplicación de estos productos micorrízicos en el cultivo de yuca.

En Colombia, la yuca con el uso de abonos orgánicos contribuye positivamente al mejoramiento de la porosidad del suelo, la capacidad de retención de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, y la retención de humedad; también incrementa la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, azufre y los micronutrientes. Dichos abonos deben estar completamente maduros para evitar problemas sanitarios (Bolaños *et al.*, 2020). Sotillo (1989), realizó un experimento para determinar el efecto de dos rizosferas de yuca provenientes de Jusepín y Caripito, Venezuela y cuatro niveles de fósforo (0, 25, 50 y 100 ppm) en la infección de las raíces por los hongos micorrizantes, la absorción de fósforo, cobre y zinc, y en el crecimiento y desarrollo de plántulas de yuca. Los más altos grados de infección de raíces se encontraron en aquellas plantas que crecieron en suelo con rizosferas añadidas. El contenido de fósforo en el suelo produjo un efecto determinante sobre el porcentaje de infección en las raíces, observándose una tendencia a aumentar el número de vesículas en la medida que aumentaban las dosis de fósforo. Arismendi (2001) reporta que, de un diagnóstico del desarrollo de 44 trabajos de investigación en el cultivo de yuca en el oriente de Venezuela, y realizando prácticas



culturales como el uso de material vegetativo de procedencia basal y una fertilización química de 90-114-80 kg/ha de N-P-K respectivamente, se promueve la producción de 21.5 t/ha. Luna *et al.* (2016), encontraron al evaluar hongos micorrízogenos y su efecto en desarrollo de plantas de ají (*Capsicum annuum*), respuestas favorables en parámetros como altura de planta, longitud radicular y peso seco, además de que, el uso de hongos micorrízogenos representa una estrategia factible en producción de cultivos.

En la agricultura mexicana, la nutrición de cultivos se ha estudiado con mayor entusiasmo en dos grandes vertientes; una de ellas, la más tradicional en los últimos 60 años, mediante los fertilizantes químicos sintéticos, y la otra explorando la capacidad que tienen algunos microorganismos para mejorar la nutrición de las plantas y combatir algunos patógenos del suelo (Aguirre *et al.*, 2010). Las aplicaciones de hongos micorrízicos-arbusculares en el campo mexicano tuvieron su mayor impulso a partir del programa masivo desarrollado a partir de 1999 por el INIFAP y la colaboración de la FUMIAF, A. C. a través del Programa Alianza para el Campo de la SAGARPA (Aguirre *et al.*, 2012). Este Programa se desarrolló en respuesta a los costos crecientes de los fertilizantes químicos y a la necesidad de incrementar la producción de alimentos, sin afectar el medio ambiente (Aguirre *et al.*, 2012).

Para tal fin el INIFAP se avocó a la producción masiva de micorrizas (*Glomus intraradices*) en México; se desarrolló un método para el incremento de inóculo micorrízico en suelo estéril (Durán-Prado *et al.*, 2001). En México, la producción actual de biofertilizantes se realiza por pequeñas empresas, instituciones de educación e investigación y por el Programa Nacional de Biofertilizantes del INIFAP, apoyado por el Gobierno Federal (Grageda *et al.*, 2011). A pesar de este desarrollo, la distribución y aplicación a gran escala (2.2 millones de ha) ha tenido serias dificultades, principalmente por problemas de promoción y distribución (Grageda *et al.*, 2012).

Con base en lo anterior, la justificación de este trabajo es diversificar el uso de estas micorrizas INIFAP en cultivos industriales como la yuca. Es ese sentido que los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes: 1. Determinar el potencial de rendimiento mediante la aplicación de los biofertilizantes micorrízicos INIFAP en el cultivo de yuca de temporal en comparación con la fertilización química. 2. Determinar la factibilidad de reducir en al menos el 50% de la fertilización química a través del uso de biofertilizantes micorrízicos de bajo impacto ambiental. 3. Desarrollar una nueva forma de fertilización que implica la combinación de fertilización química reducida a la mitad con micorriza que impacte en la productividad, rentabilidad y sustentabilidad del cultivo de yuca en Veracruz.



Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, localizado en el km. 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba, municipio de Medellín, Ver., México; se ubica en las coordenadas geográficas 18°56'07" de Latitud Norte y 96°11'51" de Longitud Oeste a una altitud de 14 m. El clima de la región es cálido húmedo (García, 1987) con una precipitación pluvial promedio acumulada anual de 1,045.68 mm (SMN, 2022); el suelo es un Fluvisol de textura franca, MO de 2.5% y pH de 6.5. Se utilizó la variedad criolla “yuca ceiba”, la cual es un genotipo muy comercial que predomina en las siembras de la región de Los Tuxtlas, Ver. (Meneses-Márquez *et al.*, 2014). Se validaron los siguientes tratamientos: T1: Fertilización química al 100% (146-46-60 kg/ha de N-P-K) (Testigo) y T2: Fertilización química al 50% (73-23-30 kg/ha de N-P-K) + 3 kg/ha de micorriza INIFAP. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones, con un tamaño de parcela experimental de dos surcos de 1 m de ancho x 10 m de longitud (10 m²); la parcela útil consistió en dos surcos de 1 m de ancho x 5 m de longitud (5 m²). El 22 de julio de 2021 se sembraron en forma manual, estacas de 30 cm de longitud inclinadas a 45° en surcos con una separación de 1 m y 1 m entre estacas, para tener una densidad de población de 10,000 plantas/ha.

El manejo agronómico del cultivo de yuca fue con las recomendaciones de SAGARPA (Aceves *et al.*, S/F); para el control del coquillo (*Cyperus rotundus*) se aplicó el herbicida postemergente Basagrán (bentazona) en dosis de 1.5 L/ha. La cosecha se realizó 210 días después de la siembra (DDS). Se analizaron estadísticamente variables en 10 plantas seleccionadas al azar de los dos surcos centrales de la parcela experimental: a). Altura de planta (cm). Se midió desde la base del tallo hasta el ápice del tallo principal de la planta. b). Diámetro de tallo (mm). Se midió con un vernier digital marca Auto Tec. c). Medición del índice de clorofila. Se realizó con el medidor de clorofila SPAD Minolta 502 (Gutiérrez *et al.*, 1994), en hojas desarrolladas. Se tomaron lecturas a los 34, 60, 90, 120, 150, 180 y 210 días después de la siembra (DDS). d). Número de raíces de yuca por planta. e). Longitud de raíces (cm). f). Diámetro ecuatorial de raíces (mm). Se tomaron al azar con cuatro repeticiones por parcela experimental. g). Rendimiento de yuca fresca (t/ha), con el peso de raíces por parcela se cuantificó el rendimiento de raíces de yuca fresca en kg y posteriormente se transformó a t/ha. El análisis estadístico se realizó con el Paquete Estadístico de Diseños Experimentales de la UANL (Olivares, 1996). Se realizó la prueba de Tukey (0.05) en los ANOVAS de las variables que registraron significancia estadística.



Resultados y Discusión

Altura de planta

El crecimiento de las plantas de yuca en respuesta a los tratamientos de fertilización química y biológica evaluados se presenta en el Cuadro 1, en el cual se puede observar en las dos primeras etapas (34 y 60 DDS) a los 34 DDS fueron de la misma altura, mientras que a los 60 DDS fue superior el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza. A los 90 y 120 DDS, la fertilización de 146-46-60 de N-P-K fue superior al tratamiento con 50% de FQ y micorriza; posteriormente a los 150 y 180 DDS, el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza, superó al tratamiento con 100% de fertilización química sin micorriza y finalmente a los 210 DDS este tratamiento superó al tratamiento de 50% de fertilización química con micorriza (273.95 cm) en 13.67 cm, que fue la época en que se cosecharon las raíces de yuca. El promedio de altura de planta de ambos tratamientos fue superior a los 2.01 m, altura similar a la reportada por Cadavid y López (2015). El ANOVA indicó que en ninguna etapa hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. Durán *et al.* (2019) reportan alturas de yuca mayores con el tratamiento 60-20-20 N-P-K + 3 kg/ha de micorriza INIFAP en la variedad Sabanera y Criolla Tabasco con 328.0 y 432.5 cm, respectivamente.

Diámetro de tallo

El diámetro del tallo de las plantas de yuca se observa en el Cuadro 1, que en las dos primeras etapas (34 y 60 DDS) a los 34 DDS tuvieron el mismo diámetro, mientras que a los 90 DDS fue superior el con 100% de fertilización química sobre el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K y 3 kg/ha de micorriza, luego a los 120 DDS la fertilización de 146-46-60 de N-P-K fue superior en grosor de tallo, en estas primeras cuatro etapas, el ANOVA indicó que en ninguna hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. En cambio a los 150 y 180 DDS, el ANOVA detectó diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0.05$), el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza, superó en 0.98 y 2.21 mm respectivamente al tratamiento con 100% de fertilización química sin micorriza y finalmente a los 210 DDS, aunque el ANOVA no detectó diferencias estadísticas entre tratamientos, el tratamiento con 100% de fertilización química superó en gran medida al tratamiento al 50% de fertilización química con micorriza en 5.53 mm que equivale a un 19.06% más grueso el tallo, que fue en la época en que se cosecharon las raíces de yuca. En las variedades Sabanera y Criolla Tabasco, Durán *et al.* (2019), reportan diámetros de 65.99 y 60.99 mm a los 252 DDS con el tratamiento 160-90-60 de N-P-K.



Cuadro 1. Altura, diámetro de tallo y lectura de SPAD en diferentes etapas de desarrollo (DDS) en respuesta a dos tratamientos de fertilización química y biológica de yuca de temporal en Veracruz. P-V 2021.

Días después de la siembra (DDS)	Altura de planta (cm)		Diámetro de tallo (mm)		Lectura de SPAD	
	FQ	FQ 50 + MI	FQ	FQ 50 + MI	FQ	FQ 50 + MI
34	40.20 a	39.90 a	3.49 a	3.53 a	42.49 b	47.83 a
60	96.90 a	100.97 a	15.64 a	15.82 a	51.65 a	51.89 a
90	197.57 a	192.67 a	25.15 a	23.77 a	55.53 a	54.15 a
120	242.32 a	240.20 a	26.45 a	26.35 a	55.88 a	54.53 a
150	267.80 a	280.50 a	27.50 b	28.48 a	50.80 a	52.47 a
180	277.90 a	281.30 a	26.84 b	29.05 a	48.80 a	49.68 a
210	287.62 a	273.95 a	36.54 a	29.01 b	44.08 a	43.93 a
Media	201.44	201.38	22.84	22.28	49.63	50.64

FQ= 146-46-60 kg/ha de N-P-K; FQ 50 MI= 73-23-30 kg/ha de N-P-K + 3 kg/ha de Micorriza INIFAP.

Lectura de SPAD en hojas de yuca. Se pueden apreciar en el Cuadro 1, que en la primer etapa de los 34 DDS, el ANOVA detectó diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha=0.05$); el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K y 3 kg/ha de micorriza obtuvo una lectura superior en 5.34 (12.56% superior) respecto al tratamiento con 100% de fertilización química, mientras que a los 60 DDS, los valores del SPAD en ambos tratamientos fueron similares sin diferencias estadísticas entre ellos; a los 90 DDS, el tratamiento con 100% de fertilización química (55.53), fue superior al tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza (54.15) obtuvo una lectura superior en 1.38 (2.54% superior); también a los 120 DDS la fertilización de 146-46-60 de N-P-K fue superior en lectura de SPAD en 1.27, en cambio a los 150 y 180 DDS el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza, superó en 1.67 y 0.88 la lectura de SPAD respectivamente comparado con el tratamiento con 100% de fertilización química y finalmente a los 210 DDS, este tratamiento superó en 0.15 la lectura respecto al tratamiento al 50% de fertilización química con micorriza. Cabe mencionar que el ANOVA después de la primera etapa indicó que en ninguna etapa posterior hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. Durán *et al.* (2019) encontraron índices de SPAD en hojas a los 210 DDS de 37.34 y 32.54 con el tratamiento 60-20-20 N-P-K + 3 kg/ha de micorriza INIFAP en las variedades Sabanera y Criolla Tabasco, respectivamente.



Número de raíces por planta (NRP). En el Cuadro 2, el ANOVA indicó que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, pero se puede observar que el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza obtuvo 13.97 raíces por planta, mientras que el tratamiento de 146-46-60 de N-P-K produjo 12.00 raíces en promedio: el promedio de raíces por planta en este trabajo fue de 12.98.

Longitud de raíces de yuca (cm) (LR). El ANOVA indicó que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, pero en el Cuadro 2, se muestra que la raíz más larga la obtuvo el tratamiento de 146-46-60 de N-P-K con 48.72 cm. mientras que el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza obtuvo 47.80 cm, una diferencia de 0.92 cm (1.92%); la longitud promedio de raíz este trabajo fue de 48.03 cm.

Diámetro de raíces de yuca (mm) (DR)

El ANOVA indicó que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos. En el Cuadro 2 se puede observar que la raíz más gruesa la obtuvo el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de micorriza con 52.26 mm, mientras que con el tratamiento de 146-46-60 de N-P-K, ésta midió 51.26 mm, una diferencia de 1.0 mm (1.95%); el diámetro de raíz promedio de este trabajo fue de 51.76 mm

Rendimiento de yuca fresca (RYF) (t/ha)

La cosecha se realizó a los 210 DDS; en el Cuadro 2, el ANOVA indicó que no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos; se puede apreciar que el tratamiento de 146-46-60 de N-P-K obtuvo 39.18 t/ha, mientras que el tratamiento de 73-23-30 de N-P-K + 3 kg/ha de micorriza produjo 39.07 t/ha, el cual fue superado en apenas el 0.28%, lo que significa que produjeron ambos arriba de 39.0 t/ha. Lo anterior indica que el tratamiento en que sólo se aplicó el 50% de la fertilización química + 3 kg/ha de micorriza INIFAP su productividad fue similar y que además de reducir la adquisición de fertilizantes químicos también reduce la contaminación del suelo y el ambiente. Resultados favorables obtuvieron también Arismendi (2001), Durán *et al.* (2019) y Bolaños *et al.* (2020).



Cuadro 2. Número de raíces por planta (NRP), Longitud de raíces (LR), Diámetro de raíces (DR) y Rendimiento de yuca fresca (RYF) en respuesta a dos tratamientos de fertilización química y biológica de yuca de temporal en Veracruz. P-V 2021.

Tratamiento (kg/ha)	NRP	LR (cm)	DR (mm)	RYF (t/ha)
1. 146-46-60 de N-P-K	12.00 a	48.72 a	51.26 a	39.18 a
2. 73-23-30 de N-P-K más 3 kg/ha de Micorriza INIFAP	13.97 a	47.80 a	52.26 a	39.07 a
Media	12.98	48.03	51.76	39.12

Análisis económico. El costo del T1, donde se aplican 146-46-60 kg/ha de N-P-K, fue de \$9,999.98 /ha y del T2, de fertilización química 50% más 3 kg/ha de Micorriza INIFAP fue de \$5,854.98/ha. En el Cuadro 3, se presentan los indicadores económicos de los tratamientos validados en la nutrición de la yuca de temporal, con el precio de venta de la yuca de \$6.15 por kilogramo, y con los rendimientos de yuca fresca obtenidos en ambos tratamientos se aprecia que los dos tratamientos obtuvieron un beneficio bruto (BB) de \$240,957.00 y \$ 240,280.50 en el tratamiento con fertilización de 100% y fertilización de 50% más micorriza INIFAP respectivamente; a esto se le restan los costos de producción (CP) respectivos y se obtiene que el tratamiento con 50% de fertilización cuesta \$3,374.63 menos, lo que representa un 9.79% de ahorro, en tanto los beneficios netos (BN) fueron de \$206,503.38 y de \$209,201.51 en el tratamiento con fertilización de 100% y fertilización de 50% más micorriza INIFAP o sea \$2,698.13 más BN con el tratamiento de 50% de fertilización química más micorriza respecto a la fertilización química al 100%, lo que significó un 1.30% de incremento en el BN. Finalmente, al dividir el beneficio bruto (BB) entre el costo de producción (CP) se obtiene un índice beneficio/costo (B/C) en el tratamiento con fertilización de 100% de 6.99 y con la fertilización de 50% más micorriza INIFAP de 7.73, por lo que con el ultimo tratamiento se obtiene un 10.58% mayor beneficio/costo que con el tratamiento de fertilización química del 100% tradicional o convencional.



Cuadro 3. Análisis económico de dos tratamientos de fertilización química completa y reducida más micorriza INIFAP en el cultivo de yuca de temporal en Veracruz. P-V 2021.

Indicadores económicos	73-23-30 de N-P-K	146-46-60
	+ 3 kg/ha de Micorriza INIFAP de N-P-K	
Costo de producción (\$/ha)	\$31,078.99	\$34,453.62
Rendimiento de raíces frescas (kg/ha)	39,070 kg	39,180 kg
Precio medio nacional por kilogramo de yuca fresca (\$)	\$6.15	\$6.15
Beneficio bruto por hectárea (BB)	\$240,280.50	\$240,957.00
Beneficio neto por hectárea (BN)	\$209,201.51	\$206,503.38
Relación beneficio/costo (B/C)	7.73	6.99

Con esta información, el productor puede decidir la pertinencia de adopción de un tratamiento de fertilización química o biológica en su cultivo de yuca de temporal y realizarlo a corto y mediano plazo de acuerdo con los resultados positivos de producción que obtenga a través del tiempo y la mejoría en su economía familiar y de su comunidad, lo cual coincide con lo señalado por Arismendi (2001), Joao *et al.* (2016) y Luna *et al.* (2016).

Conclusiones

Un rendimiento potencial de la yuca de 39 t/ha obtenido con el 100% de la fertilización química, también se puede obtener reduciendo en un 50% la fertilización convencional y aplicando en conjunto 3 kg/ha del biofertilizante micorrizico INIFAP, lo cual genera beneficios a la productividad, rentabilidad y sustentabilidad del cultivo de yuca en la zona centro del estado de Veracruz.



Literatura Citada

- Aceves, N. L., J. F. Juárez L., D. J. Palma L., R. López L., B. Rivera H. y R. González H. s/f. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el estado de Tabasco. SAGARPA. Gobierno del Estado de Tabasco. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. CP. INIFAP. 53 p.
- Aguirre, M. J. F., M. B. Irizar G., A. Durán P., O. A. Grageda C., M. A. Peña R., C. Loredo O. y A. Baeza B. 2010. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. Folleto Técnico Núm. 5. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Rosario Izapa. Tuxtla Chico, Chis., Méx. 68 p.
- Aguirre, M. J. F., A. Durán P., M. A. Peña R., O. A. Grageda C. y M. B. Irizar G. 2012. Micorriza INIFAP: Biofertilizantes para el campo mexicano. p. 219-240. *In*: Aguado, S. G. A. (ed.). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México.
- All-Taweil, H. I., M. B. Osman, A. A. Hamid and W. M. W. Yusoff. 2009. Development of microbial inoculants and the impact of soil application on rice seedlings growth. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 4(1):79-82.
- Arismendi, L. G. 2001. Investigación sobre el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el oriente de Venezuela. *Rev. UDO Agric.* 1(1):1-10.
- Bolaños, B. M. M., E. A. Silva A., L. F. Castelblanco R., L. G. Bautista M., S. A. Cruz R. y A. C. Peña H. 2020. Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el Departamento de Cundinamarca. Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2. Bogotá, Colombia. 98 p.



- Cadavid, L. F. y M. López L. 2015. Fertilización del cultivo de yuca. p. 53-107. *In: Tecnologías modernas para la producción de yuca.* OEI. SENA. Corporación Clayuca. Fundación Promotora del Canal del Dique. Palmira, Colombia.
- Durán, P. A., R. López L., A. Vásquez H. e I. Meneses M. 2019. Evaluación de fertilización química y biológica en yuca en el centro de Veracruz. p. 70-83. *In: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., A. Ríos U., R. Zetina L., A. L. Del Ángel P. et al.* 2019. Avances de la investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. INIFAP. CP. UACH. INAPESCA. UV. TecNM. Medellín, Ver., México.
- Durán-Prado, A., J. F. Aguirre-Medina, G. R. González-Cu, M. A. Peña R, y E. Schonhoven. 2001. Producción *in vivo* de micorriza arbuscular *Glomus intraradix* con *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich) Stapf. como hospedero en camas reproductoras. Folleto Técnico Núm. 29. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 27 p.
- FAOSTAT (Departamento de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. <https://blogagricultura.com/estadisticas-yuca-produccion/> [consultado el 11 de julio de 2019].
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- Grageda, C. O. A. y S. S. González F. 2011. Micorriza INIFAP. Desplegable para Productores Núm. 21. 1a. Reimpresión. INIFAP. CIR-Centro. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México.
- Grageda, C. O. A., A. Díaz F., J. J. Peña C. y J. A. Vera N. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. REMEXCA 3(6):1261-1274.



- Gutiérrez, R. M., R. San Miguel C., T. Nava S. y A. Larqué S. 1994. Determinación de clorofila total *in situ*. p. 61-65. *In*: Gutiérrez, R. M., A. Larqué S., T. Nava y R. San Miguel C. (eds.). Métodos avanzados en fisiología vegetal experimental. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Programa de Botánica. Texcoco, Edo. de Méx., México.
- João, J. P., M. P. Mutunda, A. F. Taíla, y R. Rivera E. 2016. Potencialidad de los inoculantes micorrízicos arbusculares en el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en Kibal, Angola. *Cult. Trop.* 37(2):33-36.
- Luna, J. A., I. M. Romero y K. J. Rojas. 2016. Hongos micorrizógenos arbusculares y su efecto en el desarrollo de plantas de ají (*Capsicum annuum*, Solanaceae). *Temas Agr.* 21(2):76-85.
- Meneses-Márquez, I., A. Vásquez-Hernández, X. Rosas-González y E. N. Becerra-Leor. 2014. Contenido de materia seca y almidón en clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Rev. Cient. Biol. Agropec. Tuxpan* 2(3):271-274.
- Olivares, S. E. 1996. Notas de diseños experimentales con aplicación a la experimentación agrícola y pecuaria. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México. 291 p.
- Pooja, S., S. Dudeja and N. Neeru. 2007. Development of multiple co-inoculants of different biofertilizers and their interaction with plants. *Arch. Agron. Soil Sci.* 53:221-230.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2022. Datos de Estación Climatológica de El Copital, mpio. de Medellín de Bravo, Ver. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=ver> [consultado el 2 de agosto de 2022].
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2018. Estadísticas de yuca en México: producción, superficie y rendimiento. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 4 de agosto de 2022].



Sotillo, Z. A. R. 1989. Efecto de dos rhizosferas micorrizantes y cuatro niveles de fósforo sobre el crecimiento y absorción de fósforo por las plántulas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en condiciones de invernadero. Trabajo de grado de licenciatura. Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Maturín, Venezuela. 77 p.



CARACTERIZACIÓN DE LA EMERGENCIA Y MORTALIDAD EN DOS LEGUMINOSAS DE GRANO EN CHINÁ, CAMPECHE

Damián Alberto Hernández Escamilla^{51*}, David Arturo Colli Colli⁵¹, Noel Antonio González Valdivia⁵¹, Enrique Arcocha Gómez⁵¹ y Ofelia Guadalupe Angulo Balan⁵¹

Resumen

El cultivo de frijoles (*Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus lunatus* L. y *Vigna* spp.) constituye uno de los alimentos de mayor consumo para la población de Campeche y la Península de Yucatán. La investigación se realizó con la finalidad de incrementar la disponibilidad de semillas de dos variedades de leguminosas de la colección del Banco de Germoplasma en Frío (BFG), del Instituto Tecnológico de Chiná: Frijol de Mayo (ITCHFC0166, *P. vulgaris*) y Frijol Albert de Carranza (ITCHFC0170, *V. unguiculata*). Éstas se cultivaron bajo las condiciones edafo-climáticas y manejo agroecológico en el Rancho de Xamantun, Chiná, Campeche. El laboratorio de Agricultura y Agroecología Orgánica Sustentable (LAAOS) tiene disponible para consulta interna, una colección mínima de textos que conforman el centro de documentación, que incluye libros de identificación por descriptores de distintas plantas cultivadas, textos de estadísticas y diseños experimentales. Se determinó el comportamiento agronómico con las distintas variedades en función de la adaptación, el manejo local y su influencia en el rendimiento, así como la interacción entre las variedades y las repeticiones en las que se desarrolló el cultivo. El área experimental fue una parcela de 6.0 m de ancho por 5.0 m de largo (30 m²); con base a la distancia de siembra y el arreglo espacial, se determinó que el espacio fue de 10 cm de separación entre plantas y 1 m entre surcos, con alrededor de 10 plantas/m. Entre bloques o repeticiones se dejó una separación de 1 m como borde. Se logró determinar la germinación y la mortalidad de las plantas de ambas especies, notándose que ambos frijoles tienen alta emergencia (>80%), pero también alta mortalidad en campo (>50%). El frijol de mayo mostró mejor adaptación que el frijol Albert a las condiciones de Chiná, Campeche, pero en ambos se pueden generar líneas que ameritan su cultivo en la zona.

⁵¹ Tecnológico Nacional de México, campus Instituto Tecnológico de Chiná, calle 11 entre 22 y 28, Chiná, Campeche, México. CP24520.

*Autor por correspondencia: 118830010@china.tecnm.mx



Palabras clave: Agricultura tradicional, frijoles, milpa, Península de Yucatán

Introducción

A nivel mundial, México es el séptimo productor de frijol con una producción de 1'180,000 t al año, lo que representa alrededor del 3.4% de la producción mundial en 2017. El cultivo de frijol se realiza prácticamente en casi todo el país. No obstante que, la principal limitante para su producción, la constituye la escasa disponibilidad de agua. El consumo de frijol enfrenta a su vez modificaciones importantes, debido al cambio en el hábito de consumo atribuible a una sociedad cambiante en sus hábitos de consumo. La dinámica observada, tanto en la producción y el consumo, así como su importancia estratégica en el desarrollo económico y social del país resulta de interés para analizar la situación de este producto (CEDRSSA, 2020).

En el sureste de México, el frijol constituye un cultivo de gran importancia como grano alimenticio básico nutritivo, portador de proteínas, vitaminas y minerales. También, es relevante social y económicamente, debido a que su cultivo y producción es una fuente ocupacional para cerca de 200,000 productores (195,117 en 2018), en su mayoría de autoconsumo, que cultivan frijol en pequeñas unidades productivas y con recursos económicos limitados (CEDRSSA, 2020).

México se ha reconocido como el país más probable de centro de origen del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), o al menos, como el centro primario de diversificación. El cultivo del frijol se considera uno de los más antiguos. Algunos de los hallazgos arqueológicos en México y Sudamérica indican que se conocía hace algunos 5000 años antes de Cristo (Ulloa *et al.*, 2011). Taxonómicamente, el frijol corresponde a la especie del género *Phaseolus*. Su nombre completo es *Phaseolus vulgaris* L., asignada por Linneo en 1753, a la tribu Phaseoleae, subfamilia Papilionoideae, familia Leguminosae y al orden Rosales (Ulloa *et al.*, 2011). Las variedades de frijol se pueden clasificar de acuerdo con diversos criterios. Por su consumo como grano seco y como grano y vaina verde; desde el punto de vista agronómico se utilizan características como la duración del periodo vegetativo y se habla de variedades precoces o tardías; en cuanto a la reacción al fotoperiodo se dice de variedades sensibles, insensibles o neutras y en lo que respecta a factores limitantes de la producción, se ubica a las variedades en al menos las resistentes y susceptibles (Ulloa *et al.*, 2011).



El objetivo de la presente investigación es la visión de la diversificación productiva y rentabilidad que ofrecen esta especie, teniendo en cuenta que es un cultivo de excelente adaptación al clima, tenemos la mayor certeza que es un territorio adecuado, para la implementación de este proyecto. Es importante contar con la implementación del cultivo de frijol, aplicando las buenas prácticas orgánicas para una adecuada comercialización, ya que es de excelente producción para la comunidad, además de fácil manejo y muy económico.

Materiales y Métodos

La localidad de Chiná está situada en el municipio de Campeche, en el estado de Campeche. Hay 6,295 habitantes. En la lista de los pueblos más poblados de todo el municipio, es el número 3 del ranking. Chiná está a 11 m de altitud. Se localiza en las coordenadas GPS: longitud (dec)-90.495833 y latitud (dec):19.765278.

En el estado de Campeche predomina el clima cálido subhúmedo, que se presenta en el 92% de su territorio, el 7.75% presenta clima cálido húmedo localizado en la parte este del estado y en la parte norte, un pequeño porcentaje del 0.05% con clima semi-seco. Las lluvias son de abundantes a muy abundantes durante el verano.

El frijol en México se produce en dos épocas primavera-verano y otoño-invierno. En otoño-invierno se siembra menos superficie, pero se obtiene un mayor rendimiento unitario. El frijol se cultiva principalmente, con el fin de cosechar semilla seca y como vaina en fresco se consume en menor proporción.

En la preparación del terreno se hicieron actividades como la eliminación de malezas y piedras que pudieran estorbar; en el caso del suelo se preparó la labranza tradicional y también con el sistema de labranza mínima para poder adaptar un sistema de riego que sea eficiente.

Para favorecer el crecimiento y desarrollo normal de la planta, se instaló un sistema de riego por goteo, que mejora la eficiencia del riego y previene la falta de humedad en el suelo, para evitar castigos a la planta por estrés de humedad.

Se seleccionaron dos diferentes especies (variedades) de frijol proporcionadas en el Banco de Germoplasmas en Frío (BGF) del Laboratorio de Agroecología y Agricultura Orgánica Sustentable (LAAOS), del Instituto Tecnológico de Chíná, las cuales se describen en el Cuadro 1.



Cuadro 1. Acciones, especies, variedades y procedencias de frijoles estudiadas en Chiná, Campeche.

Accesión	Especie	Variedades	Procedencia
ITCHFC0167	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol de mayo	Tila, Chiapas
ITCHFC0170	<i>Vigna unguiculata</i> L.	Frijol Albert	Carranza, Chiapas

Para establecer el experimento se sembró en surcos, en un área experimental de 6 m de ancho por 5 m de largo, en el rancho de Xamantun, en parcelas experimentales constituidas por tres surcos, dos laterales de borde y uno central, en el cual se sembraron las especies, con separación de 10 cm de distancia entre planta y 1 m entre surcos (10 plantas/m). Así se estableció un experimento en bloques al azar con tres repeticiones y dos tratamientos o variedades (Figura 1), que tuvieron una franja de borde interno de 1 m y otra exterior de 1 m, en el perímetro del área. Lo anterior, debido a la limitada disponibilidad del material.

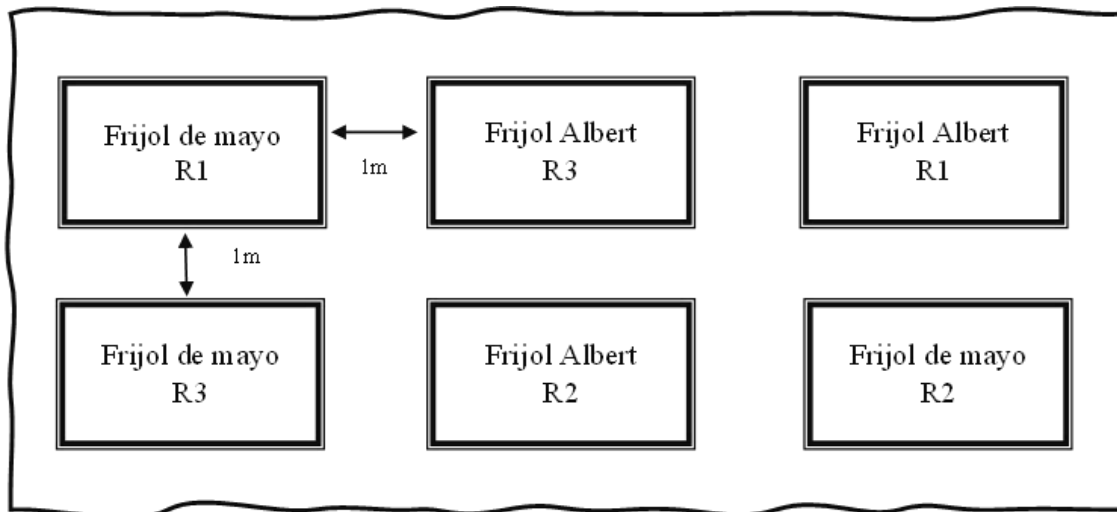


Figura 1. Plano de campo del experimento de multiplicación de frijoles en Chiná, Campeche. Estación seca (abril - junio) de 2023.

Para el manejo del cultivo, se continuó con el levantamiento de surcos, eliminación de piedras, troncos o ramas caídas y el establecimiento adecuado de las cintillas de riego; es importante que estas labores se efectúen con oportunidad. El primer cultivo o abierta de surco, se realizó antes del primer riego de auxilio y un segundo cultivo, cuando lo permitió la humedad del suelo y el desarrollo de la planta.



Cada determinado tiempo se eliminaron las plantas no deseadas que pudieran competir por los nutrientes con el cultivo; para ello se utilizaron las herramientas adecuadas como el machete, el azadón y guantes, además se optó por poner una cama de hojas secas de la planta jimba en las calles, con la finalidad de que los rayos del sol no pegaran directamente al suelo, evitando que las malezas tengan los requerimientos necesarios para su desarrollo y puedan ser una posible amenaza.

Para un desarrollo normal de la planta, durante la fase reproductiva del frijol (desde el inicio de la floración hasta el llenado de grano) no debe faltar humedad. Por lo anterior, se estableció un horario de riego, ya que además del área del cultivo de los frijoles, se contaba con otro tipo de policultivos de otras especies y no se contaba con el acceso total de la bomba de agua, por lo que el horario de riego programado fue de lunes a sábado de 12 del mediodía hasta las 5 de la tarde.

Un buen inicio de un programa de manejo integrado de plagas fue ajustarse a las fechas de siembra sugeridas y mantener libre de malezas el cultivo, bordos y canales, para eliminar hospederas de plagas, que además actúan como reservorio de enfermedades. La incidencia de enfermedades es más frecuente cuando hay alta humedad relativa y temperaturas arriba de lo normal, el uso de variedades no sugeridas, las siembras fuera de la fecha o el manejo inadecuado del agua de riego. Las principales enfermedades que atacan al cultivo son el mosaico dorado y el moho blanco. Es importante monitorear las principales plagas del cultivo para determinar cuándo realizar las acciones de control.

La cosecha se realizó de forma manual cuando las vainas de las plantas ya estaban completamente secas; se recolectaron todas las plantas arrancadas, posteriormente se colocaron sobre bolsas de papel o costales, donde se procedió a secar todo el material recolectado (hojas, tallos, raíces, vainas etc.).

Comportamiento de las dos variedades

El frijol tiene hábitos de crecimiento variado, dentro de los que se puede mencionar el de crecimiento determinado (enano) o arbustivo (por lo general, permanecen erectas como arbolitos), que se le conoce como frijol de suelo y el crecimiento indeterminado o voluble, las cuales generalmente están postradas o son rastreras, si no tienen un apoyo vertical para treparse fácilmente, por medio de sus zarcillos se enrolla a un soporte que también se le conoce como frijol de vara o de enredaderas, a las variedades que se desarrollan de esta manera.

Para conocer el comportamiento de cada uno de los tratamientos evaluados, en lo referente al rendimiento de grano de frijol expresado en kilogramos por hectárea. Posteriormente se analizaron los datos, para un mejor entendimiento se realizaron cuadros y figuras.



Estudio y caracterización de las etapas del desarrollo de las dos variedades de frijol

El estudio inició desde el momento de la siembra de todos los surcos y de todas las repeticiones experimentales en el planteamiento de la investigación en base al plan de trabajo y propuesta, se procedió a medir los siguientes puntos:

Fecha de siembra: Se procedió a sembrar cada variedad, de cada repetición experimental el 24 de febrero de 2023.

Días a la emergencia: La fecha de emergencia de las semillas fue a los tres días después de la siembra, es decir, el 27 de febrero para el Frijol de Mayo. Las plantas indeterminadas o frijoles de enredaderas (Frijol Albert), tuvieron como fecha de emergencia el 1 de marzo (cinco días después de la siembra).

Días de pesado de la raíz, cuando las vainas ya estaban completamente secas se procedió a pesar toda la planta que fue totalmente arrancada y secada.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos muestran que, en las variedades de frijol se obtuvieron altos porcentajes de emergencia, con el frijol Albert de Carranza, Chiapas, con porcentajes de 90 a 100%, con un promedio de 97% de emergencia. Mientras que, el Frijol de Mayo, la emergencia fluctuó entre 80 y 90%, promediando 87% (Cuadro 2, Figura 2).

La emergencia en ambas especies puede considerarse alta, pues en cultivos de grano, como los frijoles, se establece como valor general que porcentajes de germinación superiores a 80% resultan aceptables (Blanco, 1988; González, 1995). Si se considera que estos resultados tratan de la emergencia en campo, no de la germinación, entonces se puede comprender por qué considerarlos adecuados.

Cuadro 2. Porcentaje de emergencia en dos especies de frijoles cultivados en Chiná, Campeche.

Variedades	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio (%)
Frijol de Mayo	90%	90%	80%	87%
Frijol Albert	100%	100%	90%	97%

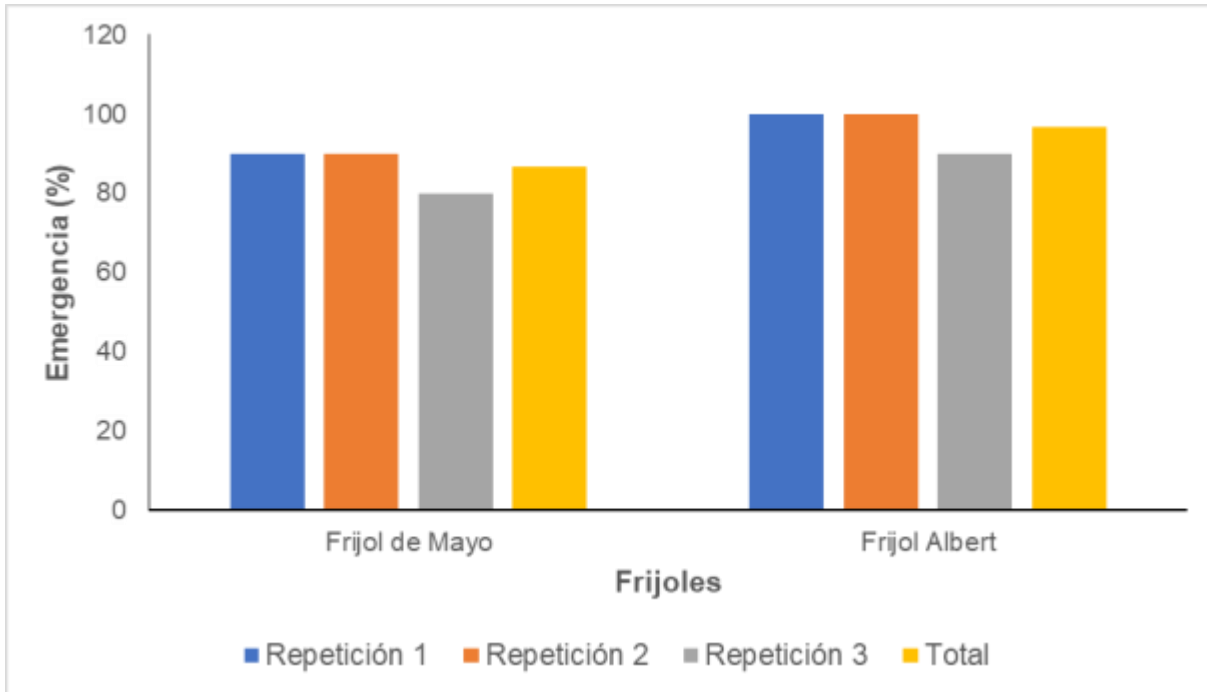


Figura 2. Porcentajes de emergencia de plántulas observadas en dos especies de frijoles, Frijol de Mayo (*Phaseolus vulgaris*) y Frijol Albert (*Vigna unguiculata*), cultivados en Chiná, Campeche (por repetición y promedio total).

Después de la emergencia y en el proceso del crecimiento y desarrollo, el Frijol de Mayo y el Frijol Albert de Carranza tuvieron problemas al desarrollarse, completando su ciclo productivo con una pérdida importante de plantas en campo. Pocas fueron las plantas que sobrevivieron hasta la etapa de madurez fisiológica y de cosecha, tal y como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentaje de mortalidad de plantas de frijoles detectada en campo cultivado en Chiná, Campeche. Estación seca (abril a junio) de 2023.

Variedades	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Total
Frijol de Mayo	50%	60%	60%	57%
Frijol Albert	80%	80%	80%	80%

El Frijol de Mayo se obtuvo una mortalidad menor, pero que supuso hasta el 57% de todas las plantas emergidas. En el caso del Frijol Albert la mortalidad alcanzó al 80% de las plantas emergidas, considerando que esta característica lo hace menos adaptable a la zona. En la Figura 3 se muestran los resultados por repetición, así como el promedio final de la mortalidad para cada especie de frijol



incluido en el estudio. La mortalidad es elevada en ambos casos, y supera por amplio margen al porcentaje de 10% que se espera en cultivos de grano en campo (Lardizábal *et al.*, 2013).

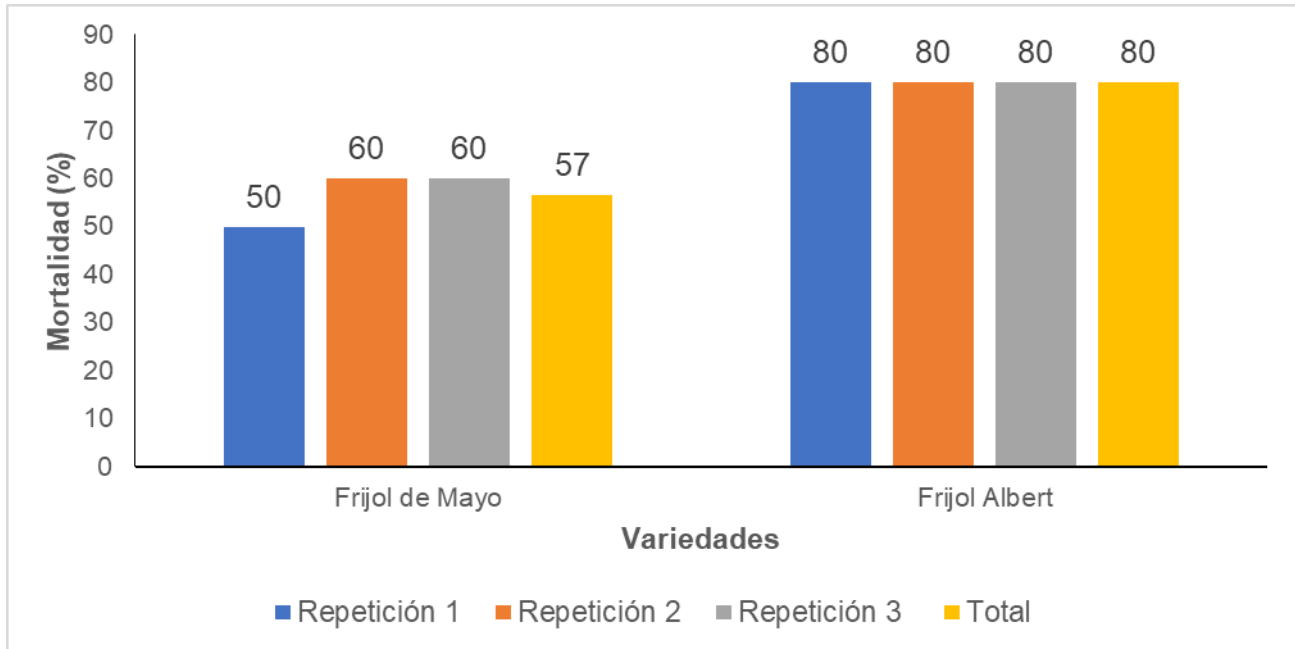


Figura 3. Porcentaje de mortalidad de las plantas en dos especies de frijoles estudiadas en Chiná, Campeche.

Conclusiones

En las dos especies y correspondientes accesiones (variedades) de frijoles (Albert de Carranza y Frijol de Mayo) se considera que son plantas con un aceptable porcentaje de emergencia. Ambas mostraron baja adaptabilidad, pues su mortalidad fue muy alta, bajo las condiciones de campo en que se realizó el estudio. De las plantas que sobrevivieron y se cosecharon, se puede seguir el proceso de investigación, hasta determinar si hay una o varias líneas con mayor adaptación en Chiná, Campeche.



Agradecimientos

Se agradece al Dr. Noel Antonio González Valdivia, por transmitir sus conocimientos, dedicación y esfuerzo en la realización de este trabajo, así como a los compañeros de LAAOS que han ayudado en la realización de este proyecto.

Literatura Citada

- Blanco, M. 1988. Evaluación del efecto de controles de maleza, distancias entre surcos y densidades de población en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 16 p.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/53Mercado%20del%20frijol.pdf>
- González, V. N. A. 1995. Evaluación sobre crecimiento, desarrollo y rendimiento de 14 accesiones criollas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y el testigo comercial Revolución-84 en La Compañía, Carazo. Postrera 1993. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 75 p.
- Lardizábal, R., S. Arias y R. Segura. 2013. Manual de producción de frijol. USAID-ACCESO. Tegucigalpa, Honduras. 27 p.
- Ulloa, J. A., R. P. Ulloa, J. C. Ramírez R. y B. E. Ulloa R. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. Revista Fuente 3(8):5-9.



PANORAMA DE LA FRUTICULTURA TROPICAL EN GUATEMALA, HONDURAS Y EL SALVADOR

Rosa Laura Rebolledo García^{52*}, Andrés Rebolledo Martínez⁵², María Enriqueta López Vázquez⁵²,
Jeremías Nataren Velázquez⁵², Joel Iglesias⁵³, Ana Lid Del Ángel Pérez⁵², Nain Peralta Antonio⁵²,
Laureano Rebolledo Martínez⁵² y Rigoberto Zetina Lezama⁵²

Resumen

Guatemala, Honduras y El Salvador son tres países que integran la región denominada Triángulo Norte con el propósito de coordinar estrategias que coadyuven a mejorar sus economías; esta región padece de causas que favorecen la migración y el desplazamiento forzado. La fruticultura ofrece una opción para los pequeños productores que cultivan granos básicos y hortalizas para la diversificación de sus fincas, que generen empleo, mayores ingresos y arraigo de los productores. El objetivo de este trabajo fue conocer la problemática de la fruticultura, las posibles soluciones e identificar las especies de frutales tropicales de mayor interés en Guatemala, Honduras y El Salvador. Se diseñó una cédula de encuesta, en la que se abordaron los frutales tropicales de mayor importancia, la problemática en el manejo de las unidades de producción y de la comercialización de sus productos, así como las alternativas para mejorar la fruticultura en su región. Se aplicaron 44 encuestas a productores, técnicos y funcionarios de los ministerios de agricultura de Guatemala, Honduras y El Salvador. Se realizaron visitas *in situ* a centros de investigación, docencia y transferencia de tecnología, fincas y puntos de venta de frutales en cada país. Se identificaron 25 especies de frutales tropicales cultivados mayormente en las fincas de productores centroamericanos, entre las que destacan: mango, aguacate, cítricos, limón, pitahaya, chicozapote, plátano, guanábana y tamarindo. Los cultivos mayormente mencionados se cultivan en Guatemala, Honduras y El Salvador. Los cultivos anuales con mayor frecuencia fueron: maíz, frijol y hortalizas de hoja, chile, tomate y yuca. Los problemas que se presentan con mayor frecuencia son: la falta de humedad del suelo y la presencia de plagas. La mayoría de las personas que participaron en las encuestas y recorridos de campo, propusieron como principales

⁵² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Cotaxtla. Autor por correspondencia: rebolledo.rosa@inifap.gob.mx

⁵³ Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en México.



alternativas para mejorar la fruticultura en la región, impulsar la asistencia técnica y la capacitación en tecnologías de producción y manejo post-cosecha.

Palabras clave: migración, Triángulo Norte de Centroamérica, cadenas frutícolas

Introducción

La región del Triángulo Norte de Centroamérica es el nombre con el que se conoce a los tres países centroamericanos de Guatemala, Honduras y El Salvador por su integración económica. Estos países cuentan con altas tasas de migración, en los que un 25% de la población son jóvenes de entre 15 y 35 años. Los países de esta región tienen firmados acuerdos comerciales con Colombia, Estados Unidos y México (IICA, 2021).

La región del Triángulo Norte Centroamericano padece especialmente de causas que favorecen la migración y el desplazamiento forzado, como pobreza extrema, falta de oportunidades laborales, inseguridad y violencia. La inseguridad alimentaria se produce en un marco de acceso limitado a la protección social, agotamiento de los recursos naturales y consecuencias adversas de la degradación del medio ambiente y del cambio climático. La agricultura y el desarrollo rural son considerados fundamentales para abordar de manera eficaz las causas de la migración. La fruticultura se vislumbra como una buena alternativa para muchos de los productores que cultivan granos básicos en laderas. La demanda creciente por frutas tropicales y “exóticas” en los mercados internacionales con gran poder de compra, está motivando desde pequeños productores y empresarios, a impulsar el desarrollo de cadenas frutícolas competitivas, que oferten productos de alto valor, que contribuya a la generación de empleo, mejore los ingresos y minimice el deterioro ambiental en las zonas de pobreza, particularmente en la región norte de Guatemala, Honduras y El Salvador (Henríquez y Andrews, 2008; Marini *et al.*, 2020; IICA, 2021).

Guatemala es considerada la décima economía de América Latina. Tiene una población aproximada de 18'250,000 habitantes, con una densidad promedio de 170 habitantes por km² (ONU, 2021). La población guatemalteca enfrenta niveles importantes de pobreza; el 59% de la población vive en esta condición. Gran parte de las familias pobres son indígenas y el 82% vive en zonas rurales. La población en condiciones de pobreza extrema es del orden del 15% (Derlagen *et al.*, 2020a)



A pesar de que el sector agrícola ha perdido gradualmente importancia en la economía de Guatemala, en 2020 representó el 10.8% del PIB nacional. Este sector emplea casi el tercio de la población económicamente activa (32%). Guatemala es el país centroamericano con el mayor número de productores agropecuarios de subsistencia, con alrededor de un 1'000,000 de agricultores, con fincas de menos de una hectárea, dedicados principalmente a la producción de maíz y frijol (ECLAC *et al.*, 2014). En general, la producción agrícola está diversificada, en comparación con otros países de la región e incluye granos básicos como el maíz (33%), frijol (10%), y aunque en menor proporción, el arroz (0.4%); los cultivos de frutales representan el 7.3%, entre los que destaca el banano (3.5%) y en menor proporción: plátano, aguacate, piña y limón (FAOSTAT, 2020). En el tema del mercado externo, el sector agrícola exporta el 45% de las exportaciones totales. Es el mayor exportador a nivel mundial de cardamomo, quinto lugar en exportación de azúcar y séptimo en producción de café (Derlagen *et al.*, 2020a).

Honduras está situada en el centro del istmo centroamericano, y es el segundo país más grande de la región. Cuenta con una superficie de 112,490 km² y 10'630,000 de habitantes (Derlagen *et al.*, 2019). El 59.2% de la población hondureña vive en condiciones de pobreza, situación que se agrava en la zona rural, donde dependen de la agricultura para subsistir; sin embargo, en el área urbana alcanza a más de la mitad de la población (INE, 2021). La población en condición de pobreza extrema o que vive con menos de USD 1.90 al día, representa el 28% (Michel y Walker, 2019; INE, 2021). El sector agropecuario es importante para la economía de Honduras; representa el 12.9% del PIB nacional, el 35.6% del valor de las exportaciones (Derlagen *et al.*, 2019) y emplea al 30.1% de la población económicamente activa (ONU, 2021). El 65% de la superficie cosechada en Honduras la ocupan el maíz (29%), el café (26%) y el frijol (13%) y los cultivos de frutales representan el 13%, entre los que destacan: banano, plátano, piña, melón, sandía y rambután (FAOSTAT, 2020). En la última década, el país ha sido afectado significativamente por la crisis económica global. Varios de sus principales productos de exportación, como el banano y el café, sufrieron caídas de demanda y precio (Derlagen *et al.*, 2019).

El Salvador con una superficie de 21,041 m² y una población de 6'500,000 de habitantes, representa el país más pequeño de Centroamérica y el más densamente poblado (314.6 habitantes por km²). La agricultura representa el 4.9% del PIB nacional (Banco Mundial, 2021) y proporciona empleo al 16% de la población económicamente activa (ONU, 2021).



El gobierno salvadoreño, desde el año 2009, ha dado mayor prioridad a la agricultura y, en particular, al sector de la agricultura familiar de subsistencia, que representa más del 80% de las fincas en el país. Una gran parte de la producción agrícola se dedica a los granos básicos: maíz (40%), frijol (14%) y sorgo (8%), principalmente para consumo nacional. También es de importancia por superficie cosechada el cultivo de café, que junto con la caña de azúcar, ambos son los principales productos agrícolas de exportación. Los frutales tropicales representan 1.5% de la superficie cosechada del país, destacando el plátano, la naranja, el limón, el aguacate y el banano (FAOSTAT, 2020). Aunque el café sigue siendo el producto agrícola más relevante del sector, su producción alcanza niveles bajos. En los últimos años, el gobierno inició diversas políticas para revertir esta tendencia e impulsar el crecimiento de las exportaciones tradicionales del país (Derlagen *et al.*, 2020b).

Los programas de apoyo a la fruticultura por parte del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) principalmente, y en coordinación con el IICA, el Centro Nacional de Tecnología Agrícola (CENTA) y el Banco Mundial, se han orientado a la reactivación de la fruticultura en El Salvador, como una alternativa rentable de producción, ante los bajos y fluctuantes precios del café. Algunas especies incluidas en estos programas son: limón, plátano, naranja, coco, mango, aguacate y especies nativas como el zapote, el jocote, el mamey níspero y la anona. La mayoría de estas especies nativas se producen a nivel de traspatio, aunque existen pequeñas áreas ya establecidas (MAG, 2004).

Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue conocer la problemática de la fruticultura, las posibles soluciones e identificar las especies de frutales tropicales de mayor interés en Guatemala, Honduras y El Salvador.

Materiales y Métodos

Se diseñó una cédula de encuesta en la que se abordaron los temas de: migración, cultivos, problemática en el manejo de las unidades de producción y de la comercialización de sus productos, así como también se solicitó que brindaran alternativas para mejorar la fruticultura en su región. En total se aplicaron 44 encuestas a productores, técnicos y funcionarios de los ministerios de agricultura de Guatemala, Honduras y El Salvador.



Asimismo, se realizaron visitas *in situ* a centros de investigación y transferencia de tecnología, fincas y puntos de venta de frutales en cada país, así como a la Universidad de El Salvador. También se recopilaban experiencias de alrededor de 100 personas relacionadas con la fruticultura.

Los resultados obtenidos se sistematizaron, se categorizaron y se obtuvieron las frecuencias o medias correspondientes.

En la parte de cultivos se separaron los frutales de los cultivos anuales; se eliminaron aquellos que son considerados cultivos industriales como: caña de azúcar, cacao, café y hule y los de clima templado. Se agruparon en “hortalizas de hoja” el cilantro, el chipilín, la hierbabuena, la lechuga, la albahaca, la espinaca, la hierbamora y el perejil. Aquellos cultivos que tuvieron dos o menos menciones, como arrayán y zapote domingo, se agruparon en ‘otros’.

Se recopilaban 141 alternativas que se agruparon en ocho categorías: tecnología de producción y postcosecha, capacitación, políticas públicas, comercialización y mercados, financiamiento, viveros certificados, organizaciones de productores y otros.

Resultados y Discusión

Las personas encuestadas tienen una edad promedio de 44 años, considerando un rango de los 20 a los 77 años, de los cuales el 88% son hombres. En cuanto a su ocupación, el 36% labora como técnico agrícola, el 26% son productores, el 21% académicos, el 10% funcionarios, el 5% son estudiantes y solo el 3% investigadores.

En lo correspondiente a migración, el 34% indicó tener familiares trabajando en otros países, de los cuales solo el 15% reciben remesas. El destino migratorio más común es Estados Unidos con el 70%, seguido de México con el 10%. En promedio, cuentan con 1.6 personas por familia en otro país. Los encuestados mencionaron que, aunque solo el 5% de ellos ha trabajado en el extranjero, 40% de ellos ha considerado trabajar en otro país.

Como resultado de las encuestas se identificaron 25 especies de frutales tropicales mayormente cultivados en las fincas de productores centroamericanos (Figura 1). Los frutales tropicales que se cultivan en los tres países son 12 (aguacate, cítricos, limón, pitahaya, chicozapote, plátano, guanábana tamarindo, piña, papaya y guayaba). Banano, coco, nanche, ciruela mexicana, marañón, mamey y otras frutas se cultivan solo en El Salvador y Guatemala. El maracuyá se reporta principalmente en



Guatemala y Honduras. Los cultivos de rambután, macadamia y mangostán se reportan mayormente en Guatemala. La guayaba se cultiva especialmente en Honduras y el Salvador y el cultivo de la anona en El Salvador.

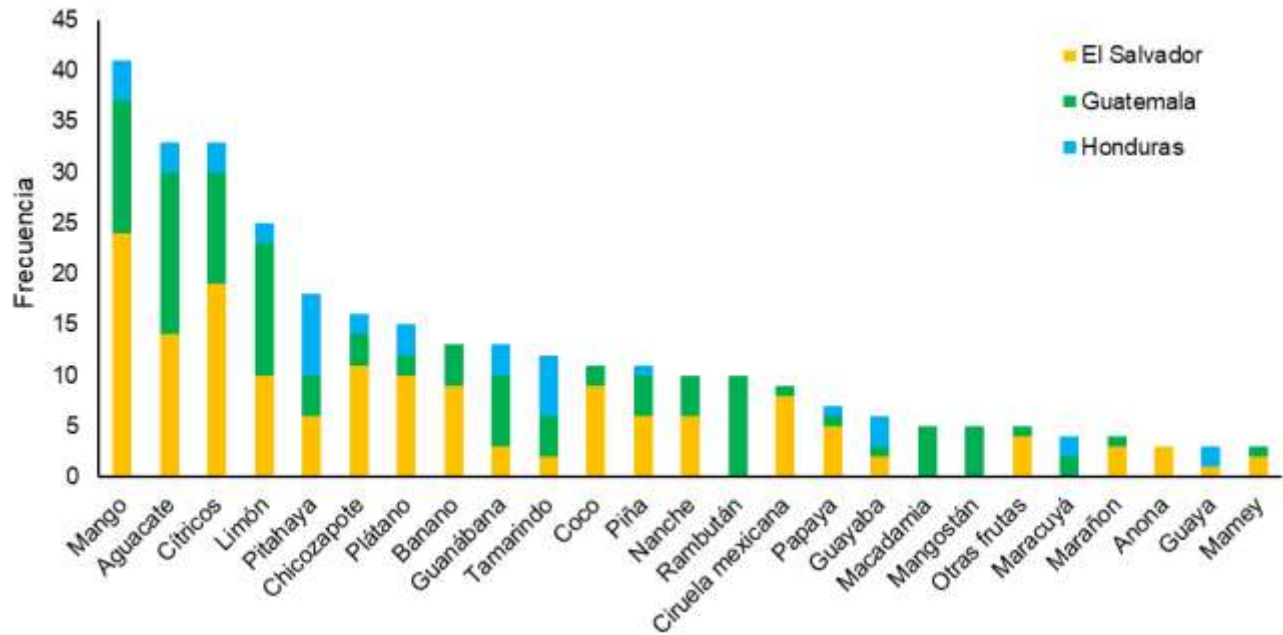


Figura 1. Frutales tropicales mayormente cultivados en fincas de Guatemala, Honduras y El Salvador.

En la Figura 2 muestran los cultivos anuales producidos en las fincas de los productores centroamericanos de la región del Triángulo Norte. El maíz y el frijol son cultivos básicos que predominan en Guatemala, Honduras y el Salvador, también se identifican hortalizas de hoja como la lechuga y el repollo, así como la yuca, el pepino y otras hortalizas entre las que se puede mencionar el cilantro y el cebollín. Destaca la sandía por cultivarse mayormente en Guatemala.

En la Figura 3 se muestran los problemas que se presentan con mayor frecuencia en las fincas de productores de los países del Triángulo Norte. Los problemas más mencionados fueron la falta de humedad del suelo y las plagas, mientras que, los menos mencionados fueron el robo, el exceso de radiación solar y la dependencia de un solo cultivo. Sin embargo, al analizar la jerarquización de los problemas, se identificó que los altos costos de producción son un problema importante para los productores en estos países.

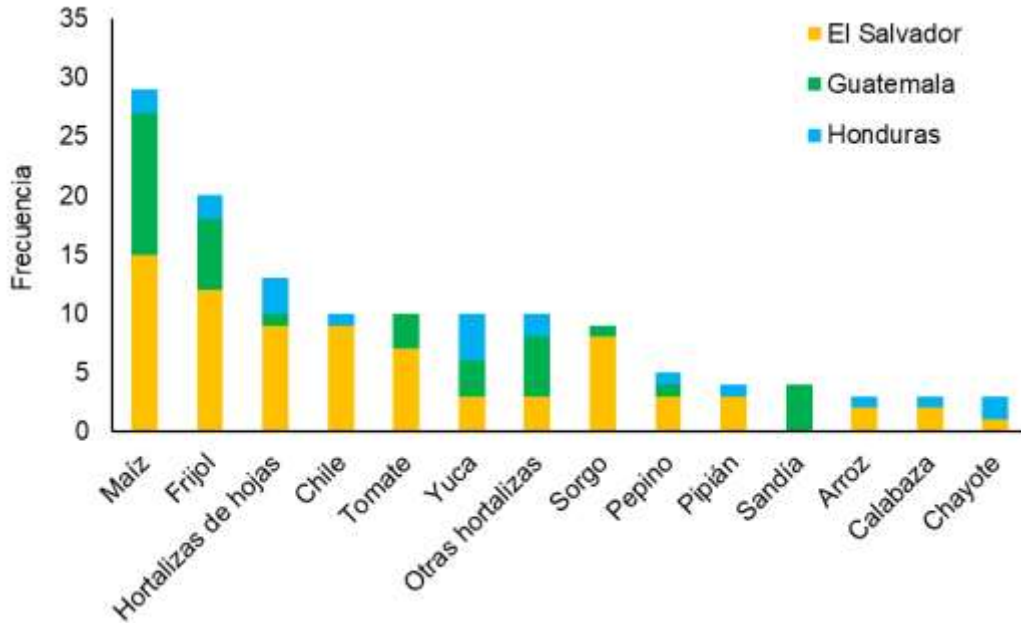


Figura 2. Cultivos anuales que se producen en las fincas de los productores de Guatemala, Honduras y El Salvador.

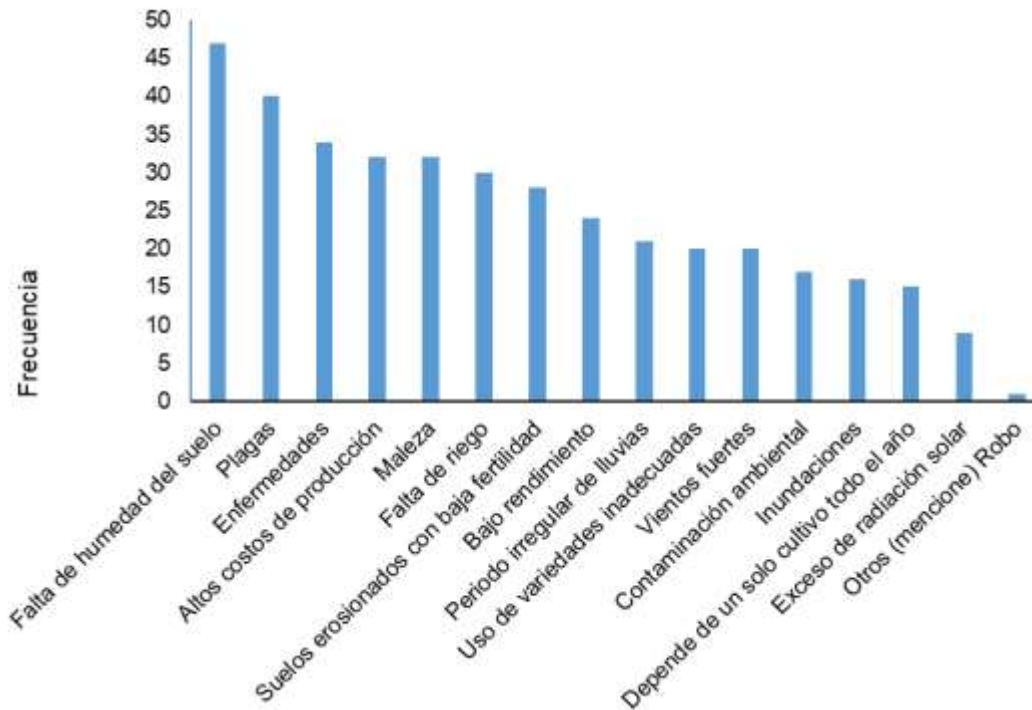


Figura 3. Problemas en las fincas de productores del trópico de Guatemala, Honduras y El Salvador.



En la Figura 4 se muestran las alternativas identificadas por los entrevistados para contribuir a la solución de los problemas en las fincas frutícolas de los países del Triángulo Norte. La mayoría considera que el tener tecnología de producción y de pos-cosecha, adecuadas permitiría hacer frente a los problemas detectados. Sin embargo, esto no se enfoca solo al hecho de tener la tecnología, sino que, identifican que esta debe ser transferida, demostrándolo en la segunda categoría en importancia detectada “capacitación”. En ésta se agruparon 40 alternativas que señalan la necesidad de capacitación a técnicos en los temas de fruticultura, manejo de cultivos, procesamiento de productos, sistemas de producción diversificados, para que brinden una mejor asistencia técnica, que atienda las necesidades reales de los productores.

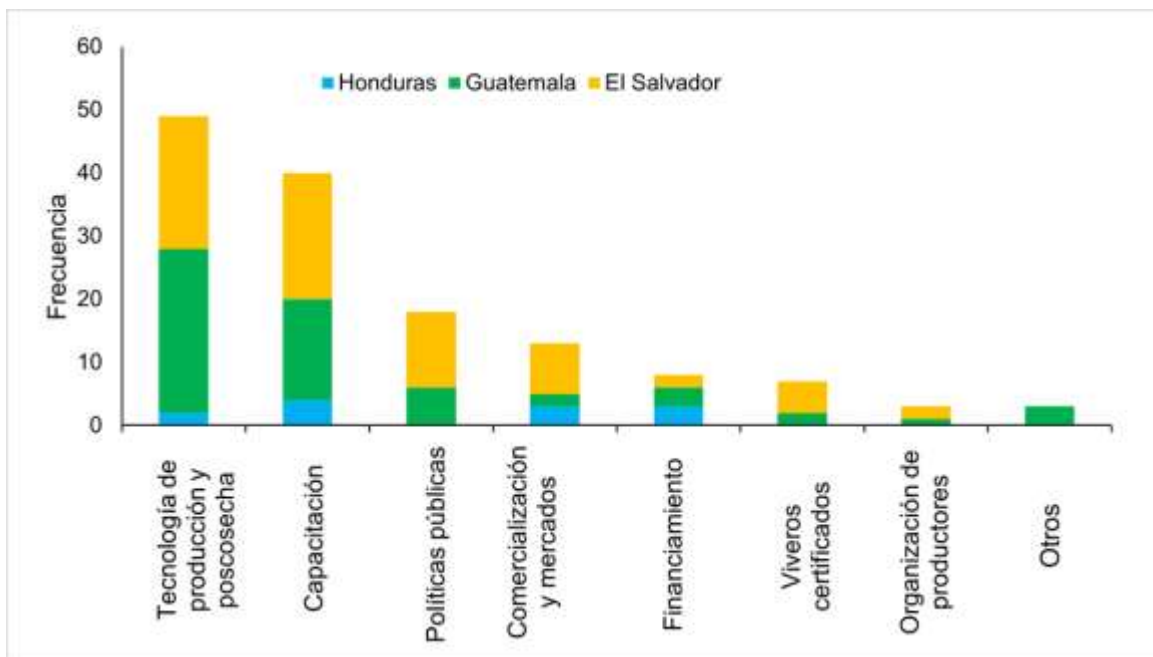


Figura 4. Categorías de alternativas para mejorar la fruticultura en su región dentro de los países de Guatemala, Honduras y El Salvador.

La categoría de políticas públicas es la tercera alternativa más importante, propuesta por los encuestados para mejorar la fruticultura en la región centroamericana. Ésta agrupa 18 alternativas relacionadas; entre los temas abordados están: promover la producción de frutales, el desarrollo de investigación de acuerdo a la demanda de los productores, regular el precio de los insumos agrícolas, aplicar subsidios a la agricultura que generen menor impacto en la economía de los productores y más



tecnología, reducir las importaciones, desarrollar un programa para incentivar el consumo de frutas propias de la región, así como lineamientos para el comercio exterior, entre otras.

Conclusiones

En total son 25 especies de frutales tropicales cultivados mayormente en las fincas de productores centroamericanos, entre los que destacan: mango, aguacate, cítricos, limón, pitahaya, chicozapote, plátano, guanábana y tamarindo. Los cultivos mayormente mencionados, se cultivan en Guatemala, Honduras y El Salvador. Los cultivos anuales con mayor frecuencia fueron: maíz, frijol y hortalizas de hoja, chile, tomate y yuca. Los problemas que se presentan con mayor frecuencia son: la falta de humedad del suelo y la presencia de plagas. Las alternativas propuestas para mejorar la fruticultura en la región se relacionan con tecnologías de producción y manejo postcosecha y capacitación.

Literatura Citada

- Banco Mundial. 2021. Indicadores de desarrollo mundial. Washington, DC: El Banco Mundial. <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>)
- Derlagen, C., C. P. De Salvo, G. Pierre y J. J. Egas. 2019. Análisis de políticas agropecuarias en Honduras. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Honduras. p. 203.
- Derlagen, C., C. P. De Salvo, G. Pierre y J. J. Egas. 2020a. Análisis de políticas agropecuarias en Guatemala. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Guatemala. p. 74.
- Derlagen, C., C. P. De Salvo, G. Pierre y J. J. Egas. 2020b. Análisis de políticas agropecuarias en El Salvador. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). El Salvador. p. 77.



ECLAC (Economic Commission for Latin America and the Caribbean), FAO (Food and Agriculture Organization) and IICA (Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture). 2014. The Outlook for Agriculture and Rural Development in the Americas. <http://www.fao.org/docrep/019/i3702s/i3702s.pdf> [consultado el 29 de julio de 2022].

FAOSTAT. 2020. Producción de cultivos y productos de ganadería por países. División de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [consultado el 31 de julio de 2022].

Henríquez, P. y K. L. Andrews. 2008. Sostenibilidad de las cadenas frutícolas en el Salvador: oportunidades, retos y perspectivas. *Revista El Salvador Ciencia y Tecnología* 13(18):18-24.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2021. Triángulo norte centroamericano, una preocupación de los países de las américas que será llevada a la cumbre de sistemas alimentarios de la ONU. Nota de prensa. <https://iica.int/es/prensa/noticias/triangulo-norte-centroamericano-una-preocupacion-de-los-paises-de-las-americas-que> [consultado el 31 de julio de 2022].

INE (Instituto Nacional de Estadística). 2021. Hogares en situación de pobreza. LXXII encuesta permanente de hogares de propósitos múltiples. Honduras. <https://www.ine.gob.hn/V3/imag-doc/2021/12/Situaci%C3%B3n-de-pobreza.pdf> [consultado el 31 de julio de 2022].

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2004. *Frutal Es. Programa Nacional de Frutas de El Salvador*. Ed. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Marini, D. B., D. Maeso, A. Bustamante y H. Prieto. 2020. Estado del arte de la plataforma regional para la prevención y detección precoz de enfermedades cuarentenarias en frutales en América Latina y el Caribe. FONTAGRO/BID/IICA. Washington DC. 85 p.

Michel, V. e I. Walker. 2019. Honduras: diagnóstico del trabajo. Banco Mundial, Washington DC. 78 p.



ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2021. División de estadística. El Salvador, Honduras y Guatemala. <http://data.un.org/en/iso/sv.html> [consultado el 31 de julio de 2022].



INCREMENTO DEL CONTENIDO DE ESCUALENO DEL AMARANTO GERMINADO (*Amaranthus hypochondriacus* L.) CON ELICITORES ABIÓTICOS

Reyna Bibiana Colorado Terrazas⁵⁴, Cristian Jiménez Martínez^{54*}, María Stephanie Cid Gallegos⁵⁵,
Luis Jorge Corzo Ríos⁵⁵ y Ofelia Gabriela Meza Márquez⁵⁴

Resumen

El amaranto es una planta que ha sido cultivada en nuestro país desde tiempos prehispánicos. El amaranto o alegría es una fuente importante de carbohidratos, fibra, proteínas, minerales, aminoácidos y lípidos en la alimentación humana. Existen diversos estudios sobre sus propiedades, donde resaltan sus proteínas y la presencia de compuestos bioactivos, por lo que el interés por conocer más sobre esta planta ha ido en incremento. Las semillas de amaranto contienen una parte lipídica, dentro de la cual se encuentra el escualeno, un compuesto con alta actividad antioxidante, propiedades anticancerígenas y antiinflamatorias, además de ser coadyuvante en la efectividad de las vacunas y en la absorción de las cremas corporales. El escualeno de forma tradicional se ha obtenido a partir del hígado de los tiburones, sin embargo, también puede obtenerse de fuentes vegetales como la semilla de amaranto. Se cree que mediante el proceso de germinación se pueden mejorar las características nutricionales y biofuncionales de las semillas de amaranto. También que al combinar la germinación con elicitores bióticos y abióticos se pueden modificar las rutas metabólicas y producir metabolitos de interés, aumentando su concentración para su aprovechamiento industrial. Considerando lo anterior, el objetivo fue determinar las condiciones óptimas (t, T y HR) de germinación del amaranto (*A. hypochondriacus*) con el uso de elicitores abióticos para obtener la mayor concentración del escualeno en las semillas. Se obtuvo semilla de *Amaranthus hypochondriacus* L. de la cosecha 2020, que se preparó antes de ser germinada. Se emplearon germinadoras Moisteland y Thermo Scientific en donde se colocaron 15 g de semilla. Se evaluaron las temperaturas de 20, 22 y 24°C, el 75, 80 y 85% de humedad relativa y un tiempo de germinación de 24 a 72 h. El tratamiento con la germinación a 20°C y 85% de HR durante

⁵⁴ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. *Autor de correspondencia: crisjm_99@yahoo.com

⁵⁵ Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología-IPN.



24 h permitió una producción de 366.03 mg de escualeno/100 g de semilla seca. Se concluye que con el uso de elicitores y condiciones de temperatura de 24°C, HR de 75% y un tiempo de 24 h de germinación se tienen las mayores concentraciones de escualeno.

Palabras clave: pseudocereal, isoprenoide, metabolitos, bio-funcionales

Introducción

El amaranto es un pseudocereal con 6000 años de historia. Según la clasificación taxonómica, el amaranto pertenece a la clase de dicotiledóneas subclase *Caryophyllidae*, orden *Caryophyllales*, familia *Amaranthaceae* y género *Amaranthus*, que consta de unas 800 especies (Arent y Dal Bello, 2008). Actualmente, su siembra prevalece principalmente en Puebla, considerado el mayor estado productor con 1,969 ha de siembra y cosecha (SADER, 2020). Este pseudocereal y sus partes vegetativas, se pueden utilizar en la alimentación humana, pero las hojas también se emplean en la alimentación animal o como fertilizante de cultivos (Martirosyan *et al.*, 2007).

En la actualidad, el amaranto ha atraído la atención mundial como un cultivo con alto potencial nutricional y biológico, se puede utilizar como alimento nutraceutico para prevenir enfermedades crónico-degenerativas (Paško *et al.*, 2009). La composición química del amaranto es similar a la del maíz, arroz o trigo (Black, 2001), tiene al almidón como su componente principal (50-65%). En comparación con otros cereales, el amaranto tiene un contenido significativo de proteína (14-17%), lípidos (7-9%) y fibra (4-10%) (Escudero *et al.*, 2004). Cada especie del género *Amaranthus* presenta concentraciones diferentes de lípidos y proteínas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición química de las especies más comunes de amaranto.

	<i>A. caudatus</i>	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Proteína (%)	17.6-18.4	13.2-18.2	14.0	17.9
Lípidos (%)	6.9-8.1	6.3-8.1	6.7	7.7

(Peiretti, 2018).



Existen diferentes variedades por especie de amaranto, por ejemplo, *A. hypochondriacus* es representada por las variedades azteca, mixteca, nepalí y la raza de Pico, que se cultivan en México. Mientras que *A. cruentus* engloba variedades sudamericanas, mexicanas, guatemaltecas y africanas (Solano *et al.*, 2010).

La especie que se consume en México es *Amaranthus hypochondriacus* L. (Borneo y Aguirre, 2008) este amaranto contiene entre 16-18% de proteína, lo cual lo pone en ventaja con otros tipos de cereales como el trigo o el maíz (Algara *et al.*, 2013). Asimismo, contiene una buena parte lípidica, donde el ácido graso más abundante es el linoleico (33% -55.9%) (Kaur *et al.*, 2010); además, se ha reportado que la semilla de amaranto contiene valores cercanos al 8% de escualeno, este valor es superior a otros vegetales (González, 2012).

El escualeno es un triterpeno poliinsaturado que contiene seis isoprenounidades y es un producto intermedio básico en biosíntesis de esteroides (Gabás *et al.*, 2014); también se encuentra en pequeñas cantidades en la fracción insaponificable de los aceites vegetales, como los obtenidos a partir de aceitunas y el amaranto (He y Corke, 2003). El escualeno posee una estructura similar al β -caroteno siendo un intermediario en la síntesis del colesterol; este metabolito no es muy susceptible a la peroxidación y actúa como protector a la exposición de radiación UV (Algara *et al.*, 2013).

Las plantas biosintetizan más de 230 diferentes metabolitos en respuesta a las condiciones de estrés debido a la sequía, depredación o enfermedad. Entre estos metabolitos, se encuentran las fracciones insaponificables (<1,5%) que contribuyen a propiedades bioactivas de los aceites e imparten estabilidad a las membranas celulares de las plantas. El almacén escualeno se utiliza para formar moléculas importantes como β -sitosterol, campesterol y estigmasterol, que son precursores de hormonas para el crecimiento y adaptación de las plantas al estrés biótico (Nguyen *et al.*, 2013). Debido a la importancia en la generación de metabolitos secundarios, se ha buscado la aplicación de diferentes tecnologías como los cultivos *in vitro* o la germinación para incrementar el contenido de estos en los cereales y las leguminosas.

La germinación es una de las tecnologías más accesibles; ésta es relativamente económica y fácil de realizar, lo que permite una mejor disponibilidad de nutrientes, así como el aumento de compuestos bioactivos presentes en los germinados con respecto a las semillas crudas (Lallana *et al.*, 2005). La germinación es definida como el conjunto de procesos metabólicos y morfogenéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula (Matilla, 2003). La germinación involucra todos aquellos procesos que comienzan con la absorción de agua por la semilla quiescente



(imbibición), entra en una segunda etapa denominada fase de germinación "*sensu stricto*", que se caracteriza, entre otros hechos, por disminuir la absorción de agua por las semillas y termina con la elongación del eje embrionario. La señal visible de la finalización de la germinación es la emergencia de la radícula embrionaria a través de las cubiertas seminales (Varela y Arana, 2011). Durante la formación de la semilla, los lípidos, constituidos principalmente como grasas neutras, están acumulados en organoides con membrana, llamados esferosomas que se encuentran distribuidos al azar en el citoplasma (Lallana *et al.*, 2005).

Entre los factores extrínsecos relacionados con el proceso de germinación se encuentran el agua, el dióxido de carbono, el oxígeno, la temperatura y la luz. Para cada especie existe un intervalo por factor que definen los límites en que se puede dar la germinación (Lallana *et al.*, 2005). Estos factores, influyen en la composición química de la semilla, por lo que una modificación controlada, puede dar origen a un mayor contenido de compuestos funcionales. Los elicitores son sustancias de diversas fuentes tanto inorgánicas como orgánicas que pueden inducir efectos fisiológicos y cambios como la activación de respuestas defensivas y la acumulación de fitoalexinas en el organismo al cual son aplicados (García *et al.*, 2018). Por otro lado, existen los elicitores químicos o abióticos, tales como ácido isonicotínico, ácido salicílico, ácido jasmónico y etileno. Los elicitores naturales o bióticos pueden clasificarse en varios grupos, los que difieren en el intervalo de especificidad (Arana, 2006). Los elicitores químicos como el quitosano, el benzotiadiazol (BTH) o la harpina, entre otros, son agroquímicos que imitan la acción de moléculas señal o simulan el ataque de un patógeno. Dichas moléculas interactúan con receptores en la planta activando la respuesta defensiva y una reacción de hipersensibilización.

Por otra parte, el escualeno es una molécula que forma parte de manera natural de los tejidos en el cuerpo, por lo que carece de efecto tóxico alguno, evita cualquier tipo de rechazo y se asemeja a la vitamina E de ahí su actividad antioxidante. El escualeno se encuentra en gran cantidad en el aceite extraído del hígado de tiburón (13.1%) y en menor cantidad en el amaranto (5.9%), pero siendo aún considerado un valor alto en comparación con otros cereales. El amaranto es una fuente alternativa para la obtención de escualeno y así disminuir la caza de animales marinos. La germinación de las semillas es un método tecnológico económico que permite la modificación nutricional y funcional de las semillas. Los elicitores son sustancias que, al ser reconocidos por las plantas, dan lugar a su mecanismo de defensa generando diferentes metabolitos secundarios entre los que se encuentra el escualeno. Es por eso por lo que en este trabajo se utilizaron elicitores abióticos con el fin de potencializar la



concentración de este compuesto. El objetivo fue determinar las condiciones óptimas (t, T y HR) de germinación del amaranto (*A. hypochondriacus*) con el uso de elicitores abióticos para obtener la mayor concentración del escualeno en las semillas.

Materiales y Métodos

Material biológico

La semilla de *Amaranthus hypochondriacus* empleada fue seleccionada y donada por la Federación de productores de Amaranto del Estado de México, de la cosecha 2020.

Acondicionamiento de la semilla y elicitores abióticos

Para prevenir la contaminación de la semilla, se removió el polvo con agua corriente y posteriormente se remojo en solución de NaClO al 2.4% por 10 min, para finalizar se remojo por 10 min en una solución de MeOH al 50%. Para el establecimiento de condiciones óptimas de germinación se utilizaron 15 g de semilla de amaranto. Se emplearon dos germinadoras, en la germinadora Moisteland se colocó la muestra en charolas redondas (d=28 cm), mientras que para la germinadora Thermo Scientific, se utilizaron charolas rectangulares (50 x 30 cm). Las condiciones estudiadas de temperatura fueron de 20, 22 y 24°C, con una humedad relativa de 75, 80 y 85%, y un tiempo de germinación de 24 a 72 h, tomando muestras cada 24 h de crecimiento del germinado. El método óptimo de germinación combinó con concentraciones de benzotiazol y ácido salicílico (INTAGRI, 2017) en intervalos de 10-100 ppm, de igual manera se preparó un blanco de reactivos. Estos elicitores se agregaron en el agua de riego y se aplicaron durante todo el proceso de germinación estipulado.

Extracción de la fase oleosa

Las muestras obtenidas se secaron en la estufa a 50°C por 24 h, al término de lo cual se molieron hasta obtener harina de tamaño homogéneo de tamiz 60. La harina fue colocada en cartuchos de extracción en un el Soxhlet durante 5 h para obtener la fase oleosa.

Cuantificación de escualeno

La identificación y cuantificación de escualeno en los extractos de aceite obtenidos se realizaron utilizando un HPLC (Agilent 1250, DAD1 A, Wilmington, EE. UU.) a 195 nm. Para realizar la cuantificación de escualeno, se separó la semilla germinada de la no germinada eliminando de esta manera, algún falso positivo en las muestras. Se realizaron las pruebas con los datos propuesto por el



diseño factorial con el fin de determinar las condiciones óptimas de tiempo (h), temperatura (°C) y humedad relativa aplicadas.

Resultados y Discusión

La semilla sin germinar presentó el 8.41% de extracto oleoso obtenido por el método de Soxhlet. Cuando se aplicaron las diferentes condiciones de germinación se observó que utilizando 72 h/24°C y 85% de HR, se incrementa el 64% de la cantidad de lípidos. Sin embargo, cuando se aplican 24 h/24°C y 85% HR, se obtiene un incremento del 56%, lo que representa una diferencia del 9% cuando se comparan ambos tratamientos (Cuadro 2).

En la Figura 1 se observa que el aumento de escualeno no es directamente proporcional al aumento de lípidos. Esto se ve reflejado en la muestra 5 que presenta un valor de 12.66% de grasa el cual es 150.23% mayor con respecto a la semilla sin germinar. En el caso del escualeno la proporción encontrada fue ligeramente mayor al testigo, mientras que en la muestra 1 el aumento de escualeno fue de 900% con respecto a la semilla sin germinar mientras que de grasa se solo se presentó un aumento del 150.21%.

Se considera que las diferencias entre las muestras se deben a que la planta está utilizando el escualeno para formar moléculas como β -sitosterol, campesterol y estigmasterol, que son precursores de hormonas para el crecimiento y adaptación de las plantas al estrés (Nguyen *et al.*, 2013), mientras que los lípidos se utilizan como fuente de energía para llevar a cabo este proceso (Figura 2).

Este efecto se observó durante la germinación del amaranto mostró que el contenido de lípidos si se incrementa, respecto a la semilla de amaranto sin germinar, similar al reportado por (Guardianelli *et al.*, 2019). Chaparro-Rojas *et al.* (2010), mencionan que el tiempo de germinación de 24 h es el óptimo para obtener mayor cantidad de escualeno coincidiendo este tiempo con lo encontrado en el actual proyecto.

Cuadro 2. Contenido de escualeno en semilla seca de amaranto, germinada bajo diferentes condiciones de temperatura, humedad y tiempo.

Muestra	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Tiempo (h)	Germinación (%)	mg escualeno/ 100g semilla seca
0	0	10.9	---	---	33.08
1	20	75	24	42	245.41
2	24	75	24	42	347.76
3	20	85	24	43	366.03
4	24	85	24	43	226.77
5	20	75	72	41	217.77
6	24	75	72	41	173.51
7	20	85	72	43	51.41
8	24	85	72	41	251.67
9	22	80	48	49	110.88
10	22	80	48	48	110.63
11	22	80	48	49	110.69

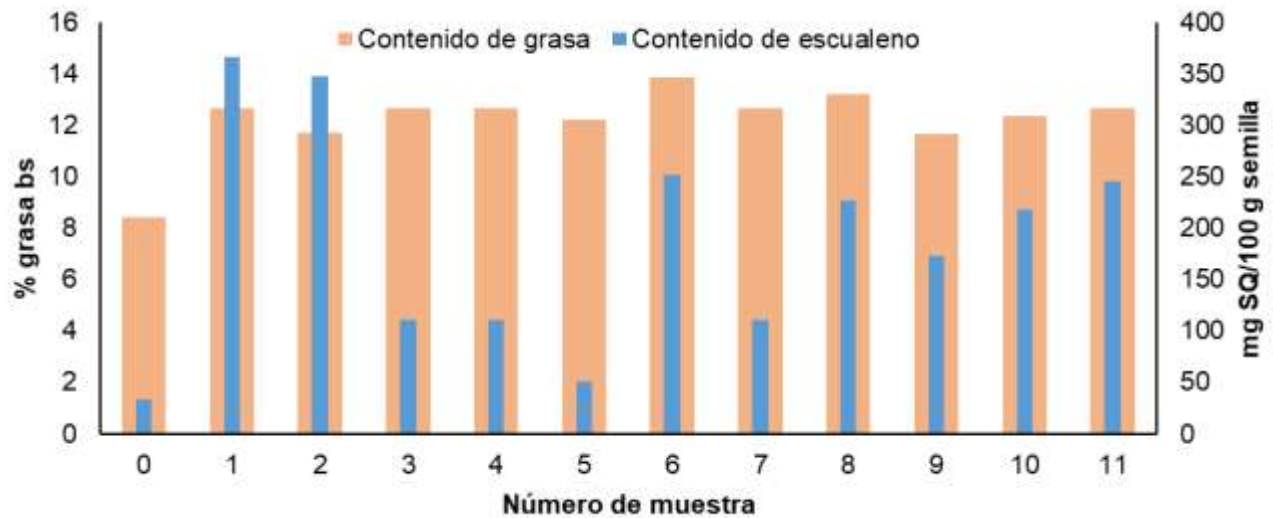


Figura 1. Contenido de lípidos y escualeno en diferentes condiciones de germinación de amaranto.

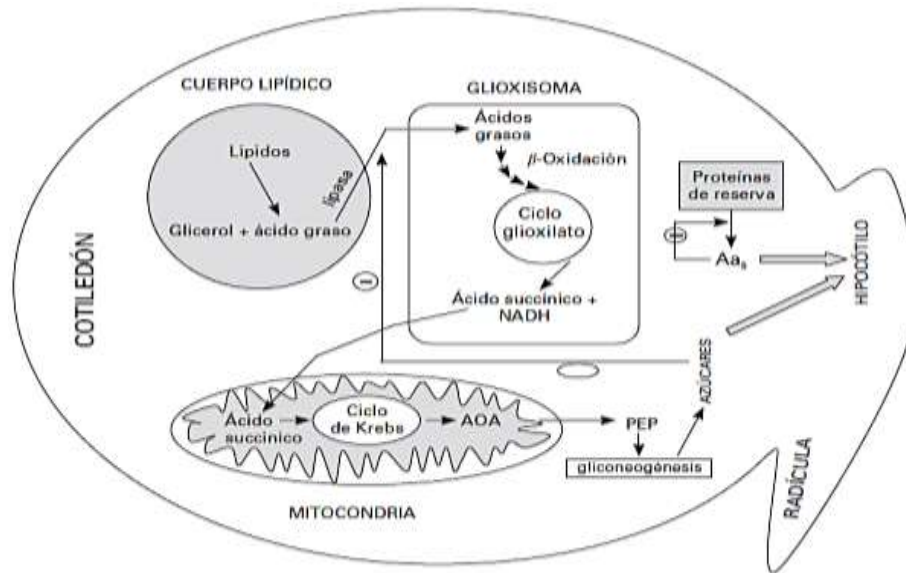


Figura 2. Metabolismo y movilización de proteínas de reserva y lípidos en semillas de dicotiledóneas. La inhibición feedback se indica con el símbolo (-) (Azcón y Talón, 2003).

La temperatura permite el desarrollo de raíces, la síntesis de hormonas y la absorción de nitrógeno, estos últimos son transportados al fruto y previenen su cambio de color; con ello contribuye a su desarrollo competitivo con la brotación, la cual comparte el reparto de fotoasimilados (Matilla, 2003). Además, se encontró que no hay una diferencia significativa ($p < 0.05$) en las respuestas del sistema (% germinación, % lípidos, cantidad de escualeno) de las condiciones de temperatura y humedad que se utilicen para germinar (Cuadro 3), el factor a considerar es el tiempo, ya que afecta en el desarrollo de la plántula, así como en la cantidad de aceite y escualeno en la semilla de amaranto.

Pruebas con elicitores

Al realizar las pruebas con las diferentes concentraciones de ácido salicílico, se observó que hubo un mayor crecimiento en la semilla de amaranto en comparación con la semilla a condiciones óptimas para encontrar mayor cantidad de escualeno (Figura 3).

En el Figura 4 se puede observar que hay una disminución de escualeno inversamente proporcional al desarrollo de la raíz en la semilla.

El ácido salicílico es una hormona vegetal presente en todos los órganos vegetales y desempeña un papel fundamental en la regulación del crecimiento, desarrollo e interacción de las plantas con otros organismos patógenos, así como en la inducción de defensa de las plantas frente a diferentes tipos de estrés ambientales (sequia, salinidad, inundaciones, cambios de temperatura, entre otros). La defensa de las plantas contra cualquier tipo de estrés esta mediada a través de varias vías de señalización que

conducen a la producción de muchas proteínas defensivas y compuestos no proteicos (INTAGRI, 2017). Por lo cual, se atribuye que el ácido salicílico tuvo un efecto negativo a la producción de aceite, ya que, en lugar de ser una respuesta al estrés por este compuesto para una mayor producción de aceite y escualeno, fue una estimulación al crecimiento (Figura 4) utilizándolos como fuente de energía.

Cuadro 3. Análisis de varianza de las condiciones óptimas para germinar amaranto.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	3	140042	46681	1.30	0.338
Temperatura (°C)	1	7111	7111	0.20	0.668
Humedad (%)	1	12719	12719	0.36	0.568
Tiempo (h)	1	120212	120212	3.36	0.104
Error	8	286221	35778		
Falta de ajuste	5	286221	57244	1825002.95	0.000
Error puro	3	0	0		
Total	11	426263			

Ecuación de regresión: [Escualeno] = 930 + 14.9 Temperatura - 8 Humedad - 122.6 Tiempo



Figura 3. Germinación de semilla de amaranto en condiciones óptimas de crecimiento (a) y tratada con solución de 80 ppm de ácido salicílico aplicada por riego (b).

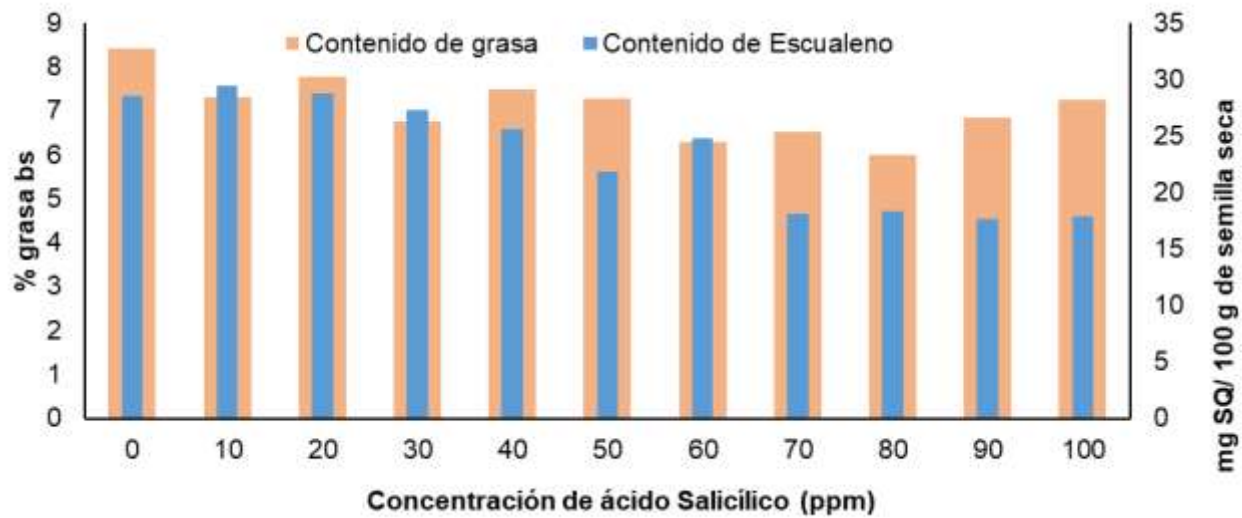


Figura 4. Contenido de grasa y escualeno en amaranto germinado estresado con el elicitor ácido salicílico.

En lo que respecta al bentsotiazol como elicitor, se diferencia del ácido salicílico, al no observarse un crecimiento de la radícula. Asimismo, el aumento del contenido de escualeno fue mínimo (Figura 5) en comparación con lo obtenido con la germinación sin elicitores.

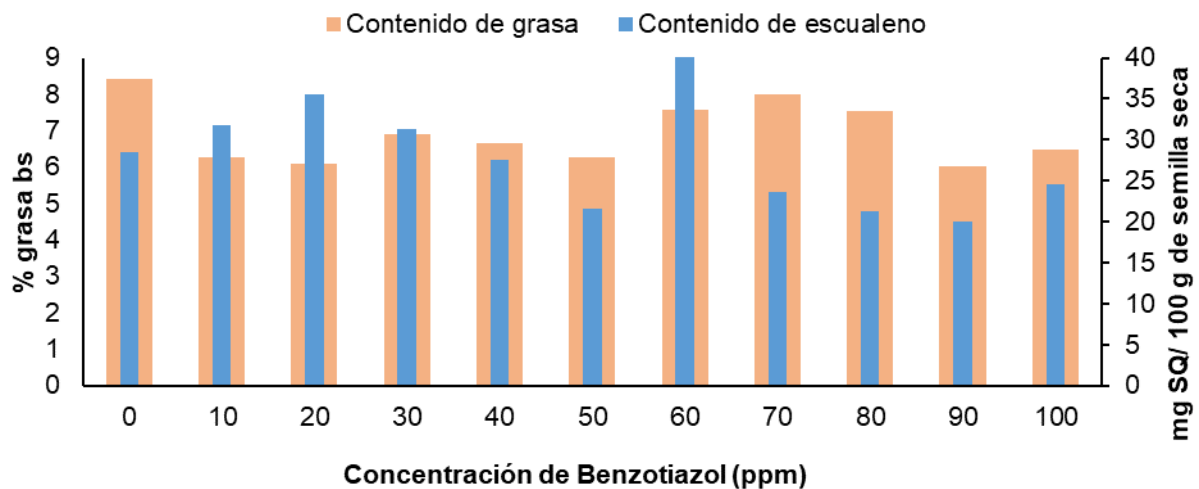


Figura 5. Contenido de grasa y escualeno en amaranto germinado estresado con el bentsotiazol.

Esto hace que se replantee el uso de este elicitor en la semilla para lograr el estrés y el aumento del contenido de escualeno. El bentsotiazol es considerado un compuesto orgánico volátil o VOCs. Las



rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal emiten estos VOCs que pueden provocar la inducción de resistencia y tolerancia sistémicas en la planta, lo cual reduce el estrés en los sistemas agronómicos y mejora la salud vegetal (Bitas *et al.*, 2013). Adicionalmente, los VOCs pueden actuar de manera directa sobre microorganismos patógenos produciendo daño en el ADN (Effmert *et al.*, 2012), por lo que se debería buscar la concentración adecuada para provocar este proceso y así comprobar si hay un aumento en la cantidad de escualeno en la semilla de amaranto.

Conclusiones

1. El germinador que brindó mejor rendimiento fue el Moistenland. 2. Las condiciones óptimas de germinación para el aumento de escualeno fueron 24°C de temperatura, con 75% de humedad relativa por 24 h. 3. El tiempo de germinación es el principal factor que afecta la concentración de escualeno. 4. Tanto el contenido del extracto oleoso como de escualeno disminuyen conforme aumenta tiempo de germinación. 5. El ácido salicílico no favorece el aumento de la cantidad de aceite y escualeno en las concentraciones estudiadas. 6. El benzotiazol no favorece el aumento de la cantidad de aceite y escualeno a esas concentraciones.

Agradecimientos

Se agradece a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas por el apoyo para la realización del presente trabajo, así como al CONAHCYT por la beca otorgada.

Literatura Citada

Algara, S. P., J. Gallegos Martínez y J. Reyes Hernández. 2013. Amaranto: Efectos en la nutrición y la salud. TLATEMOANI: Revista Académica de Investigación, 84:487–492. <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>



- Arana, L. F. 2006. Efecto de elicitores bióticos y abióticos en algunas variables morfológicas y contenido de digoxina y digitoxina en la multiplicación *in vitro* de brotes de *Digitalis purpurea* L. en medio de cultivo semisólido. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2927/2006>
- Arent, E. y F. Dal Bello. 2008. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Academic Press. Vol. 1. USA.
- Azcón, B. J. y M. Talón. 2003. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGrawHill/Interamericana. España. 522 p.
- Bitas V., H. S. Kim, J.W. Bennett y S. Kang. 2013. Sniffing on microbes: diverse roles of microbial volatile organic compounds in plant health. *Mol Plant Microbe Interact.* 26(8):835-843. <https://doi.org/10.1094/MPMI-10-12-0249-CR>
- Black, J L. 2001. Variation in Nutritional Value of Cereal Grains across Livestock Species. p. 22–29. *In: Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium.*
- Borneo, R. y A. Aguirre. 2008. Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of past mad with dried amaranth leaves flour. *Food Science and Technology.* 41:1748-1751
- Chaparro-Rojas, D. C., R. Y. Pismag-Portilla, A. Elizalde-Correa, N. J. Vivas-Quila y C. A. Erazo-Caicedo. 2010. Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial.* 8(1):35-42.
- Effmert U, J. Kalderás, R. Warnke y B. Piechulla. 2012. Volatile mediated interactions between bacteria and fungi in the soil. *J. Chem. Ecol.* 38(6):665-703. <https://doi.org/10.1007/s10886-012-0135-5>



- Escudero, N. L., M. L. De Arellano, J. M. Luco, M. S. Giménez, y S. I. Mucciarelli. 2004. Comparison of the chemical composition and nutritional value of *Amaranthus cruentus* flour and its protein concentrate. *Plant Foods for Human Nutrition*. 59(1):15–21. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0033-3>.
- Gabás R., C., C. Barranquero, R. Martínez B., M. A. Navarro, J. C. Surra y J Osada. 2014. Dietary squalene increases high density lipoprotein-cholesterol and paraoxonase 1 and decreases oxidative stress in mice. *PLoS One*. 9(8):e104224.
- García E., E. L., A. Robledo O., A. Benavides M., S. Solís G. y S. González M. 2018. Efecto de elicitors de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 20:4211–4221.
- González, M., S. O. 2012. Evaluación fisicoquímica y capacidad antioxidante del aceite de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) y estabilidad oxidativa de diferentes sistemas de encapsulación. Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Guardianelli, L. M., M. V. Salinas y M. C. Puppo. 2019. Chemical and thermal properties of flours from germinated amaranth seeds. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 13(2):1078-1088.
- He, H., y H. Corke. 2003. Oil and squalene in amaranthus grain and leaf. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 51:7913–7920.
- INTAGRI. 2017. La Inducción de Defensa en las Plantas a través de Elicitors. Serie Fitosanidad. 92. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-induccion-de-defensa-en-las-plantas-a-traves-de-elicitors>.
- Kaur, S., S. Narpinder y R. Jai Chand. 2010. *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*. 123(4):1227–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.091>.



- Lallana, V. H., J. H. Elizalde, y L. F. García. 2005. Unidad Temática 11: Germinación y Latencia de semillas y yemas. [http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/Ut_11GLS Y.pdf](http://www.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/WEBFV_2010/mat_did/Ut_11GLS_Y.pdf)
- Martirosyan, D. M., L. A. Miroshnichenko, S. N. Kulakova, A. V. Pogojeva y V. I. Zoloedov. 2007. Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids in Health and Disease* 6(1). <https://doi.org/10.1186/1476-511X-6-1>.
- Matilla, A. 2003. Ecofisiología de la germinación de semillas. p. 901-922. *In* Thomson-Paraninfo (ed.). *Ecofisiología vegetal: una ciencia de la síntesis*.
- Nguyen, H. T. M., A. K. Neelakadan, T. N. Quach, B. Valliyodan, R. Kumar, Z. Zhang, *et al.* 2013. Molecular characterization of glycine max squalene synthase genes in seed phytosterol biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry* 73:23–32.
- Paśko, P., H. Bartoń, P. Zagrodzki, S. Gorinstein, M. Fołta, y Z. Zachwieja. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 115(3):994–98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.037>.
- Peiretti, P. G. 2018. Amaranth in Animal Nutrition: A Review. *Livestock Research for Rural Development* 30(5).
- Solano, J P. L. 2010. Genetic Diversity in Some Species of Amaranth (*Amaranthus* spp.) *Revista Fitotec. Mex.* 33(2):89–95.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. Amaranto, un cultivo ancestral y de alto valor nutricional. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/amaranto-un-cultivo-ancestral-y-de-alto-valor-nutricional?idiom=es#:~:text=Hoy prevalece principalmente en Puebla,61%25 de la producci3n nacional.&text=En el 2019%2C obtuvieron 5%2C548,3%2C192 hect3reas a nivel nacional>.



Varela, S. A. y V. Arana. 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos.
Serie técnica: “Sistemas Forestales Integrados”. Cuadernillo N° 3. INTA EEA Bariloche.



PRODUCTIVIDAD DE CRUZAS INTERVARIETALES, HÍBRIDOS Y VARIETADES DE MAÍZ EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO

Elizabeth Arely Carrera Trujillo^{56*}, Mauro Sierra Macías⁵⁷, Oscar Hugo Tosquy Valle⁵⁷, Marcos Ventura Vázquez Hernández⁵⁷ y Cristal Arany Guerrero Ortíz⁵⁶

Resumen

En Veracruz, México, el rendimiento promedio de maíz es menor a 2.5 t/ha, debido a que el cultivo es afectado por diferentes factores técnicos, bióticos y abióticos, entre los que destacan el uso de materiales criollos de bajo potencial de rendimiento, así como de grano como semilla de variedades mejoradas, las cuales también son de bajo rendimiento, susceptibles a enfermedades y a condiciones de sequía y de suelo ácido, que prevalecen en el trópico húmedo y subhúmedo de la entidad. El objetivo de este trabajo fue identificar los genotipos de mayor rendimiento y mejores características agronómicas, que los materiales de actual uso dentro de un grupo de genotipos de maíz conformado por cruza intervarietales experimentales y sus progenitores, híbridos y variedades. Los genotipos se evaluaron en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP durante el ciclo de temporal de 2022. Se utilizó el diseño experimental bloques al azar con dos repeticiones y parcelas de seis surcos de 6 m de longitud, con una separación de 0.80 m, teniendo como parcela útil los cuatro surcos centrales. Se cuantificaron: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, sanidad de planta y de mazorca, porcentaje de mala cobertura de mazorca y rendimiento de grano. Se realizaron análisis de varianza y en donde se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la DMS al 0.05. También se realizaron análisis de correlación de las variables cuantificadas con el rendimiento de grano y contrastes ortogonales para comparar el rendimiento promedio de los diferentes tipos de genotipos de maíz. Se identificaron seis cruza intervarietales con rendimientos de grano significativamente superiores a los obtenidos por los testigos comerciales: H-520, V-537C y VS-536, de las cuales destacó V-537C x VS-536, por presentar el mayor rendimiento de grano (8,843.5 kg/ha), así como un porcentaje de mala cobertura de mazorca de 7.06, significativamente menor al de las otras

⁵⁶ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Autor para correspondencia: 186w0093@zongolica.tecnm.mx

⁵⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Cotaxtla.



cinco cruzas intervarietales y al de los testigos comerciales: H-520, H-518 y V-537C. En general, las cruza intervarietales obtuvieron un rendimiento promedio de 7,222 kg/ha, significativamente mayor al de sus progenitores y al de los testigos comerciales.

Palabras clave: *Zea maíz* L., genotipos, rendimiento

Introducción

En México, el maíz es de gran importancia socioeconómica, tanto por su superficie de cultivo, como por ser el principal grano básico en la alimentación humana en sus diferentes formas (consumo directo, a través de la industria harinera y de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización) (Sierra *et al.*, 2019), cuyo consumo *per cápita* es de 196.4 kg por año (Rodríguez *et al.*, 2021).

Durante 2021, en el país se sembraron 7'309,546.2 ha de maíz, de las que se obtuvo una producción de 27'503,477.82 t de grano (SIAP, 2023). En ese año, en el estado de Veracruz se sembraron 594,122.78 ha, en su mayoría con materiales criollos de bajo potencial de rendimiento (Ríos *et al.*, 2022), así como con grano de generaciones avanzadas de variedades mejoradas, las cuales también son de bajo rendimiento, susceptibles a enfermedades y a condiciones de sequía y de suelo ácido, que prevalecen en el trópico húmedo y subhúmedo de la entidad (Zetina *et al.*, 2002), por lo que, el rendimiento promedio de grano fue de tan sólo 2.3 t/ha (SIAP, 2023).

En diversos estudios de evaluación de genotipos se ha documentado que en el estado de Veracruz se pueden obtener rendimientos mayores a 6 t/ha con el uso de híbridos de maíz (Ríos *et al.*, 2022; Sierra *et al.*, 2022), considerando que en dicha entidad, existen cerca de 400,000 ha ubicadas en áreas de buena a muy buena productividad, donde es factible y conveniente el uso de semilla de híbridos de cruza simple, doble, triple y de cruza intervarietales, con características agronómicas sobresalientes, las cuales tienen mayor potencial de rendimiento, que los materiales criollos y las variedades mejoradas de actual uso (Reyes, 1985; Sierra y Rodríguez, 2017).

Lo anterior, se debe principalmente al efecto heterótico que muestra la semilla F₁ de estos híbridos, al sembrarse en campos de productores, como producto del cruzamiento entre dos o más progenitores contrastantes (Balderrama *et al.*, 1997; Ramírez *et al.*, 2019), y en el caso específico, de los híbridos



intervarietales, como producto de la cruce de dos variedades de polinización libre no emparentadas (Gómez, 1986; MacRobert *et al.*, 2015; Sierra *et al.*, 2022).

Específicamente, las cruzas intervarietales representan una buena alternativa de siembra, para los productores de maíz, debido a que además de la heterosis que ocurre al cruzar dos progenitores, es más fácil y rentable la producción comercial de semilla (Espinosa *et al.*, 2012; Sierra *et al.*, 2014; 2016a; Cervantes *et al.*, 2016; Tadeo *et al.*, 2016; Virgen *et al.*, 2016), debido a que éstas son variedades de polinización libre (Sierra *et al.*, 2018; Velasco *et al.*, 2019).

Por lo anterior, en el Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se condujo un ensayo de genotipos de maíz conformado por cruzas intervarietales experimentales, variedades sintéticas experimentales y mejoradas, híbridos y variedades, con el objetivo de identificar las de mayor rendimiento y con mejores características agronómicas, que los materiales de actual uso, que en un futuro puedan liberarse como nuevos materiales para su uso comercial.

Materiales y Métodos

El ensayo se estableció durante el ciclo primavera-verano de 2022, bajo condiciones de temporal, en terrenos del CECOT, localizado en el municipio de Medellín, Veracruz, a 18° 56' de Latitud Norte y 96° 11' de Longitud Oeste, y una altitud de 15 m.

El clima de la localidad es cálido subhúmedo Aw(w)(g), de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1987), con temperatura media anual de 25.4°C y precipitación pluvial anual de 1,337 mm (Díaz *et al.*, 2006). El suelo del sitio experimental es de orografía plana con una pendiente menor a 1%, textura franca, con pH de 6.6 (ligeramente ácido) y un contenido de materia orgánica mayor a 3%.

Se evaluaron 17 genotipos de maíz desarrollados por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del CECOT: ocho cruzas intervarietales experimentales, cuatro variedades sintéticas experimentales, la variedad sintética comercial VS-536 (Sierra *et al.*, 1992), la variedad comercial V-537C de alta calidad de proteína (Sierra *et al.*, 2001), los híbridos comerciales H-518 y H-520 (Sierra *et al.*, 2004) y el híbrido promisorio H-567; todos ellos de origen Cotaxtla 2021B y cuya genealogía y tipo de material se muestran en el Cuadro 1.



Cuadro 1. Genotipos de maíz evaluados en la zona centro del estado de Veracruz. Ciclo primavera-verano de 2022.

Núm. de tratamiento	Genealogía	Tipo de genotipo
1	SINT-2B X VS-536	Cruza intervarietal
2	SINT-4B X VS-536	Cruza intervarietal
3	SINT-5B X VS-536	Cruza intervarietal
4	SINT-3B X VS-536	Cruza intervarietal
5	V-537 C X VS-536	Cruza intervarietal
6	VS-536 X V-537 C	Cruza intervarietal
7	VS-536 X SINT-4B	Cruza intervarietal
8	VS-536 X SINT-5B	Cruza intervarietal
9	VS-536 PV2021 HUGO (TC)	Variedad sintética comercial
10	SINT-2B	Variedad sintética experimental
11	SINT-4B	Variedad sintética experimental
12	SINT-5B	Variedad sintética experimental
13	SINT-3B	Variedad sintética experimental
14	V-537C (TC)	Variedad mejorada de alta calidad de proteína
15	H-520 (TC)	Híbrido trilineal comercial
16	H-567	Híbrido trilineal promisorio
17	H-518 (TC)	Híbrido trilineal comercial

TC = Testigo comercial.

Los genotipos se sembraron el 9 de julio de 2022, a una densidad de población de 62,500 plantas/ha, en diseño experimental bloques completos al azar con dos repeticiones y en unidades experimentales de seis surcos de 6 m de longitud, con una separación de 0.80 m, teniendo como parcela útil los cuatro surcos centrales completos. El manejo agronómico del cultivo se realizó siguiendo las recomendaciones del CECOT para el estado de Veracruz, consistentes en una aplicación de atrazina en forma pre-emergente para el control de malezas, fertilización con la fórmula 161-46-00, utilizando urea como fuente nitrogenada y superfosfato de calcio triple como fuente fosfatada y aplicación de cipermetrina en dosis de 200 mL/ha de producto comercial para el control de plagas del follaje (Palafox



et al., 2010; Sierra y Rodríguez, 2017). La cosecha de las parcelas útiles del ensayo se realizó el 31 de octubre de 2022.

Durante la conducción del ensayo se midieron las siguientes variables: 1. Días a floración masculina. Se contaron los días a partir de la siembra hasta que el 50% de las plantas se encontraron en estado de anthesis. 2. Días a floración femenina. Se contaron los días a partir de la siembra hasta cuando el 50% de las plantas presentaron estigmas receptivos en sus mazorcas. 3. Altura de planta. Se cuantificó en cinco plantas tomadas al azar en cada parcela útil antes de la cosecha, midiendo desde la base del tallo, hasta el nudo donde se encuentra la hoja bandera. 4. Altura de mazorca. Se tomó en las mismas plantas en las cuales se midió la altura, desde la base del tallo, hasta el nudo donde se inserta la mazorca principal. 5. Sanidad de planta. Se determinó utilizando una escala del 1 al 5, donde 1 = Excelente, 2 = Bueno, 3 = Regular, 4 = Deficiente y 5 = Muy deficiente, otorgando la calificación, de acuerdo a la presencia de plagas y enfermedades. 6. Sanidad de mazorca. Se calificó al momento de la cosecha, utilizando esa misma escala del 1 al 5, tomando en cuenta para determinar la calificación, el grado de sanidad (que tan sanas o enfermas se observaron) y de uniformidad en el llenado de éstas. 7. Porcentaje de mazorcas con mala cobertura. Se contaron las mazorcas que presentaron mala cobertura en cada parcela útil y en las cuales la punta del totomoxtle se encontró abierta y con granos expuestos al exterior, y posteriormente se obtuvo el porcentaje, considerando el número de mazorcas totales producidas en cada parcela útil. A la cosecha, también se contó el número total de plantas en cada parcela útil y se realizó un ajuste por plantas faltantes mediante la fórmula de Iowa (Reyes, 1990): $\text{Peso de campo corregido} = (\text{Peso al cosechar} \times H - 0.3M) / H - M$.

Dónde:

Peso al cosechar = Peso de campo sin corregir fallas.

H = Número de plantas que debería tener la unidad experimental si no hubiera M fallas.

M= Número de plantas perdidas (fallas).

0.3 = Coeficiente para corregir la falta de competencia en las plantas existentes al tiempo de la cosecha.

Por último, se determinó la variable 8. Rendimiento de grano. Ésta se calculó a partir del peso del grano cosechado y corregido en cada parcela útil, al cual se le determinó su humedad, para obtener el porcentaje de materia seca y el porcentaje de grano, y posteriormente se ajustó en kilogramos por hectárea al 14% de humedad.



Con el programa estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 2.5 (Olivares, 1994), se realizaron análisis de varianza de las variables cuantificadas y en los casos en que se detectó significancia, para la separación de promedios se aplicó la prueba basada en la Diferencia Mínima Significativa al 5% de probabilidad de error (DMS, $\alpha=0.05$). También se realizaron análisis de correlación, para determinar que variable se relacionó positiva o negativamente con el rendimiento de grano, así como tres contrastes ortogonales pertinentes, para conocer si en general, con las cruces intervarietales hubo incremento significativo en el rendimiento de grano, con respecto a los sintéticos experimentales y los testigos comerciales.

Resultados y Discusión

En los análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos en las variables rendimiento de grano y altura de planta, y significativas ($p \leq 0.05$) en altura de mazorca y porcentaje de mazorcas con mala cobertura (Cuadro 2), por lo que se infiere, que los genotipos de maíz presentaron diferencias en su capacidad productiva, así como en su desarrollo en altura de planta y de mazorca y en la sanidad de ésta asociada al daño provocado por una mala cobertura del totomoxtle. En el resto de las variables, los genotipos tuvieron un comportamiento similar. Así mismo, los valores de coeficientes de variación que se obtuvieron fueron de muy buenos a aceptables, considerando que el ensayo se condujo en condiciones de temporal (Reyes, 1990).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia detectada en las variables evaluadas en el ensayo de genotipos de maíz que se condujo en el centro del estado de Veracruz. Ciclo primavera-verano de 2022.

F.V.	G.L.	RG	DFM	DFE	AP
Tratamientos	16	3494480**	2.9521 ns	3.1914 ns	211.8437 **
Bloques	1	214272	8.5000	4.9765	34.0000
Error	16	900472	2.8125	2.5952	43.4375
Total	33				
CV (%)		15.37	2.99	2.82	3.52



		AM	SAP	SAM	PMC
Tratamientos	16	169.5039 *	0.0551 ns	0.1571 ns	2.0733 *
Bloques	1	38.1250	0.0661	0.1176	0.1094
Error	16	56.1796	0.0661	0.1020	0.9047
Total	33				
CV (%)		8.69	14.22	17.24	25.77

RG = Rendimiento de grano. DFM = Días a floración masculina. DFF = Días a floración femenina. AP = Altura de planta. AM = Altura de mazorca. SAP = Sanidad de planta. SAM = Sanidad de mazorca. PMC = Porcentaje de mazorcas con mala cobertura.

En el Cuadro 3 se muestra que, un grupo sobresaliente de seis genotipos (todos ellos híbridos intervarietales) produjeron los mayores rendimientos de grano, significativamente superiores a los obtenidos por los testigos comerciales: el híbrido trilineal H-520, la variedad de alta calidad de proteína V-537C y la variedad sintética VS-536, de uso común en la entidad (Sierra *et al.*, 2019), los cuales fueron los menos rendidores.

Cuadro 3. Rendimiento y características agronómicas de cruza varietales, híbridos y variedades sintéticas y de polinización libre de maíz, evaluadas en la zona centro del estado de Veracruz. Ciclo primavera-verano de 2022.

Genotipo	RG (kg/ha)	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	SAP (E1-5)	SAM (E1-5)	MC (%)
V-537C X VS-536	8,843.5 *	54.0	55.5	194.0	76.5	1.50	2.00	7.06
SINT-4B X VS-536	7,978.0 *	54.0	55.0	192.0	90.5	1.50	2.00	23.84 *
SINT-5B X VS-536	7,513.5 *	56.0	58.5	191.0	94.0	1.75	1.75	16.90 *
SINT-2B X VS-536	7,394.5 *	56.0	57.5	186.5	87.0	2.00	2.00	23.84 *
VS-536 X SINT-5B	7,025.0 *	56.0	57.0	189.5	89.0	1.75	1.50	16.85 *
VS-536 X V-537 C	6,857.0 *	56.0	57.5	198.5 *	87.0	2.00	2.00	14.48 *
VS-536 X SINT-4B	6,560.5	56.0	57.0	190.5	91.0	1.75	1.50	6.44
SINT-2B	6,474.0	56.0	57.5	175.5	83.0	1.75	2.00	15.35 *
H-518 (TC)	6,008.0	56.0	57.0	193.5	88.0	1.75	2.00	17.62 *
SINT-4B	5,940.5	55.0	56.5	172.5	80.0	1.75	2.00	12.21
SINT-3B X VS-536	5,604.0	55.0	56.0	185.5	83.0	2.00	1.75	18.25 *



Genotipo	RG (kg/ha)	FM (d)	FF (d)	AP (cm)	AM (cm)	SAP (E1-5)	SAM (E1-5)	MC (%)
SINT-5B	5,428.0	58.0	59.5	189.0	80.5	2.00	1.75	8.80
H-567	5,240.0	56.0	57.0	193.0	92.0	1.75	1.50	8.10
H-520 (TC)	4,726.0	56.0	57.0	181.5	81.5	1.75	2.25	31.50 *
V-537C (TC)	4,674.0	56.0	57.5	168.0	72.5	1.75	2.00	14.33 *
VS-536 (TC)	4,499.0	59.0	60.0	210.0 *	113.5 *	2.00	2.00	1.35
SINT-3B	4,206.0	55.0	56.5	176.5	78.0	2.00	2.25	17.96 *
Promedio	6,174.79	55.88	57.2	187.47	86.29	1.81	1.85	14.06
DMS, 0.05	2011.74			13.97	15.89			2.02
Correlación con RG		-0.49ns	-0.39ns	0.25ns	-0.02ns	-0.54*	-0.40ns	-0.10ns

RG = Rendimiento de grano. FM = Floración masculina. FF = Floración femenina. AP = Altura de planta. AM = Altura de mazorca. SAP = Sanidad de planta. SAM = Sanidad de mazorca. MC = Mazorcas con mala cobertura. E = Escala de valores de 1 a 5 para calificar la sanidad de planta y de mazorca. * = Genotipos estadísticamente superiores en cada variable, de acuerdo a la Diferencia Mínima Significativa (DMS, 0.05).

Los seis genotipos sobresalientes presentaron un ciclo de madurez intermedio, con un promedio de entre 54 y 56 días a la floración masculina y de entre 55 y 58.5 días a la floración femenina, es decir, que tuvieron buena sincronía en sus floraciones. La altura de sus plantas fue menor a 2.0 m, la cual varió de entre 186.5 cm para el genotipo más bajo de este grupo (cruza intervarietal SINT-2B x VS-536), a 198.5 cm para el más alto (cruza VS-536 x V-537C), cuya altura fue significativamente superior a la de los otros cinco híbridos intervarietales. La característica de planta baja que mostraron los genotipos es favorable para disminuir los riesgos de acame del cultivo, principalmente en las siembras del ciclo de otoño-invierno del estado de Veracruz, donde es común la ocurrencia de vientos fuertes del norte (Sierra *et al.*, 2019).

Cabe indicar, que las seis cruza intervarietales también mostraron buena sanidad de planta y de mazorca, con calificaciones de sanidad de entre 1.5 y 2.0, a pesar de que en cinco de ellas se obtuvo un porcentaje de mala cobertura de sus mazorcas significativamente elevado (>14%), al igual que en los testigos comerciales: H-518, H-520 y V-537C, lo cual no es deseable en las condiciones ambientales del trópico húmedo del estado de Veracruz, debido a que se favorece el desarrollo de enfermedades fungosas, lo que afecta el rendimiento y la calidad del grano. Por su parte, la variedad sintética comercial VS-536, junto con las cruza intervarietales VS-536 x SINT-4B y V-537C x VS-536, el



híbrido promisorio H-567 y la variedad sintética experimental SINT-5B, presentaron los porcentajes más bajos de mazorcas con mala cobertura (<9%), lo cual es muy deseable, considerando que esta característica es de alta heredabilidad (Sierra *et al.*, 2016b).

En el análisis de contrastes ortogonales para rendimiento de grano, se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en dos de las tres comparaciones (C₁ y C₂) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de contrastes ortogonales pertinentes para rendimiento de grano de los genotipos de maíz evaluados en la zona centro del estado de Veracruz. Ciclo primavera-verano de 2022.

FV	GL	SC	CM	FC	Fa	
					0.05	0.01
Bloques	1	214272.0	214272.0	0.238		
Tratamientos (genotipos)	16	55911680.0	3494480.0	3.881 **	2.33	3.37
C ₁ : Cruzas intervarietales vs Sintéticos experims	1	15592920.0	15592920.0	17.316 **	4.49	8.53
C ₂ : Cruzas intervarietales vs Testigos comerciales	1	26886120.0	26886120.0	29.858 **	4.49	8.53
C ₃ : Sintéticos experims vs Testigos comerciales	1	1146505.5	1146505.5	1.273 ns	4.49	8.53
Error	16	14407552.0	900472.0			
Total	33	70533504.0				

Con las cruas intervarietales se obtuvo un rendimiento promedio de 7,222 kg/ha, el cual fue significativamente superior a los rendimientos promedios obtenidos con los sintéticos experimentales (5,512.1 kg/ha) y con los testigos comerciales (4,976.7 kg/ha) (Figura 1). Estos resultados indican que, aprovechando el efecto heterótico de cruzamientos intervarietales contrastantes, es posible incrementar aún más el rendimiento de grano de maíz, con respecto a los materiales comerciales (híbridos y variedades sintéticas y mejoradas) de actual uso.

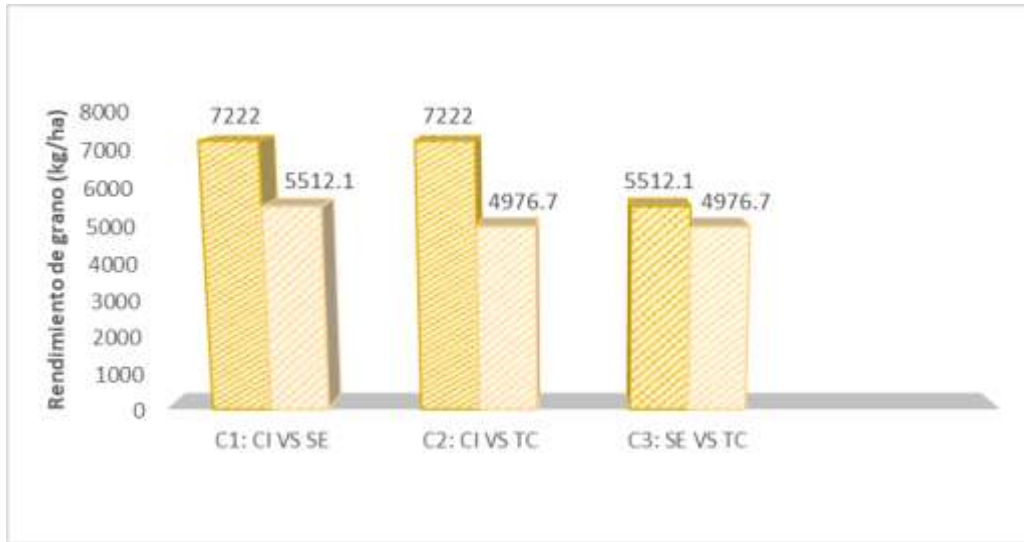


Figura 1. Rendimiento de grano promedio de tratamientos de contrastes ortogonales. CI = Cruzas intervarietales, SE = Sintéticos experimentales, TC = Testigos comerciales.

Conclusiones

1. Las cruzas intervarietales de maíz: V-537C x VS-536, SINT-4B x VS-536, SINT-5B x VS-536, SINT-2B x VS-536, VS-536 x SINT-5B y VS-536 x V-537C, fueron las más rendidoras, presentaron un ciclo de madurez de entre 54.0 y 58.5 días a la floración masculina y femenina, altura de planta baja (<2 m) y buena sanidad de planta y de mazorca, aunque sólo la primera mostró un porcentaje de mala cobertura de 7.06, significativamente menor a la de los testigos comerciales: H-520, H-518 y V-537C.
2. Sólo la característica de sanidad de planta se relacionó significativamente ($r = -0.54^*$) con una disminución en el rendimiento de grano de maíz.
3. En general, las cruzas intervarietales mostraron mayor potencial productivo, con un rendimiento promedio de 7,222 kg/ha, el cual fue significativamente superior al de los sintéticos experimentales y al de los testigos comerciales.

Literatura Citada

Balderrama, C. S., J. A. Mejía C., F. Castillo G. y A. Carballo C. 1997. Efectos de aptitud combinatoria en poblaciones de maíz nativas de Valles Altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 20:137-147.



- Cervantes, O. F., J. Hernández E., J. A. Rangel L., E. Andrio E., M. Mendoza E., G. Rodríguez P. *et al.* 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(3):259-268.
- Díaz, P. G., J. A. Ruiz C., M. A. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.
- Espinosa, C. A., M. Tadeo R., J. Virgen V., I. Rojas M., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al.* 2012. H-51AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos centrales de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(4):347-349.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.
- Gómez, M. N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Rev. Fitotec. Mex.* 8(1):3-19.
- MacRobert, J. F., P. Setimela, J. Gethi y M. W. Regasa. 2015. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. CIMMYT. México, D. F. 26 p.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete estadístico de diseños experimentales (programa de cómputo) versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L., México.
- Palafox, C. A., M. Sierra M., F. A. Rodríguez M. y F. J. Ugalde A. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para Productores Núm. 14. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, Ver., México. 14 p.



Ramírez, D. J. L., V. Vidal M., I. Alemán T., A. Ledesma M., N. Gómez M., Y. Salinas M. *et al.* 2019. Selección de líneas y cruzas de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruzas dialélicas. *Rev. Fitotec. Mex.* 42(4):335-346.

Reyes, C. P. 1985. *Fitogenotecnia básica y aplicada*. AGT Editor S. A. México, D. F. 460 p.

Reyes, C. P. 1990. *Diseños de experimentos aplicados*. Agronomía, biología, química, industrias, ciencias sociales y ciencias de la salud. Trillas. México, D. F. 348 p.

Ríos, I. C., M. Sierra M., N. Gómez M., P. A. Meza, M. Vázquez H. y F. J. Ugalde A. 2022. Comportamiento agronómico de híbridos trilineales de maíz de grano blanco en el estado Veracruz. p. 574-583. *In: Zetina, L. R., O. H. Tosquy V., M. V. Vázquez H., A. L. del Ángel P., V. A. Esqueda E. y C. Perdomo M. (comps.). Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz. Año 1. No. 1. En formato electrónico (internet). INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Paso del Toro, Medellín, Ver., México.*

Rodríguez, M. F. A., M. Sierra M., A. Espinosa C., M. V. Vásquez H., S. Barrón F., P. Andrés M. y J. L. del Rosario A. 2021. Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoam.* 39:1-12.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Avance de siembras y cosechas. Resumen por estado. SIAP. Gobierno de México. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [consultado el 31 de mayo de 2023].

Sierra, M. M., A. Palafox C., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., N. Gómez M., F. Caballero H. *et al.* 2004. H-518 y H-520, híbridos trilineales de maíz para el trópico húmedo de México. Folleto Técnico Núm. 38. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 16 p.



- Sierra, M. M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., P. Andrés M., N. Gómez M. *et al.* 2016a. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. *Rev. Agric. Soc. y Des.* 13(1):19-32.
- Sierra, M. M., A. Palafox C., O. Cano R., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C., A. Turrent F. *et al.* 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Folleto Técnico Núm. 30. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Ver., México. 21 p.
- Sierra, M. M., C. Ríos I., F. A. Rodríguez M., M. V. Vázquez H., O. H. Tosquy V. y P. Andrés M. 2019. Variedades sintéticas de maíz convencionales y de alta calidad de proteína en el área tropical del estado de Veracruz. p. 394-402. *In:* Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. del Ángel P. y C. Perdomo M. (comps.). *Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático.* Libro Científico No. 1. Año 3. INIFAP. CP. UACH. INAPESCA. UV. TecNM. Medellín, Ver., México.
- Sierra, M. M., C. Ríos I., N. O. Gómez M., S. Barrón F., P. A. Meza, A. Espinosa C. y M. Tadeo R. 2022. HV1, HV2 y HV3, nuevos híbridos varietales de maíz prospectos para el trópico húmedo de México. p. 522-536. *In:* Zetina, L. R., O. H. Tosquy V., M. V. Vázquez H., A. L. del Ángel P., V. A. Esqueda E. y C. Perdomo M. (comps.). *Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz.* Año 1. No. 1. En formato electrónico (internet). INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Paso del Toro, Medellín, Ver., México.
- Sierra, M. M. y F. A. Rodríguez M. 2017. Maíz grano. p. 57-60. *In:* *Agenda Técnica Agrícola Veracruz.* SAGARPA. COFUPRO. INIFAP. Ciudad de México, México.



- Sierra, M. M., F. A. Rodríguez M., A. Espinosa C. y P. Andrés M. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. *Rev. Cie. Amb. Rec. Nat.* 4(11):15-19.
- Sierra, M. M., F. A. Rodríguez M., A. Palafox C., N. Gómez M. y A. Espinosa C. 2014. Impacto del H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Rev. Biol. Agrop. Tuxpan* 2(1):277-282.
- Sierra, M. M., F. A. Rodríguez M., R. A. Castillo G., R. E. Preciado O. y F. Márquez S. 1992. VS-536 variedad sintética de maíz para el trópico húmedo de Veracruz y regiones similares (descripción varietal). Folleto Técnico Núm. 2. SARH. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Ver., México. 11 p.
- Sierra, M. M., P. Andrés M., F. A. Rodríguez M. y A. Espinosa C. 2016b. Introgresión genética de genotipos mejorados en maíces nativos de las razas Tuxpeño y Olotillo con calidad de hoja del totomoxtle. *Rev. Aplic. Cient. Téc.* 2(4):45-52.
- Tadeo, R. M., A. Espinosa C., J. J. García Z., R. Lobato O., N. Gómez M., M. Sierra M. *et al.* 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles altos de México, con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Rev. Fitotec. Mex.* 39(3):331-333.
- Velasco, G. A. M., J. J. García Z., J. Sahagún C., R. Lobato O., C. Sánchez A. e I. M. Marín M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 42(4):367-374.
- Virgen, V. J., R. Zepeda B., M. A. Ávila P., A. Espinosa C., J. L. Arellano V. y A. J. Gámez V. 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 27(1):191-206.



Zetina, L. R., L. Pastrana A., J. Romero M. y J. A. Jiménez C. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro Técnico Núm. 10. INIFAP. CIRGOC. Campos Experimentales Papaloapan y Huimanguillo. Veracruz, México. 170 p.



ESTIMACIÓN DEL PARQUE DE TRACTORES AGRÍCOLAS EN MÉXICO

José Cupertino Salas Gutiérrez^{58*}, José Alberto García Salazar⁵⁸, José Saturnino Mora Flores⁵⁸ y Ángel Garduño García⁵⁹

Resumen

Considerando la importancia de los tractores agrícolas como uno de los insumos agrícolas más importantes empleados en la agricultura, el objetivo del presente estudio fue conocer el estado actual del parque nacional de tractores agrícolas. El ámbito geográfico del estudio considera el territorio nacional de México. El año base corresponde a los datos presentados en el VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, el cual presenta un escenario de la existencia real de tractores en México. Para calcular el parque de tractores expresado en el año t , la metodología utilizada para estimar el parque en un momento dado, se calculó mediante la expresión del parque con un año de rezago más la cantidad de tractores que se agregan en el año t , menos la cantidad de tractores que salen del parque por obsoletos o término de su vida útil en el periodo de 2008 a 2027. Dada las escasas estadísticas del número de tractores en el país, se realizó una estimación del parque de tractores. Los resultados muestran que hay una tendencia a la baja del parque de tractores en el periodo 2007 a 2027. Si la tendencia de disminución continua, el parque de tractores habrá disminuido en 114,000 unidades al año 2027, lo que significa una caída de un 52%, en relación a 2007, quedando un parque de tractores de solo 124,000 unidades. La principal limitante es la inexistencia de datos oficiales posteriores al 2007, de ahí que el conocimiento del estado actual del parque nacional de tractores en México requiere de estimaciones como la realizada en la presente investigación. La estimación del parque industrial de tractores en México indica que anualmente la cantidad de tractores que se agregan es menor a la cantidad de tractores obsoletos que salen del parque, lo que señala que el índice de mecanización calculado con la superficie mecanizada y el número de tractores disminuirá en un futuro. Para evitar dicha tendencia se requiere que el gobierno apoye las inversiones en maquinaria agrícola, mediante créditos que impulsen el crecimiento del parque de tractores agrícolas.

⁵⁸ Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Programa de Socioeconomía, Estadística e Informática-Economía. *Autor para correspondencia: salas.cupertino@colpos.mx

⁵⁹ Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola.



Palabras clave: Índice de mecanización, superficie, censo vehicular de tractores

Introducción

México es un país con una superficie territorial de 1'960,000 de km², de las cuales 20'600,000 de hectáreas se destinaron a la superficie agrícola, y se obtienen más de 550 productos agrícolas en diferentes estaciones y temporadas (SIAP, 2019).

La agricultura en México se encuentra dividida principalmente en dos tipos de producción, la tradicional y la intensiva, marcadas principalmente por diferencias sociales y económicas. La agricultura tradicional generalmente es de temporal y se ubica, en la mayoría de los casos, en los estados del sur de México, es básicamente de subsistencia y es la principal fuente de recursos para los pequeños productores, quienes no cuentan con la capacidad para comprar tecnología, ni para instalar infraestructura, así como tampoco cuentan con técnicas, ni capacitación para la siembra; solo cuentan con formas ancestrales para cultivar la tierra, teniendo como resultado una baja productividad (CEDRSSA, 2017).

El tractor ha sido icono de cambio tecnológico en la agricultura; su adopción al interior de la explotación agrícola ha significado diversas combinaciones, relaciones y formas establecidas de producción de una localidad, región y país. La dinámica del proceso tractorización se encuentra definido por el balance dado por las unidades que ingresan al parque y por aquellas que son retiradas del parque por efecto de término de su vida útil (Muñoz *et al.*, 2012).

El parque de tractores agrícolas de una región o país, algunas veces es tomado como un importante indicador de la inversión en agricultura (Muñoz *et al.*, 2011).

Una de las formas de estimar el grado de mecanización de una región o país, es a través del número de tractores y de la intensidad de tractorización, medida por la potencia por unidad de superficie (Muñoz *et al.*, 2011).

La demanda de tractores, depende en términos generales, de la actividad agrícola que se desarrolla en una determinada región, localizándose un parque y una demanda mayor en aquellas zonas agrícolas donde la intervención del hombre es mayor para crear las condiciones favorables para realizar esta actividad (Mora, 1986).



El patrimonio de maquinaria agrícola en México se estimó por primera vez en el Censo Agrícola Ganadero de 1930, el cual indicó que a nivel nacional existían 3'800,000 tractores y 8,500 locomóviles (INEGI, 1936). Para 1940, el Censo Agrícola Ganadero registró 4,549 unidades de tractores agrícolas. En 1950 se tuvo un registro de 22,711 (INEGI, 1959). Para 1982 se tenían 157,964 tractores (Negrete *et al.*, 2013). El VII Censo Nacional Agropecuario de 1991 indicó que se tenían 177,000 tractores y para 2007 de acuerdo al VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal había 238,000 tractores, de los cuales, solo 227,000 se encontraban en funcionamiento. La evolución del parque de maquinaria en México tuvo un gran crecimiento desde 1930 hasta 1991; de acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021), en 1991 se registraron 317,000 unidades, el número más alto registrado en el país. Posteriormente en 2007 disminuyó en 79,000 unidades, un 25% en términos porcentuales, con una tendencia de disminución por año de casi 5,000 unidades. Posterior al 2007 no hay registro oficial que considere la totalidad del número de tractores registrados en el país.

De acuerdo con datos de INEGI (2019) reportados en la Encuesta Nacional Agropecuaria 2019, del 100% de las unidades de producción que son propietarias de maquinaria y de equipo para realizar actividades agropecuarias, el 65.8% usa tractores, 36.4% sembradoras, 28.7% arados, 27.3% rastra de discos, 12.1% cultivadoras para tractor, 6.6% trilladoras y 0.22% motogrúas. Lo anterior nos da un panorama general, de que el tractor pasa a ser uno de los elementos más importantes empleados en la agricultura.

Algunos de los estudios más importantes sobre el parque de tractores agrícolas en México fue el realizado por Negrete *et al.* (2013), donde hacen un análisis del parque de tractores agrícolas en México, estima una cantidad de tractores para 2011 de 224,000 unidades. Hernández *et al.* (2022) hace una evaluación del nivel de mecanización tecno-agrícola en seis municipios del Valle de Toluca; parte de sus conclusiones fueron que el parque de tractores tiene más de 15 años de uso, por lo que, es necesario promover un plan de renovación.

Dada la importancia de los tractores agrícolas como uno de los medios de producción más importantes en el sector agrícola, este estudio tuvo por objetivo conocer el estado actual del parque nacional de maquinaria agrícola en México, considerando que no hay datos oficiales posteriores al 2007 donde se indique los tractores útiles en México.



Materiales y Métodos

El ámbito geográfico del estudio considera el territorio nacional de México. Dada las escasas estadísticas del número de tractores en el país, se realizó una estimación del parque de tractores en una serie de tiempo del año 2008 al 2027. El año base corresponde a los datos presentados en el VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, el cual presenta un escenario de la existencia real de tractores en México. Este Censo reporta la existencia total de 238,200 unidades de tractores agrícolas, de los cuales 177,900 tenían más de 5 años de uso y 54,400 tenían menos de 5 años de uso. De la existencia total solo 227,300 se encontraban en funcionamiento.

Para alcanzar los objetivos se usó el método empleado por Muñoz *et al.* (2011) citado por Negrete *et al.* (2013); esta metodología permite estimar el parque de tractores en un momento dado, basado en los datos reportados del último censo nacional de 2007 y considerando las ventas del mercado nacional reportadas por el fabricante John Deere de 2008 a 2021.

Para estimar el parque de tractores, se usó la siguiente expresión.

$$P_t^T = P_{t-1}^T + T_t^N - T_t^R \quad (1)$$

Dónde: P_t^T es el parque de tractores en el año t , expresado en unidades de tractores; P_{t-1}^T es el parque de tractores con un año de rezago $t-1$, expresado en unidades; T_t^N es la cantidad de tractores que se agregan al parque en el año t , expresado en unidades, y T_t^R es la cantidad de tractores que salen del parque en el año t , expresado en unidades.

La información para estimar el parque de tractores provino de fuentes que se mencionan a continuación. El parque de tractores en el año $t-1$ provino del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007 (INEGI, 2009). La cantidad de tractores que se agregan al parque de tractores fueron las ventas registradas en México de la base de datos publicada por el fabricante John Deere (John Deere, 2021). La proyección de tractores agregados de 2022 a 2027 se estimó basado en las ventas de los cinco años anteriores. Con los datos de John Deere (2021) se estimó la cantidad de tractores que se agregan al parque en el año $t-1$ (T_t^N), debido a que no hay un registro oficial del número de tractores agrícolas nuevos, debidamente revisado y actualizado. De acuerdo con Muñoz *et al.* (2011), la cantidad de tractores que salen del parque (tractores obsoletos) se puede estimar conociendo la vida útil, promedio del tractor, pero la dificultad para obtener esta variable radica en que se obtendrán diferentes cifras finales según sea la vida útil seleccionada. Muñoz *et al.* (2012) estimaron que la vida útil promedio estimada para un tractor agrícola a nivel agregado es de 22 años, según si el tractor proceda de un



determinado grupo de países. Para el estudio, la cantidad de tractores que salen del parque al momento t se obtuvo de la diferencia de la cantidad de tractores al momento t menos la cantidad en el tiempo $t-1$, y se suma la cantidad que se agrega al momento t , esta variable se expresa en unidades de tractores.

Para calcular el número de tractores obsoletos se utilizó la siguiente expresión empleada por Muñoz *et al.* (2011) citada por Negrete *et al.* (2013) obtenida a partir de la ecuación (1).

$$T_t^R = P_t^T + T_t^N - P_t^T \quad (2)$$

Los datos se procesaron con el apoyo de Microsoft Excel 2010, con lo cual se obtuvieron los valores que se presentan en el Cuadro 1.

El tractor es símbolo de mecanización de la agricultura, de ahí su gran importancia; es el principal punto de referencia para medir los índices de mecanización en el campo (Regalado, 2006). Para calcular el índice de mecanización, una de las formas es la superficie cultivada cubierta en relación con el número de tractores; para ello, se utilizó la fórmula empleada por Regalado (2006), cuyo índice indica la intensidad del uso dado a los tractores para realizar operaciones agrícolas.

Para calcular el índice de mecanización se utilizó la siguiente fórmula:

$$IMi = \frac{SUPi}{TRACTi} \quad (3)$$

Donde IMi es el índice de mecanización en el estado i ; $SUPi$ es la superficie cultivada en hectáreas en el estado i ; $TRACTi$ es el número de tractores en el estado i .

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presentan los resultados obtenidos; se observa una tendencia a la baja del parque de maquinaria del periodo 2007 al 2027; de 2008 a 2010 la disminución promedio es de 4,000 unidades, similar a la reportada por la FAO en el periodo 1991- 2007 de 4,900 unidades. La mayor disminución se observó en el año 2013 y 2020, con alrededor de 8,000 unidades.

Si la tendencia de disminución continúa, para 2027 el parque de tractores habrá disminuido en 114,000 unidades, quedando el parque de tractores en 124,000 unidades (Cuadro 1).



Cuadro 1. Estimación del parque de tractores en México de 2008 a 2027.

Periodo	Año base	Obsoletos	Ventas	Parque	Cambio
	$P_{(t-1)}^T$	T_t^R	T_t^N	P_t^T	anual
2007	238,830				
2008		17,061	15,640	237,409	1,421
2009		17,061	12,985	233,333	4,076
2010		17,061	10,223	226,495	6,838
2011		17,061	10,140	219,574	6,921
2012		17,061	10,630	213,143	6,431
2013		17,061	8,546	204,628	8,515
2014		17,061	9,896	197,463	7,165
2015		17,061	12,899	193,301	4,162
2016		17,061	13,380	189,620	3,681
2017		17,061	14,778	187,337	2,283
2018		17,061	14,401	184,677	2,660
2019		17,061	10,506	178,122	6,555
2020		17,061	8,737	169,798	8,324
2021		17,061	9,613	162,350	7,448
2022		17,061	11,607	156,896	5,454
2023		17,061	10,973	150,808	6,088
2024		17,061	10,287	144,034	6,774
2025		17,061	10,243	137,216	6,818
2026		17,061	10,545	130,700	6,516
2027		17,061	10,731	124,370	6,330
Prom. 2007-2009		-	-	236,524	-
Prom. 2025-2027		-	-	130,762	-
TC		-	-	-44.7	-
TCMA		-	-	-3.2	-

TC=Tasa de crecimiento en el periodo 2007/09-25/27; TCMA=Tasa de crecimiento media anual en el periodo 2007/09-25/27. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI (2009) y John Deere (2021).



En relación al parque de tractores, uno de los estudios más importantes es el realizado por Negrete *et al.* (2013), quienes estimaron para 2011 una cantidad de 223,000 tractores; la estimación del parque de esta investigación para 2011 es de 219,000 unidades, una diferencia menor de 2%; para 2015, Negrete *et al.* (2013), estimó 200,000 unidades, siguiendo la tendencia de la FAO, la estimación del presente estudio para 2015 fue de 193,000 unidades.

De acuerdo con la información que se reporta en el Cuadro 1, las ventas nacionales estimadas de 2008 a 2021 fueron de 162,300 unidades de tractores, un promedio anual de 11,600, siendo 2008 el año con mayores ventas con 15,600 unidades, y los años más bajos 2013 y 2020 con 8,500 y 8,700 unidades, este último golpeado por la crisis sanitaria de COVID-19, la cual afectó el mercado interno de maquinaria agrícola. Los resultados anteriores indican que las ventas se han mantenido estables; estos datos son similares a los reportados por Palacios *et al.* (2003), citado por Ayala *et al.* (2013), donde menciona que desde 1997 el mercado mexicano ha sido muy estable reportando ventas promedio entre 10,000 y 11,000 tractores anuales.

Durante los periodos 2007/2009 y 2025/2027, la tasa de crecimiento del parque tractores fue de -44.7%, y el crecimiento promedio anual en el mismo periodo fue de -3.24% en términos porcentuales, lo que implica que el parque de tractores tiene una tendencia negativa en el periodo de análisis.

En el Cuadro 2 se muestra un escenario relacionado con el parque de maquinaria agrícola por entidad federativa; se observa que ocho estados poseen la mayor cantidad de tractores, las cuales son: Coahuila, Zacatecas, Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Durango, Michoacán y Tamaulipas, juntos poseen 149,000 unidades, lo que representa el 63% del parque nacional.

Cuadro 2. Índice de mecanización en el sector agrícola de México por entidad federativa, 2019.

Estado	Superficie total	Tractores	Superficie mecanizada 2019	IM 2019	Tractores	IM 2027
	Miles de ha	Unidades 2007	Miles de ha	tractores/ha	Unidades 2027	tractores/ha
Aguascalientes	128	3,922	124	32	2,047	61
Baja California	180	4,753	177	37	2,481	71
Baja Cal. Sur	41	1,344	40	30	702	57
Campeche	340	2,052	271	132	1,071	253
Chiapas	1,360	3,710	278	75	1,937	144



Estado	Superficie total	Tractores	Superficie mecanizada 2019	IM 2019	Tractores	IM 2027
	Miles de ha	Unidades 2007	Miles de ha	tractores/ha	Unidades 2027	tractores/ha
Chihuahua	1,036	1,561	1,033	662	815	1,267
Cd. de México	16	3,180	14	4	1,660	9
Coahuila	252	26,749	228	9	13,963	16
Colima	162	294	130	442	153	847
Durango	576	13,447	557	41	7,020	79
Guanajuato	948	21,572	876	41	11,261	78
Guerrero	902	1,400	466	333	731	638
Hidalgo	529	5,363	368	69	2,800	131
Jalisco	1,650	19,907	1,517	76	10,392	146
México	747	8,479	643	76	4,426	145
Michoacán	1,119	13,446	1,004	75	7,019	143
Morelos	137	1,947	124	64	1,016	122
Nayarit	370	4,693	265	57	2,450	108
Nuevo León	330	4,479	330	74	2,338	141
Oaxaca	1,254	3,117	613	197	1,627	377
Puebla	939	6,032	741	123	3,149	235
Querétaro	137	2,496	136	54	1,303	104
Quintana Roo	118	456	70	153	238	294
San Luis Potosí	638	7,347	570	78	3,835	149
Sinaloa	1,059	17,522	1,050	60	9,147	115
Sonora	603	8,705	600	69	4,544	132
Tabasco	266	1,010	109	108	527	207
Tamaulipas	1,326	12,472	1,223	98	6,511	188
Tlaxcala	235	2,765	220	80	1,443	153
Veracruz	1,515	9,396	912	97	4,905	186
Yucatán	699	184	31	170	96	325
Zacatecas	1,051	24,448	1,045	43	12,762	82
Nacional	20,665	238,248	15,764	114	124,370	219

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI (2009) y del SIAP (2019).



Considerando la cantidad de tractores y la superficie mecanizada por hectárea, se realizó una estimación del Índice de Mecanización; los resultados muestran que algunos estados del centro y norte del país como: Guanajuato, Zacatecas, Sinaloa, Tamaulipas, Aguascalientes, Baja California y Durango, tienen los más altos Índice de Mecanización con un promedio muy cercano a las 50 ha por tractor. Según Hernández *et al.* (2022), el dato anterior es el ideal de acuerdo a lo planteado por la FAO, de 50 ha por tractor. Algunos estados del sureste de México como: Quintana Roo, Yucatán, Oaxaca y Campeche tienen un Índice de Mecanización muy bajo, rebasando las 130 ha por tractor.

Los resultados anteriores son similares a los reportados por Regalado (2006), quien reporta valores de 70.8 ha por tractor para la zona norte, de 221.6 ha por tractor para la zona sur y 101 ha por tractor a nivel nacional, en una superficie mecanizada de 18'600,000 ha. Con una superficie mecanizada de 15'700,000 de ha en 2019 se tiene un Índice de Mecanización nacional promedio de 114 ha por tractor para un índice mayor al 10% comparado con los resultados presentados por Regalado (2006), a nivel nacional. El panorama es aún más desalentador para el 2027, ya que la disminución del parque de tractores en un 52% con respecto año base, hace que el Índice de Mecanización aumente a 219 ha por tractor, lo que se aleja del número óptimo de 50 ha por tractor.

Gutiérrez *et al.* (2018), realizaron un diagnóstico de tractores e implementos agrícolas en el municipio de Atlacomulco, Estado de México; sus resultados muestran que en la región de P.P. Atlacomulco se tienen 8.04 tractores por cada 100 ha, lo que implica un Índice de Mecanización de apenas 0.08 ha por tractor. Lo anterior refleja que hay diferencias entre las distintas zonas de producción; a nivel país existen zonas altamente tecnificadas con maquinaria agrícola y zonas con déficit de maquinaria.

La carencia de recursos para el desarrollo de innovaciones tecnológicas de maquinaria y equipos agrícolas, adicionado con el desconocimiento de la problemática real del sector, constituyen una de las razones más importantes del rezago en cuanto al desarrollo de maquinaria agrícola. Los tractores ofertados en México son demasiado caros para los agricultores que practican la agricultura tradicional, esto aunado a la falta de liquidez para la adquisición de equipos nuevos, cuyo precio va desde los \$375,000 a los \$800,000.00 (Ayala *et al.*, 2012).

Para revertir la tendencia del descenso del parque de tractores, y en general de la maquinaria agrícola, es necesario incentivar una oferta atractiva para los agricultores, a través del otorgamiento de créditos para la compra de maquinaria agrícola. Si bien han existido apoyos a la mecanización, como ejemplo los 22,000 tractores otorgados, a través del gobierno federal de 2013 a 2018 (SAGARPA, 2018), como apoyo a la mecanización del campo, sin embargo, estos apoyos no han sido suficientes. Es necesario



implementar mejores políticas enfocadas a la mecanización del campo, que ayuden a revertir la tendencia y que hagan posible que la cantidad agregada de tractores al parque sea mayor que la cantidad de tractores que terminan su vida útil.

Conclusiones

1. Los datos estimados indican que el parque de tractores agrícolas en México tiene una tasa de crecimiento negativa de 44.7% durante los años 2007 a 2027. Durante el mismo período la cantidad de tractores que se agregan al parque es notoriamente inferior a la cantidad de unidades que salen del parque, lo crea un déficit y un descenso de 114,000 unidades en el período. 2. Las estimaciones realizadas sugieren que el Índice de Mecanización también presentó una tendencia negativa. Considerando la superficie mecanizada de 2019, dicho índice se ubicó en 114 ha por tractor, y los resultados indican que para 2027 se ubicará en 219 ha por tractor. 3. La tendencia a la baja del parque de tractores hace necesaria la implementación de políticas de crédito enfocadas a aumentar el parque de tractores agrícolas en el país; solo de esta manera se podrá revertir tendencia en el Índice de Mecanización. 4. Se deberán realizar esfuerzos para acercar dicho índice al valor recomendado por los organismos internacionales, de 50 ha por tractor.

Literatura Citada

- Ayala, G. A. V., L. Cortes E., B. S. Larqué S., D. M. Sangerman J. y M. Garay H. 2012. Situación de la mecanización del Estado de México: el caso de Teotihuacán, Tepetzotlán y Zumpango. REMEXCA 3(spe4):838-846.
- Ayala, G. A. V., R. Cervantes O., M. A. Audelo B., N. Velázquez L. y J. M. Vargas S. 2013. La normalización y certificación de tractores agrícolas en México. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 22(Supl. 1):86-93.



CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2017. Reporte Las exportaciones agrícolas de México. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/67Exportaciones.pdf> [consultado el 20 de julio de 2022].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2021. FAOSTAT. Maquinaria. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/RM> [consultado el 20 de julio de 2021].

Gutiérrez, R. F., J. Hernández A., A. González H., D. De Jesús P. L., R. Serrato C. y A. Laguna C. 2018. Diagnóstico de tractores e implementos agrícolas en el municipio de Atlacomulco, Estado de México. REMEXCA 9(8):1739-1750.

Hernández, A. J., F. Gutiérrez R., A. Díaz V., A. González H. y R. Serrato C. 2022. Evaluación el nivel de mecanización tecno-agrícola en seis municipios del valle de Toluca. REMEXCA 13(3):421.432.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1936. Primer Censo Agrícola Ganadero 1930. Ciudad de México, México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825110024/702825110024_1.pdf [consultado el 19 de julio de 2022].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1959. Censos Agropecuarios. Totales comparativos 1930, 1940 y 1950. México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1329/702825110734/702825110734_1.pdf [consultado el 18 de julio de 2022].

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. VIII Censo Agrícola Ganadero y Forestal 2007. Existencias totales de tractores destinados a la actividad agropecuaria o forestal. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/> [consultado el 18 de julio de 2022].



- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2019. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2019. México. <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2019/> [consultado el 18 de julio de 2022].
- John Deere. 2021. John Deere-Fact Books. Tractor and combine industry unit sales. https://s22.q4cdn.com/253594569/files/doc_downloads/books/2022/Tractor-Combine-Fact-Book_2021.pdf [consultado el 23 de mayo de 2021].
- Mora, F. J. S. 1986. La oferta y demanda de tractores agrícolas en México, evaluación cuantitativa y cualitativa. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 163 p.
- Muñoz, R. and J. Llanos. 2012. Estimation of the lifespan of agricultural tractor using a diffusion model at the aggregate level. *Cienc. Inv. Agr.* 39(3):557-562.
- Muñoz, R. M., J. L. Llanos y L. D. Sáez. 2011. Relación entre el parque de tractores agrícolas y el patrón de difusión y adopción mediante un modelo logístico. *Inf. Technol.* 22(6):121-128.
- Negrete, J. C., A. L. Tavares-Machado y R. L. Tavares-Machado. 2013. Parque de tractores agrícolas en México: estimación y proyección de la demanda. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 22(3):61-69.
- Regalado, N. J. C. 2006. *Mecanización agrícola en México*. 1ª. ed. México. p. 52-58. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN20R333.pdf> [consultado el 18 de julio de 2022].
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2018. 6to. informe de labores de la SAGARPA 2017-2018. https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/sagarpa/6to_informe_labores_sagarpa_lunes%2008.pdf [consultado el 18 de julio de 2022].



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Estadística de uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola. Superficie agrícola mecanizada. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> [consultado el 10 de junio de 2022].



EVALUACIÓN *in vitro* DE EXTRACTOS DE TALLO DE AJO (*Allium sativum*) PRETRATADO CONTRA *Colletotrichum gloeosporioides*

Patsy Suleyma Hernández Olivares⁶⁰, Pedro Sebastián Vargas Cardoso⁶⁰ y Karla Nallely Rivera Hernández^{60*}

Resumen

Tanto el aumento de la población como en el consumo de productos agrícolas, ha provocado una gran cantidad de residuos agroindustriales entre los que destacan el tallo seco del ajo (*Allium sativum*). Estos residuos, tal es el caso del tallo de ajo, al no ser aprovechados provocan problemas como contaminación. En esta investigación se busca el aprovechamiento de esta merma mediante la extracción de compuestos fenólicos para combatir a *C. gloeosporioides*, hongo que afecta diversos frutos tropicales. A partir del análisis de muestras sin pretratar (s/p) y muestras pretratadas con 15 y 30 min en explosión de vapor, los extractos se obtuvieron después de una maceración agitada con EtOH de 60% v/v, durante 18 h a 50°C, determinando el contenido de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, y ensayos *in vitro*, se realizaron con base en el porcentaje de inhibición del crecimiento radial micelial, determinado a partir de la comparación del crecimiento en placas de medio PDA envenenado, respecto al control. Se realizaron análisis de varianza de los datos, así como comparaciones de medias en el software Minitab 19. Los extractos no presentaron una diferencia significativa en cuanto al contenido de fenoles totales, a partir del pre-tratamiento; el extracto (s/p) obtuvo 7.76 ± 1.26^a , pre-tratamiento de 15 min 9.60 ± 1.30^a y 30 min 7.0 ± 0.81^a reportados en mg GAE/g de extracto. Mientras que en el porcentaje de inhibición para el extracto (s/p) obtuvo $-12.41 \pm 1.78^b\%$, observando un crecimiento mayor que la placa control, 15 min registró $44.46 \pm 3.58^{ab}\%$ y 30 min $39.36 \pm 0.13^a\%$, no mostraron una diferencia significativa. Se determinó que el pretratamiento más efectivo es exposición de tallo de ajo seco 15 min en explosión de vapor, suficiente para liberar los compuestos bioactivos necesarios para inhibir el crecimiento radial micelial de *C. gloeosporioides*.

Palabras clave: residuos agroindustriales, antifúngico, explosión de vapor, fenoles

⁶⁰ Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. *Autor por correspondencia: krivrah@ipn.mx



Introducción

El aumento de la población mundial ha provocado que la industria agrícola produzca miles de millones de toneladas de residuos no comestibles, derivados del cultivo y procesamiento de alimentos. Estos residuos pueden causar problemas, tanto de contaminación, como de pérdidas económicas en todo el mundo. Esta es la razón de la búsqueda y desarrollo de diferentes estrategias, para utilizar los residuos agrícolas e industriales como fuente de productos de alto valor agregado (Santana *et al.*, 2012).

El ajo (*Allium sativum*) por ejemplo, es la segunda especie del género *Allium* más cultivada, seguido de la cebolla. La FAO estima que, en total en todo el mundo se destinan 1.217 millones de hectáreas para el cultivo del ajo, llegando a producir hasta 16.41 millones de toneladas por año.

La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en 2021 informó que en México la producción nacional de ajo creció 4.3% al cierre de 2020, con un volumen de 86,500 t, lo que ha permitido al país ubicarse como el noveno exportador mundial de ajo (SADER, 2021).

Por cada kilogramo de bulbo utilizado como materia prima, 316 g son considerados residuos (Kallel y Ellouz-Chaabouni, 2017), los cuales podrían ser considerados materia prima para la producción de productos bioactivos por su disponibilidad, procesamiento y sus propiedades químicas y biológicas.

La empresa Alimentos Nutritivos del Altiplano S.C. de R.L. produce ajo en pasta con materia prima cosechada en el estado de Zacatecas, uno de los estados con mayor producción de ajo en México, y reporta que tan solo para un lote de ajo en pasta (800 paquetes de 120 g c/u) se necesitan 60 kg de ajo, de los cuales el 100% del tallo es considerado como merma, generando aproximadamente de 15 a 18 kg de desecho por lote de producción.

El presente trabajo pretende generar una propuesta de aprovechamiento para los residuos (tallo de ajo) generados durante la producción de pasta de ajo en la empresa Alimentos Nutritivos del Altiplano S.C. de R.L., que consiste en revalorizar la merma, mediante el aprovechamiento de compuestos fenólicos presentes con posible potencial anti-fúngico, para realizar pruebas *in vitro* contra el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* que afecta diversos frutos tropicales.

Se evaluaron las propiedades bioactivas de los extractos de tallo de ajo pre-tratado, a través de la actividad anti-fúngica; calculando la inhibición inducida del hongo fitopatógeno *C. gloeosporioides*, los extractos viables se seleccionaron después de aplicar el pretratamiento (explosión de vapor) como variable, en tres niveles de exposición distintos, manteniendo las mismas condiciones de extracción



para todas las muestras, y posteriormente pruebas *in vitro* con el objetivo de obtener el pretratamiento que libera más compuestos bioactivos del tallo de ajo seco y realizar un proceso de extracción óptimo.

Materiales y Métodos

Recepción y preparación de la muestra

Se obtuvo un lote de tallo de ajo seco cosechado por pequeños productores de la comunidad Tepetitla de Lardizábal Tlaxcala, ubicado en las coordenadas 19° 15' y 19° 19' de latitud norte; los meridianos 98° 20' y 98°25' de longitud oeste; altitud de 2,300 m.

El tratamiento aplicado al lote de tallo de ajo previo a su procesamiento, consistió en seleccionar las muestras libres de impurezas para posteriormente enjuagar los tallos con agua destilada estéril. Se eliminó la humedad colocando los tallos en charolas de aluminio por 48 h a 40°C con ayuda de un horno secador marca ECOSHEL modelo 9025H. Posteriormente, los tallos secos fueron pulverizadas en una licuadora Ninja Profesional Plus DUO y cribados con un tamiz de 2 mm de poro para reducir y homogeneizar el tamaño de partícula. Las muestras de tallo de ajo se almacenaron en bolsas de polipapel a temperatura ambiente para su posterior utilización.

Cepas utilizadas y mantenimiento

La cepa del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* se obtuvo de viales con glicerol y se mantuvieron en ultra-congelación a temperatura inferior a -50°C de la colección de CIBA-IPN

La cepa de este hongo fue reactivada y cultivada a partir de los viales mediante punción en placas de PDA a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Los hongos se mantuvieron en placas PDA y fueron sembrados periódicamente. Los subcultivos se realizaron inoculando el centro de placas de PDA con una porción de agar con micelio de 5 mm de diámetro cortada de un cultivo de 14 días e incubando a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$).

Evaluación de pre-tratamientos del tallo de ajo seco

Se aplicaron dos pre-tratamientos térmicos al tallo de ajo; explosión de vapor (15 min y 30 min), además se elaboró un extracto al que no se le aplicó ningún tratamiento térmico. En el Cuadro 1 se describe la denominación de cada extracto, así como las variables que influyeron durante el proceso. Todos los extractos de esta sección se obtuvieron empleando una concentración del solvente del 60% en agua (% v/v), temperatura de 50°C y tiempo de extracción de 18 h.



Cuadro1. Análisis y etiquetado de la evaluación de pretratamientos aplicados a tallo de ajo.

Extracto	Pre-tratamiento	Solvente	Concentración de solvente (% v/v)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
A1	S/pre-tratamiento				
A2	Explosión de vapor (15 min)	Etanol	60	50	18
A3	Explosión de vapor (30 min)				

Explosión de vapor

El presente procedimiento aplicado al tallo de ajo previo a la maceración se diseñó con base en la patente de Ballesteros *et al.* (2004) con algunas modificaciones. El pre-tratamiento de explosión de vapor consistió en poner 10 g de tallo de ajo seco y 50 mL de agua destilada en un matraz cerrado resistente a presión y temperatura durante 15 y 30 min, en una autoclave vertical de la marca NOVATECH a 1.2 psi de presión, una vez realizado el pre-tratamiento la muestra de tallo de ajo continuó con el proceso de maceración que se describe a continuación.

Extracción de compuestos bioactivos

La extracción se realizó por maceración con agitación mecánica a 180 rpm y 50°C por 18 h, usando etanol como disolvente. La relación muestra: solvente usada fue de 10:100 muestra base seca/mL solvente. Una vez transcurrido el tiempo de extracción, los extractos se filtraron con papel de celulosa Whatman núm. 4 y se evaporaron a sequedad en un evaporador rotatorio, finalmente se re-suspendieron en una solución acuosa de Tween 80 al 1% v/v, para mejorar la solubilidad de los extractos a concentraciones de 10 mg/mL en refrigeración a 4°C para los análisis posteriores.

Método espectrofotométrico para la cuantificación de compuestos fenólicos totales en extractos de tallo de ajo seco

La determinación del contenido total de fenoles se realizó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu propuesto por Hussain *et al.* (2012), el cual es un ensayo basado en transferencia de electrones que proporciona una capacidad reductora, que se expresa como contenido fenólico equivalente a un ácido fenólico estándar. En resumen, se añadió 0.1 mL de solución de extracto a una concentración de 2 mg/mL a 0.1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 1.5 mL de agua destilada. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente durante 10 min y se añadieron 0.3 mL de (NaCO₃) al 20% p/v.



Finalmente, la mezcla se dejó reposar en oscuridad a temperatura ambiente durante 1 h y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 760 nm en un espectrofotómetro.

El contenido total de fenoles se estimó a partir de una curva estándar de ácido gálico y se expresó como:

$$\text{Fenoles totales (FT)} = \frac{(\text{mg equivalentes de ácido gálico})}{(\text{g de extracto})}$$

Ensayos *in vitro* aplicados a los extractos de tallo de ajo seco a partir del pre-tratamiento

Cada uno de los extractos obtenidos a partir del pre-tratamiento de tallo de ajo fueron probados contra *C. gloeosporioides*.

Los ensayos anti-fúngicos *in vitro* se realizaron con base en el porcentaje de inhibición del crecimiento radial micelial de *C. gloeosporioides* y determinado a partir de la comparación del crecimiento en placas de medio PDA envenenado respecto al control. Las placas de medio envenenado se prepararon diluyendo en un matraz con agar PDA estéril; el volumen necesario que contenía 1 mg/mL de extracto. El medio se agitó para conseguir una mezcla homogénea y finalmente fue vertido en placas Petri de 60 × 15 mm, el cual se dejó enfriar y solidificar. Las placas control consistieron únicamente en agar PDA sin extracto. La placa control positivo se envenenó con el fungicida carbendazim, siguiendo las instrucciones del proveedor.

Todas las placas se inocularon en el centro, con una pieza de agar circular de 5 mm cortada de un cultivo puro del hongo evaluado en cada caso. Las placas se incubaron a temperatura ambiente (25 ± 2°C) y se evaluó el crecimiento micelial radial después de 11 días. Los diámetros se midieron utilizando un vernier digital.

Se aplicaron cinco tratamientos: 1) Control negativo, solo el inóculo, 2) Control positivo, con el fungicida carbendazim, 3) Sin pre-tratamiento, adición de extractos macerados sin pre-tratamiento explosión de vapor, 4) Pre-tratado con 15 min de explosión de vapor, 5) Pre-tratado con 30 min de explosión de vapor.

Todos los ensayos se realizaron por duplicado. El porcentaje de inhibición del crecimiento se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = 1 - \frac{x}{y} \times 100$$

X: Diámetro de crecimiento radial del hongo en placa envenenada con extracto.



Y: Diámetro de crecimiento radial del hongo en placa control.

Análisis estadístico

Para todos los análisis de varianza y comparaciones de medias, se utilizó el software Minitab 19.

Resultados y Discusión

La actividad biológica de un compuesto puede variar en función de los métodos y condiciones empleados para la extracción (Hayat *et al.*, 2016). Considerando que las investigaciones sobre extractos de tallo de ajo seco, como potencial anti-fúngico son muy pocas. La obtención de un extracto relevante de una planta, tiene una relación directa con su efectividad en su aplicación y es necesario antes considerar y evaluar, mediante ensayos *in vitro* los factores como el solvente a utilizar en la extracción, la solubilidad de los compuestos bioactivos, así como el procedimiento y las condiciones ambientales (Ncama *et al.*, 2019).

Tomando en cuenta las características del tallo de ajo que se compone principalmente de lignina, la cual es un polímero fenólico heterogéneo compuesto de tres tipos de monómeros, alcoholes p-cumarílicos, coniferílicos y sinapílicos (Kallel *et al.*, 2014), y ya que el pre-tratamiento explosión de vapor puede formar grandes cavidades y espacios intercelulares, que ayudan a la liberación de polifenoles (Cheng *et al.*, 2020), seguido de extracciones por ejemplo; de metanol- agua para liberar y extraer compuestos fenólicos, así como otros componentes efectivos (Gong *et al.*, 2012) y en condiciones óptimas del pre-tratamiento se demostró que los carbohidratos solubles en agua también hidrolizan los carbohidratos en azúcares solubles en agua, entonces un pre-tratamiento de explosión de vapor adecuado y razonable libera los compuestos fenólicos unidos (Liu *et al.*, 2016).

Evaluación *in vitro* de la capacidad anti-fúngica de los extractos a partir del pre-tratamiento

En la Figura 1 se muestra el crecimiento tras 11 días a partir de la inoculación de *C. gloeosporioides* en placas de medio PDA envenenadas con los extractos de tallo de ajo, obtenidos a partir del pre-tratamiento en las mismas condiciones de extracción.

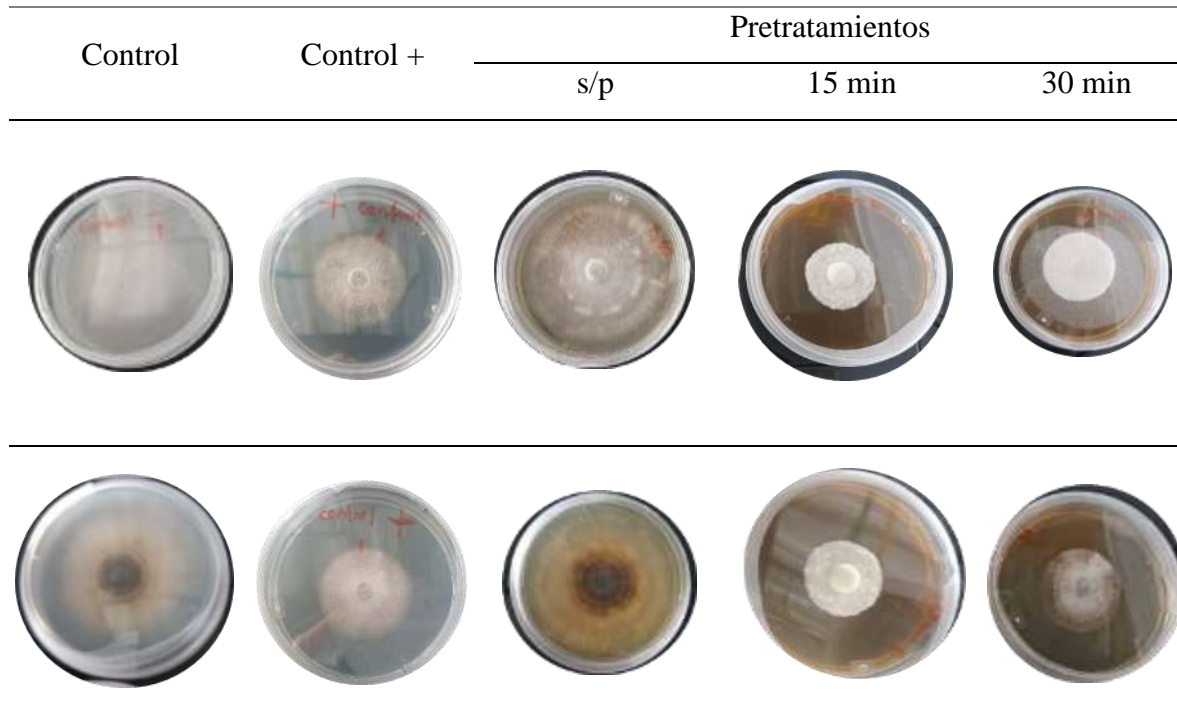


Figura 1. Evaluación *in vitro* del efecto de los pre-tratamientos aplicados al tallo de ajo sobre la capacidad anti-fúngica contra *C. gloeosporioides* (crecimiento 11 días después de la inoculación).

Al comparar el crecimiento del hongo en las placas envenenadas con las placas control a las cuales no se aplicó extracto, solo los extractos con pre-tratamiento presentaron actividad anti-fúngica; su actividad es aún mayor que en las placas envenenadas con un fungicida de uso común, siendo capaces de inhibir el crecimiento del hongo, sin diferencia significativa entre los extractos con pre-tratamiento de 15 y 30 min, al contrario del extracto al que no se le aplicó ningún pre-tratamiento, el cual creció con mayor rapidez que la placa control.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los porcentajes de inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides* promedio, conseguido con cada extracto, mediante los parámetros correspondientes; en el análisis de la varianza se ha determinado que existen diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), al comparar las medias de los porcentajes de inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides* conseguidos con cada extracto, los cuales se determinaron a partir de la medición de los diámetros de crecimiento del hongo en cada placa y su comparación con el radio de crecimiento promedio observado en las placas control.



Cuadro 2. Inhibición *in vitro* del crecimiento *C. gloeosporioides* en medio PDA envenenado con extracto de tallo de ajo pre-tratado después de 11 días de la inoculación.

% Inhibición	Pre-tratamiento		
	s/p	15 min	30 min
	-12.41 ± 1.78 ^b	44.46 ± 3.58 ^a	39.36 ± 0.13 ^a

Esto se puede explicar porque se realiza una descompresión súbita, ocasionando desagregación y destrucción parcial de los enlaces lignina carbohidrato, obteniendo como resultado un material cuya celulosa es más accesible a la hidrólisis enzimática, en donde se tienen los compuestos fenólicos que actúan como inhibidores de una forma más disponible. Estas propiedades biológicas de los extractos pueden atribuirse a la presencia de altas cantidades de fito-químicos y se pueden comprobar, mediante análisis cromatográfico en los que están reportados por los autores la presencia de los ácidos cafeico, p-cumárico, ferúlico y di-ferúlico (Piñeros *et al.*, 2011).

Después de la determinación del contenido de fenoles totales, los cuales también se determinaron mediante el análisis de la varianza con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) (Cuadro 3), no se encontraron diferencias significativas tanto para los extractos (s/p), como para los pre-tratamientos de 15 y 30 min.

Cuadro 3. Inhibición del crecimiento de *C. gloeosporioides* en medio PDA envenenado con extracto de tallo de ajo pretratado después de 11 días de la inoculación.

TPC (mg GAE/ g de extracto)	Pre-tratamiento		
	s/p	15 min	30 min
	7.76 ± 1.26 ^a	9.60 ± 1.30 ^a	7.0 ± 0.81 ^a

La maceración permitió la disponibilidad de compuestos fenólicos después de la extracción, pero no los necesarios para presentar un porcentaje de actividad anti-fúngica, necesaria para inhibir al hongo *C. gloeosporioides*, y esto se comprobó a partir de los ensayos *in vitro* en donde los extractos (s/p) mostraron una velocidad de crecimiento mayor que la placa control positivo, además, la disponibilidad de los compuestos bioactivos liberados después de la maceración del tallo de ajo seco sin pre-tratar potencializa el crecimiento del hongo (Figura 1).



Conclusiones

Una explosión de vapor usada como pre-tratamiento realizada de forma adecuada y con un tiempo razonable, aumenta efectivamente la liberación de compuestos fenólicos en materiales lignocelulósicos como lo es el tallo de ajo seco, los extractos obtenidos de este residuo agroindustrial, a partir de maceración con EtOH, manteniendo un nivel constante en las variables concentración de solvente, temperatura y tiempo de agitación, presentaron un porcentaje de capacidad anti-fúngica más efectiva que un fungicida comercial contra *C. gloesporioides* en pruebas *in vitro*.

Literatura Citada

- Ballesteros, M., M. J. N. Álvarez, P. M. Secades, I. B. Perdices and J. O. Domínguez (inventores) 2004. Method extracting phenolic compounds from a residual plant material using a hydrothermal process. Patente PCT/ES2003/000085. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Madrid, España.
- Cheng, A., C. Hou., J. Sun and F. Wan. 2020. Effect of steam explosion on phenolic compounds and antioxidant capacity in adzuki beans. *J. Sci. Food Agric.* 100:4495-4503.
- Gong, L., L. Huang and Y. Zhang. 2012. Effect of steam explosion treatment on barley bran phenolic compounds and antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 60(29):7177-7184.
- Hayat, S., C. Zhihui, A. Husain, A. Muhammad, C. Xuejin and W. Mengyi. 2016. Garlic, from remedy to stimulant: Evaluation of antifungal potential reveals diversity in Phytoalexin Allicin content among garlic cultivars; allicin containing aqueous garlic extracts trigger antioxidants in cucumber. *Front. Plant Sci.* 7:1235.
- Hussain, A. I., A. S. Shahzad C., S. Noor, A. Zulifqar K., M. Arshad U., H. Rathore A. *et al.* 2012. Effect of extraction techniques and solvent systems on the extraction of antioxidant components from peanut (*Arachis hypogaea* L.) hulls. *Food Anal. Methods* 5(4):890-896.



- Kallel, F., D. Driss, F. Chaari, L. Belghith, F. Bouaziz, R. Ghorbel *et al.* 2014. Garlic (*Allium sativum* L.) husk waste as a potential source of phenolic compounds: Influence of extracting solvents on its antimicrobial and antioxidant properties. *Industrial Crops and Products* 62:34-41.
- Kallel, F. and S. Ellouz-Chaabouni. 2017. Perspective of garlic processing wastes as low-cost substrates for production of high-added value products: A review. *Environmental progress and sustainable energy* 36(6):1765-1777.
- Liu, L., M. Zhao, X. Liu, K. Zhong, L. Tong, X. Zhou. *et al.* 2016. Effect of steam explosion-assisted extraction on phenolic acid profiles and antioxidant properties of wheat bran. *J. Sci. Food Agric.* 96(10):3484-91.
- Ncama, K., A. Mditshwa, Z. Tesfaya S., C. Mbilib N. and L. Magwaza S. 2019. Topical procedures adopted in testing and application of plant based extracts as bio-fungicides in controlling postharvest decay of fresh produce. *Crop Protection* 115:142-151.
- Piñeros, Y., G. Velasco, J. Proaños, W. Cortes e I. Ballesteros. 2011. Producción de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática de cascarilla de arroz pretratada mediante explosión con vapor. *ION* 24(2):23-28.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Se ubica México como el noveno exportador mundial de ajos. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/se-ubica-mexico-como-el-noveno-exportador-mundial-de-ajos>
- Santana, M. O., A. González C. and R. Sánchez V. 2012. Agricultural residues as a source of bioactive natural products. *Phytochemistry Reviews* 11(4):447-466.



BIOESTIMULANTES MICROBIANOS EN EL DESARROLLO DE FRUTOS DE JITOMATE EN CONDICIONES PROTEGIDAS DE MACROTÚNEL

Félix David Murillo Cuevas⁶¹, Jacel Adame García^{61*}, Héctor Cabrera Mireles⁶², Jazmín Villegas Narváez⁶¹
y Manuel Velázquez Viveros⁶¹

Resumen

La producción de alimentos en su mayoría depende de la fertilización química, la cual con frecuencia no se aplica de manera racional, se escapa y contamina al medio ambiente. Una alternativa para reducir el uso excesivo de fertilizantes sintéticos es la utilización de bioestimulantes microbianos. De tal forma que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de tres bioestimulantes microbianos sobre los frutos y producción de jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel. El trabajo se realizó en el Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván, Veracruz. Se utilizaron semillas de jitomate variedad Atrevido F1. Todas las semillas se germinaron en charolas con sustrato peat moss e inoculadas con micorrizas (*Rhizophagus intraradices*) de INIFAP[®] antes de ponerlas a germinar. Los tratamientos evaluados fueron: 1) Genifix[®], 2) Trichoderma, 3) Bio-Terra[®] y 4) testigo. Se utilizó un cultivo en condiciones protegidas de macrotúnel. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones (bloques) distribuidas en dos camas, en cada bloque se consideraron seis plantas de jitomate. Las variables de respuesta fueron peso, diámetro ecuatorial y polar de 20 frutos tomados al azar de las seis plantas, por bloque. También se consideró la producción del macrotúnel en peso del total de frutos por corte. Para comparar el efecto de los bioestimulantes en el peso y dimensiones de frutos de jitomate, así como en la producción, se realizó un ANOVA y una comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat versión 2020. El producto Genifix tuvo un incremento significativo en el diámetro ecuatorial de los frutos de jitomate. Para el diámetro polar, tanto Genifix como Bio-Terra incrementaron el tamaño del fruto en relación con los frutos testigos. Tanto Genifix como Bio-Terra estimularon en las plantas frutos más pesados. Las plantas tratadas con Genifix tuvieron mayor producción en kilogramos. El uso de los bioestimulantes

⁶¹ Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. *Autor por correspondencia: jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

⁶² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CIRGOC, Campo Experimental Cotaxtla.



microbianos es una opción para incrementar la calidad y producción de jitomate con un enfoque hacia una agricultura sostenible.

Palabras clave: Genifix, Bio-Terra, *Bacillus*, *Trichoderma*, hortalizas

Introducción

La producción de alimentos en su mayoría depende de la fertilización química, la cual con frecuencia no se aplica de manera racional, ya que no se establecen balances adecuados de nutrientes, ni se consideran las condiciones de las plantas, suelo y clima, factores indispensables para formular dosis óptimas de fertilizantes. La fertilización en las plantas es un componente clave en el rendimiento de los cultivos, situación que ha llevado a un uso intensivo y excesivo de fertilizantes sintéticos en la producción de vegetales, aunque, en la mayoría de los casos no es eficiente ya que gran parte del fertilizante aplicado se escapa al medio ambiente, contaminando depósitos de agua y suelo (da Silva *et al.*, 2020). Por lo tanto, es indispensable que la producción de alimentos tenga alternativas eficientes que reduzcan el uso de los fertilizantes sintéticos, buscando el desarrollo de una agricultura sostenible. Una alternativa que pretende disminuir el uso de los fertilizantes sintéticos en la agricultura es el uso de fertilizantes orgánicos, que complementan la nutrición de las plantas utilizando las relaciones benéficas entre microorganismos y plantas, utilizando abonos orgánicos (Mendivil-Lugo *et al.*, 2020), bioestimulantes (Murillo-Cuevas *et al.*, 2021) y microorganismos (Espinosa-Palomeque *et al.*, 2019; Adame-García *et al.*, 2021).

Dentro de los microorganismos más utilizados como bioestimulantes vegetales se encuentran los hongos del género *Trichoderma* y las bacterias del género *Bacillus*. Los hongos *Trichoderma* colonizan raíces y transfieren nutrientes a las plantas (Behie y Bidochka, 2014). Estimulan el crecimiento y desarrollo vegetativo mediante la formación de sideróforos quelatantes de hierro y hormonas reguladoras de crecimiento que funcionan como promotores en los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de las plantas (Fiorentino *et al.*, 2018). Las bacterias *Bacillus* son promotoras del crecimiento vegetal a través de la activación de diferentes mecanismos celulares (Ahemad y Khan *et al.*, 2011). Especies de *Bacillus* tienen la capacidad de solubilizar diferentes sustancias químicas y están implicadas en la síntesis de auxinas, producción de sideróforos, fijación de nitrógeno y en la



síntesis de bacteriocinas (Badía *et al.*, 2011). Además, estas bacterias son capaces de estimular el crecimiento de las plantas por medio de la síntesis y excreción de fitohormonas como las auxinas o citocininas (Anguiano *et al.*, 2019).

La variedad de bioestimulantes microbianos y sus diferentes efectos que tienen sobre la calidad de los cultivos, nos obligan a seleccionar los bioestimulantes más beneficiosos bajo condiciones específicas, a través de pruebas simultáneas de varios bioestimulantes en estas condiciones específicas. De tal forma que el objetivo del trabajo fue determinar el efecto de tres bioestimulantes microbianos sobre los frutos y producción de jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel.

Materiales y Métodos

Localización del sitio de estudio

El trabajo se realizó en terrenos del Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván en las coordenadas 19° 24' 43.12" latitud norte y 96° 21' 32.12" longitud oeste, ubicado en el municipio de Úrsulo Galván. El clima de esta región se clasifica como Aw (tropical húmedo-seco) por el sistema Köppen-Geiger y modificado por García (1981), definido como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura que oscila entre 24 y 26°C, y un rango de precipitación entre 1100 y 1300 mm (INAP, 2013).

Material vegetal y bioestimulantes microbianos

Se utilizaron semillas de jitomate de la variedad "Atrevido F1" de Harris Moran[®]. Todas las semillas se inocularon con micorrizas (*Rhizophagus intraradices*) de INIFAP[®] (1g por semilla) antes de ponerlas a germinar en charolas de 200 cavidades con sustrato peat moss. Los bioestimulantes fueron productos a base de *Trichoderma* spp. y *Bacillus* spp. y se evaluaron los tratamientos: 1) Genifix[®], 2) Trichoderma, 3) Bio-Terra[®] y 4) testigo (Cuadro 1).

Se utilizó un cultivo en condiciones protegidas de macrotúnel. El macrotúnel fue de 3 m de ancho por 30 m de largo (90 m²), forrado con malla antiáfidos, con tapa trasera y doble puerta de seguridad para el acceso. El marco de plantación fue de una planta cada 25 cm a tres bolillos, lo cual dio un total de 120 plantas por cama y 240 por macrotúnel. Se utilizó un sistema de riego por goteo y acolchado blanco.



Cuadro 1. Tratamientos utilizados en la evaluación del efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel.

Tratamiento	Ingrediente activo	Dosis
Genifix®	<i>Bacillus</i> sp. JVN5, <i>B. megaterium</i> strain VVM1, <i>Bacillus</i> sp. FDMC4, <i>B. subtilis</i> strain JAG3, <i>B. megaterium</i> strain EAV2	20% (v/v)
Trichoderma	<i>Trichoderma harzianum</i>	1 kg en 200 L agua
Bio-Terra®	<i>Rhizobium</i> sp., <i>B. subtilis</i> , <i>B. thuringiensis</i> var. <i>krustaki</i> , <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	0.5 kg en 200 L agua
Testigo	Agua	

El trasplante se realizó a los 24 días después de la siembra en charola y se utilizaron frutos de un corte, a los 92 días después del trasplante. En todos los tratamientos por igual se realizó una fertilización mínima tradicional del cultivo (Cuadro 2), para el caso de fosfato/nitrato se aplicó en drench cada 30 días. La aplicación de micronutrientes se realizó cada 20 días vía foliar y el Boro/Calcio se aplicó vía foliar al inicio de floración y posteriormente cada 20 días. Todas las aplicaciones se realizaron hasta concluir el ciclo productivo.

Cuadro 2. Fertilización química aplicada al suelo dirigida al cuello de la planta en cada uno de los tratamientos.

Ingrediente	Nombre comercial	Dosis
Fosfato/nitrato	DAP + Urea	1g DAP + 1g Urea por planta /50 mL de agua
Micronutrientes	Bayfolan®	2L ha ⁻¹ en 200L de agua
Boro/calcio	CaBo Zinc®	2L ha ⁻¹ en 200L de agua

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones (bloques) distribuidas en dos camas, en cada bloque se consideró como unidad experimental, seis plantas de jitomate. En cada tratamiento los bioestimulantes se aplicaron mensualmente al suelo, dirigidos al cuello de la planta (drench) (Cuadro 1).

Las variables de respuesta fueron peso, diámetro ecuatorial y polar de 20 frutos tomados al azar de las seis plantas, por bloque. También se determinó la producción del macrotúnel con base en el peso total de frutos por corte.



Para comparar el efecto de las bioestimulantes en el peso y dimensiones de frutos de jitomate, así como en la producción, se realizó el ANOVA y la comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$ utilizando el software Infostat versión 2020.

Resultados y Discusión

El producto Genifix fue el único bioestimulante que tuvo un incremento significativo ($F_{3,178}= 5.05$, $p= 0.0022$) en el diámetro ecuatorial de los frutos de jitomate en relación con el diámetro de los frutos de las plantas testigo. Para el diámetro polar, tanto Genifix como Bio-Terra incrementaron significativamente ($F_{3,178}= 10.19$, $p= 0.0001$) el tamaño del fruto. También se observó que Genifix produjo los frutos más pesados en relación con los otros bioestimulantes, pero tanto Genifix como Bio-Terra estimularon en las plantas frutos significativamente ($F_{3,178}= 11.68$, $p= 0.0001$) más pesados. Los frutos de jitomate obtenidos de plantas tratadas con el producto llamado Trichoderma, no registraron diferencias significativas con relación a los frutos de las plantas testigo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de bioestimulantes microbianos diámetros y peso de fruto de jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel.

Tratamientos	Diámetro (mm)		Peso (g)
	Ecuatorial	Polar	
Genifix®	52.15 ± 1.02 ^a	77.70 ± 1.74 ^a	120.00 ± 5.16 ^a
Bio-Terra®	49.56 ± 0.75 ^{ab}	72.36 ± 1.28 ^{ab}	101.07 ± 3.79 ^b
Trichoderma	47.93 ± 0.91 ^b	68.15 ± 1.56 ^{bc}	87.07 ± 4.63 ^{bc}
Testigo	47.36 ± 0.85 ^b	66.09 ± 1.46 ^c	83.72 ± 4.32 ^c
C.V. (%)	11.91	14.12	30.59

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

La producción de un corte de frutos de jitomate en condiciones protegidas de macrotúnel con aplicaciones de los bioestimulantes microbianos fue variada entre los tratamientos. Las plantas tratadas con Genifix tuvieron mayor producción en kilogramos, con diferencias significativas ($F_{3,12}= 4.96$, $p= 0.0182$) con relación a las plantas testigo. La producción de las plantas tratadas con el producto Bio-



Terra fue estadísticamente igual a la producción de las plantas tratadas con Genifix y plantas testigo. La producción en una superficie de 90 m² de las plantas tratadas con el producto Trichoderma no registraron diferencias estadísticas a la producción de las plantas testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Producción de jitomate en un corte de frutos producido en condiciones protegidas de macrotúnel con relación a los bioestimulantes microbianos aplicados.

Tratamiento	Producción (Kg)
Genifix [®]	20.04 ± 1.82 ^a
Bio-Terra [®]	14.28 ± 1.82 ^{ab}
Trichoderma	12.12 ± 1.83 ^b
Testigo	10.92 ± 1.82 ^b
C.V. (%)	25.36

Literales diferentes indican diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Los datos se presentan en $\bar{X} \pm E.E.$, C.V. = Coeficiente de Variación, Tukey $\alpha = 0.05$.

Los resultados de este trabajo demuestran los efectos promotores de los bioestimulantes microbianos formulados con *Bacillus*, *Trichoderma* y *Rhizobium* en el desarrollo de frutos de hortalizas y proporcionan información reciente sobre los beneficios de estos microorganismos en el incremento del diámetro polar y ecuatorial, así como en el peso de los frutos de jitomate.

Se ha reportado que bioestimulantes formulados con *T. harzianum* A-34, *B. subtilis* y *Rhizoglosum intraradices* tienen efectos promotores del número de hojas, flores, altura de planta, diámetro del tallo, cantidad de folíolos, calidad de fruto y rendimientos en el cultivo de jitomate (Pérez *et al.*, 2013; Zulueta-Rodríguez *et al.*, 2020). Por otro lado, con relación a los bioestimulantes evaluados, el producto Genifix formulado con cepas de *Bacillus* spp. corrobora su eficiencia en la promoción del desarrollo de frutos de jitomate al obtener resultados similares a los obtenidos en una evaluación del producto en conjunto con bioestimulantes formulados con *Trichoderma* spp. (Adame-García *et al.*, 2023).

El producto Bio-Terra formulado con *B. subtilis*, *T. harzianum* y *Rhizobium* sp. tuvo un efecto en el incremento del diámetro polar y peso de los frutos de jitomate a diferencia del producto formulado únicamente con *T. harzianum*. Esto puede deberse a que los efectos de los bioestimulantes formulados con *Trichoderma* pueden ser variados, debido a que pueden ser cepas o especies que poseen diferentes



atributos para la estimulación del crecimiento vegetal, además de diferencias bioquímicas que permiten que una cepa sea mejor que otra para promover el crecimiento vegetal (Ortuño *et al.*, 2013).

Por otro lado, cepas de bacterias del género *Bacillus* son muy eficientes en la estimulación del desarrollo y crecimiento vegetal por sus propiedades, tales como la producción de ácido indolacético (Mejía-Bautista *et al.*, 2022), hormona que regula el crecimiento celular, la diferenciación de tejidos e interviene en el fototropismo y gravitropismo, además de tener una función significativa durante la formación raíz y xilema (Vega-Celedón, 2016). En el caso de *Rhizobium* sp., se han reportado efectos positivos de *R. etli* en la estimulación del crecimiento aéreo y radicular de *C. annuum* var. longum en comparación a plantas testigo (Vazallo *et al.*, 2013), así como con *R. nepotum* al incrementar el peso de la parte aérea de plántulas de chile poblano en más de 20% (González *et al.*, 2017).

Es probable que las diferencias entre los productos, en el desarrollo de los frutos de jitomate, se deban a los diferentes grados de compatibilidad de las cepas microbianas con la planta hospedera. El efecto de la inoculación de los bioestimulantes microbianos en las plantas hospederas depende en gran medida de la compatibilidad entre ellos (Cano, 2011; Vázquez *et al.*, 2000), además, dos de los productos, Bio-Terra y Trichoderma, son recomendados comercialmente para caña de azúcar, siendo la primera vez que se evalúan en hortalizas. Otros factores que pueden influenciar en el efecto de los bioestimulantes son: la presencia de otros microorganismos nativos del suelo y las condiciones ambientales, como temperatura y humedad (Cano, 2011).

Conclusiones

La aplicación de bioestimulantes microbianos en el cultivo de jitomate tuvo efectos contrastantes con relación al peso y dimensiones de los frutos, los bioestimulantes Genifix y Bio-Terra lograron estimular el incremento en tamaño de fruto en un 45 y 22% respectivamente. En producción, el bioestimulante Genifix fue el que presentó los mejores resultados con un porcentaje de 100% de aumento de la producción con respecto al testigo, Bio-Terra un 40% y Trichoderma solo un 20%. El uso de los bioestimulantes microbianos es una opción pertinente para incrementar la calidad y producción de jitomate con un enfoque hacia una agricultura sostenible y rentable.



Agradecimientos

Al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por el financiamiento del proyecto con clave: CP1111 1621/2023.

Literatura Citada

- Adame-García, J., F. D. Murillo-Cuevas, H. Cabrera-Mireles, J. Villegas-Narváez, A. E. Rivera-Meza, y A. Vásquez-Hernández. 2023. Efecto de bioestimulantes microbianos en frutos de chile morrón y jitomate producidos en macrotúnel. *Biotecnia* 25(1):81-87.
- Adame-García, J., F. D. Murillo-Cuevas, F. R. Flores de la Rosa, V. Velázquez-Mendoza, M. López-Vázquez, H. Cabrera-Mireles. *et al.* 2021. Identificación molecular y evaluación de bacterias en el desarrollo vegetativo y producción de chile habanero. *Biotecnia* 23(3):151-157.
- Ahemad, M. and M. S. Khan. 2011. Functional aspects of plant growth promoting rhizobacteria: recent advancements. *Insight Microbiol.* 1(3):39-54.
- Anguiano, C. J. C., O. A. Flores, P. V. Olalde, V. R. Arredondo and A. E. I. Laredo. 2019. Evaluation of *Bacillus subtilis* as promoters of plant growth. *Revista bio ciencias* 6:1-13.
- Badía, M. M. R., B. T. Hernández, J. A. L. Murrel, Mahillon, J. and M. H. Perez. 2011. Isolation and characterization of strain of the *Bacillus* associated to rice (*Oryza sativa* L.) crop. *Rev. Bras. Agroecol.* 6:90-99.
- Behie, S. W. and M. J. Bidochka. 2014. Nutrient transfer in plant–fungal symbioses. *Trends Plant Sci.* 19(11):734-740.
- Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 14(2):15-31.



- da Silva, J. M., P. C. R. Fontes, C. D. C. Milagres and J. A. A. de Abreu. 2020. Yield and nitrogen use efficiency of bell pepper grown in SLAB fertigated with different nitrogen rates. *J. Plant Nutr.* 43(18):2833-2843.
- Espinosa-Palomeque, B., P. Cano-Ríos, L. Salas-Pérez, J. L. García-Hernández, P. Preciado-Rangel, J. Sáenz-Mata. *et al.* 2019. Bioinoculantes y concentración de la solución nutritiva sobre la producción y calidad de tomate. *Biocencia* 21(3):100-107.
- Fiorentino, N., V. Ventorino, S. L. Woo, O. Pepe, A. De Rosa, L. Gioia. *et al.* 2018. *Trichoderma*-based biostimulants modulate rhizosphere microbial populations and improve N uptake efficiency, yield, and nutritional quality of leafy vegetables. *Front. Plant Sci.* 9(743):1-15.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (1918, 1936) para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía, UNAM. Offset Larios: México. 90 p.
- González, M. A., J. J. Almaraz S., R. Ferrera C., M. D. P. Rodríguez G., O. R. Taboada G., A. Trinidad S., *et al.* 2017. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*Capsicum annuum* L.). *Rev. Int. de Contam. Ambient.* 33(3):463-474.
- INAP (Instituto Nacional de Administración Pública). 2013. Diagnósticos Municipales PACMA, entidad: Veracruz de Ignacio de la Llave, Municipio: Úrsulo Galván. Instituto Nacional de Administración Pública. México 49 p.
- Mejía-Bautista, M. Á., J. Cristóbal-Alejo, J. R. Pacheco-Aguilar and A. Reyes-Ramírez. 2022. *Bacillus* spp. on the growth and yield of *Capsicum chinense* Jacq. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 13(1):115-126.



- Mendivil-Lugo, C., E. Nava-Pérez, A. D. Armenta-Bojórquez, R. D. Ruelas-Ayala y J. A. Félix-Herrán. 2020. Elaboración de un abono orgánico tipo bocashi y su evaluación en la germinación y crecimiento del rábano. *Biotecnia* 22(1):17-23.
- Murillo-Cuevas, F. D., H. Cabrera-Mireles, J. Adame-García, A. Vásquez-Hernández, A. de J. Martínez-García y R. Luria-Moctezuma. 2021. Bioestimulantes en la calidad de frutos de chile habanero. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 12(8):1473-1481.
- Ortuño, N., C. Miranda y M. Claros. 2013. Selección de cepas de *Trichoderma* spp. generadoras de metabolitos secundario de interés para su uso como promotor de crecimiento en plantas cultivadas. *J. Selva Andina Biosph.* 1:16-32.
- Pérez, G.Y., J. L. Ayala S. y A. Calero H. 2013. Efecto bioestimulante de dos formulados líquidos de *Trichoderma harzianum* Rifai A-34 en la producción protegida de tomate el cultivo de tomate protegido. *Cent. Agríc.* 40:53-56.
- Vega-Celedón, P., M. H. Canchignia, M. González y M. Seguir. 2016. Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacteria. *Cult. Trop.* 37 (Supl. 1):33-39.
- Vazallo, S. N., L. T. Ramírez, L. T. Carranza, B. Z. García y B. S. Bernilla. 2013. Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. longum. *REBIOLEST* 1(1):11-21.
- Vázquez, M. M., S. César, R. Azcón and J. M. Barea. 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Appl. Soil Ecol.* 15(3):261-272.



Zulueta-Rodríguez, R., L. G. Hernández-Montiel, J. J. Reyes-Pérez, G. Y. González-Morales y L. Lara-Capistrán. 2020. Efectos de la co-inoculación de *Bacillus subtilis* y *Rhizogloium intraradices* en la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) en un sistema semi-hidropónico. Revista Bio Ciencias 7:1-17.



MORFOLOGÍA, CALIDAD Y COLOR DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) EN TRES MÉTODOS DE POLINIZACIÓN

J. Amador Honorato Salazar^{63*}, Raúl Ríos Sánchez⁶³ y Bibiana Solís Martínez⁶⁴

Resumen

Esta investigación se realizó con el objetivo de caracterizar la morfología, calidad y color de frutos de pitahaya (*Hylocereus* spp.) con genotipos de pulpa blanca (B) y roja (R), para proporcionar elementos técnicos cuantitativos que permitan mejorar la selección, manejo y calidad de genotipos sobresalientes. El estudio se realizó en una plantación experimental de polinización, ubicada en el municipio de Molcaxac, Puebla a 18°43' 47.66" LN y 97°56' 18.10 " LO. Se seleccionaron seis frutos de cada tratamiento de polinización: libre [T1: B (♀); T2: R (♀)], autopolinización [T3: B (♀) x B (♂)] y manual cruzado [T5: B (♀) x R (♂); T6: R (♀) x B (♂)]. La caracterización de morfología de los frutos se realizó con las variables de diámetro (D), longitud (L), peso del fruto (PeF), peso de la cáscara (PeC), peso de la pulpa (PeP), área proyectada (A), volumen (V), índice de redondez (IR) y relación de aspecto (RA). La calidad se evaluó con la medición de °Brix y pH de la pulpa. El color de la cascara y la pulpa de los frutos se determinó con el sistema CIELab. Se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables medidas, seguido de una comparación de medias entre tratamientos con el método de Fisher ($p \leq 0.05$). Los frutos evaluados presentaron diferencias significativas para cada una de las variables evaluadas y se diferenciaron en tres grupos. En el grupo 1 (T1) se encuentran los frutos pequeños, poco pesados y voluminosos, poco dulces (13.79 °Bx), ácidos (pH 5.5) de pulpa blanca. En el grupo 2 (T1 y T5) se encontraron frutos de peso mediano, globosos, dulces (14.6 – 19.2°Brix, pH 4.4 – 5.0) de pulpa blanca. El grupo 3 (T2 y T6) estuvo formado por frutos grandes, pesados, alargados, con alta cantidad de pulpa roja (> 71%) y agridulces (15.4 – 21.4°Brix, pH 5.0 – 5.4). El color de la cáscara de los frutos en el sistema CIEL*a*b* fue más variable en el eje b*, mientras que, para la pulpa, la mayor variación fue en el eje a*, diferenciándose los frutos de pulpa blanca y roja.

⁶³ INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental San Martinito. *Autor por correspondencia: honorato.amador@inifap.gob.mx

⁶⁴ Docente. Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 017, DGETAyCM, CT.21HBR0002A.



Palabras clave: *Hylocereus*, CIELab, °Brix, pH

Introducción

La pitahaya pertenece al género *Hylocereus* y al igual que el género *Opuntia*, presenta un gran polimorfismo, lo que implica encontrar amplia variación de genotipos que probablemente corresponden a una misma especie (Legaria *et al.*, 2005). Taxonómicamente se han identificado 18 especies de *Hylocereus* y algunas son nativas de México, encontrándose nueve de ellas en las zonas templadas, tropicales, subtropicales y semiáridas del país, en elevaciones de 2 m a 2,750 m de altitud, temperatura promedio anual de 13°C a 28°C y precipitación anual de 340 mm a 3,500 mm (Cálix, 2004; García-Rubio *et al.*, 2015). Las especies más abundantes son *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton et Rose, *H. purpusii* (Weing.) Britton et Rose, *H. triangularis* (L.) Britton et Rose, *H. ocamponis* (Salm-Dyck) Britton et Rose e *H. aff. escuintlensis* Kimnach (Cálix, 2004; García-Rubio *et al.*, 2015).

Por tradición, la producción de pitahaya depende principalmente de plantas silvestres y se cultiva a nivel de traspatio en varios estados del país (Cálix, 2004; Ortiz-Hernández *et al.*, 2012). Sin embargo, en los últimos años la pitahaya se ha empezado a cultivar a nivel comercial mejorando el manejo y la selección genética de materiales con cualidades deseables para los productores y consumidores (Ortiz-Hernández *et al.*, 2012).

De acuerdo con datos del SIAP (SIAP, 2023), la superficie sembrada de pitahaya se incrementó de 605.6 ha en 2013 a 2,386.2 ha en el año 2022, con una producción respectiva de 2,342.5 t y 14,895.2 t. La pitahaya se cultiva principalmente en 7 entidades del país; sin embargo, la mayor parte de la producción ocurre en los estados de Yucatán (51.3%), Quintana Roo (41.4%), Puebla (5.5%) y Tabasco (1.2%).

Dado el interés creciente del cultivo de pitahaya, es importante conocer la biodiversidad del fruto en cuanto a su tamaño, color y calidad, lo cual permitirá elegir las mejores estrategias en la selección de genotipos para el mejoramiento genético, así como el adecuado manejo agronómico para aumentar la producción y calidad de los frutos, lo que impactará positivamente en su comercialización. Al respecto, se han realizado estudios de la caracterización morfológica y calidad del fruto de diferentes genotipos pitahaya (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Martínez, 2011; Osuna *et al.*, 2011; Martínez, 2013; Martínez, 2014; Solís, 2014; Osuna-Enciso *et al.*, 2016). Con



respecto al color del fruto, solo tres estudios reportan valores de luminosidad (L), saturación (C*) y tonalidad del color de los frutos (Centurión *et al.*, 2008; Martínez, 2011; Osuna-Enciso *et al.*, 2016).

A pesar de los estudios realizados, es necesario incrementar las investigaciones de caracterización morfológica, color y calidad del fruto de pitahaya, por lo cual este estudio se realizó con el objetivo de caracterizar la morfología, calidad y color de frutos pitahaya (*Hylocereus* spp.) con genotipos de pulpa blanca y roja en tres métodos de polinización, a fin de proporcionar elementos técnicos cuantitativos que permitan mejorar la selección, manejo y calidad de genotipos sobresalientes en los cultivos comerciales.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en frutos de genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) de pulpa blanca (B) y roja (R), en una plantación experimental de polinización, ubicada en el municipio de Tizicatlacoyan, Puebla a 18°43'43.17" LN y 97°56'23.46" LO, elevación de 1677 m, temperatura media anual de 18.9°C, precipitación media anual de 615 mm, clima templado subhúmedo [C(wo)] y suelo litosol, de textura media. El experimento de polinización consistió seis tratamientos (T): polinización libre [T1: B (♀); T2: R (♀)], autopolinización [T3: B (♀) x B (♂); T4: R (♀) x R (♂)] y polinización manual cruzada [T5: B (♀) x R (♂); T6: R (♀) x B (♂)]. El diseño experimental fue completamente al azar con 6 repeticiones por tratamiento. Se seleccionaron seis frutos de 5 tratamientos, debido a que hubo aborto de todos los frutos del tratamiento 4. Los frutos de pitahaya con pulpa blanca corresponden a los tratamientos T1, T3 y T5, mientras que los tratamientos T2 y T6 corresponden a frutos de pulpa roja.

Los frutos de los 5 tratamientos se caracterizaron al momento de la cosecha, la cual fue a los 44 días después de la polinización (agosto-septiembre de 2020), mediante la evaluación de las variables siguientes: diámetro (mm) [D], longitud (mm) [L], peso del fruto (g) [PeF], peso de la cáscara (g) [PeC], peso de la pulpa (g) [PeP], área proyectada del fruto (cm²) [A], volumen del fruto (cm³) [V], índice de redondez [IR], relación de aspecto [RA], color de la cáscara sin brácteas (L* a* b*), color de la pulpa con semillas (L* a* b*), Grados Brix [°Bx] y pH de la pulpa [pH].

El área proyectada del fruto se determinó con la fórmula de la elipse y el volumen con la fórmula del elipsoide. El índice de redondez (IR) y la relación de aspecto (RA) se calcularon mediante las expresiones indicadas por Neal y Russ (2012) y Cervantes *et al.* (2016) (Cuadro 1).



Cuadro 1. Variables calculadas en frutos de pitahaya.

Variable	Formula
Área	$A = \pi.a.b$
Volumen	$V = \frac{4}{3} \pi.a.b.c$
Índice de redondez	$IR = \frac{4 \text{ Área}}{\pi (\text{Eje Mayor})^2}$
Relación de aspecto	$RA = \frac{\text{Eje Mayor (Longitud)}}{\text{Eje Menor (Diámetro)}}$

El color de la cascara y la pulpa con semillas se midió en el sistema de color CIE 1976 L* a* b*, incluyendo el croma (C*) y el tono (h) (ISO, 2019), con un espectrofotómetro Minolta CM-2500d (Konica Minolta). La medición del color en la cascara se realizó en seis puntos evitando las brácteas, mientras que, el color en la pulpa se midió en tres puntos en cada mitad del fruto. Los valores de color L* a* b* se graficaron con el programa de color Spectramagic™ NX (Konica Minolta).

Inmediato a la medición del color de la cáscara, los frutos se pesaron y se cortaron a la mitad a lo largo de su dimensión mayor. Cada mitad se cubrió con plástico autoadherente para medir el color de la pulpa (Figura 1). Después se retiró el plástico y se tomaron muestras de la pulpa en cada mitad en la parte más ancha.



Figura 1. Medición del color de la pulpa de frutos de pitahaya con un espectrofotómetro Minolta CM-2500d.



Aproximadamente 1 gramo de pulpa se colocó en un papel filtro, exprimiéndose para obtener el jugo y medir los grados Brix en un refractómetro portátil con compensación automática de la temperatura (10 – 30°C), previamente calibrado con agua destilada, realizando 4 lecturas.

Diez gramos de pulpa se maceraron en un vaso de precipitado de 250 mL con una varilla de vidrio hasta obtener una mezcla líquida uniforme y después se tomaron 5 mL, colocándolos en un vaso de precipitado de forma alta (5 mL) para medir el pH con un medidor de pH (Conductronic PC40[®]), con calibración previa y en cuatro repeticiones.

Finalmente, la pulpa se separó de la cáscara, pesando después la cáscara. El peso de la pulpa se determinó por diferencia entre el peso del fruto y el peso de la cáscara.

Los valores de cada una de las variables medidas se sometieron a un análisis de varianza de una vía, considerando como tratamientos los métodos de polinización y para determinar la diferencia entre tratamientos se usó del método de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$) (Montgomery, 2017), usando el programa SAS (SAS, 2000).

Resultados y Discusión

Tamaño y forma de los frutos

En el Cuadro 2, se muestran los valores promedio de las dimensiones y forma de los frutos de los tratamientos. La longitud de los frutos presenta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, siendo mayor en los tratamientos T2 y T6, y menor en el T3 (Cuadro 2). Con respecto al diámetro, sólo el tratamiento T3 presentó el menor diámetro y se diferencia significativamente del resto de los tratamientos. La variación global respectiva de la longitud y diámetro de los frutos entre tratamientos fue de 7.83% y 7.70%.

El área proyectada y el volumen son significativamente mayores ($p \leq 0.05$) en los frutos de los tratamientos T2 y T6 que en el resto de los tratamientos (Cuadro 2). Esto se debe a que los frutos de estos tratamientos presentaron la mayor longitud y el mayor diámetro.

El índice de redondez (IR) se usa para describir la desviación de tener una forma circular o esférica de los objetos, donde el valor de 1.0 es para un círculo o esfera (Neal y Russ, 2012). Los frutos de los tratamientos T2 y T6 presentan valores promedio significantes ($p \leq 0.05$) menores del IR que el resto de los tratamientos (Cuadro 2), por lo que se asemejan más a un elipsoide. En contraste, los frutos del



tratamiento T5 exhiben el valor mayor del IR, indicando que los frutos tienden a tener una forma más esférica.

Cuadro 2. Valores promedio y desviación estándar de las dimensiones e índices de forma del fruto de pitahaya.

T	Diámetro (cm)*	Longitud (cm)*	Área (cm ²)*	Volumen (cm ³)*	IR*	RA*
T1	9.32 ± 0.91 a b	12.53 ± 0.89 b	92.21 ± 15.54 b	580.45 ± 156.35 b	0.75 ± 0.03 a	1.35 ± 0.05 b
T2	9.03 ± 0.62 a b	14.03 ± 1.59 a	99.97 ± 18.08 a b	606.92 ± 151.32 a b	0.64 ± 0.03 b	1.55 ± 0.08 a
T3	7.24 ± 0.73 c	9.82 ± 1.08 c	56.14 ± 10.42 d	274.62 ± 75.66 c	0.74 ± 0.06 a	1.36 ± 0.13 b
T5	8.58 ± 0.58 b	10.88 ± 0.44 c	73.42 ± 7.29 c	422.11 ± 70.62 c	0.79 ± 0.04 a	1.27 ± 0.06 b
T6	9.70 ± 0.32 a	15.04 ± 0.67 a	114.65 ± 7.71 a	742.49 ± 71.68 a	0.65 ± 0.03 b	1.55 ± 0.06 a

T = Tratamiento, IR = Índice de redondez, RA = Relación de aspecto, * Valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

La relación de aspecto (RA) es la proporción entre el ancho y altura de un objeto o imagen que indica la desviación de tener una forma cuadrada, la cual tiene el valor de 1.0 para el cuadrado (Neal y Russ, 2012). Asimismo, el valor de la RA está inversamente relacionada con el valor del IR, por lo que los valores bajos de la RA corresponden a valores altos del IR, como se observa para los frutos de los tratamientos T2 y T6, los cuales tienen valores promedio más altos y significantes ($p \leq 0.05$) que para los otros tratamientos (Cuadro 2), lo que sugiere que los frutos son más alargados; en cambio los frutos del tratamiento T5 son más cercanos a un cuadrado porque el valor de la RA es bajo y cercano a 1.0.

Los estudios en México sobre la caracterización del tamaño de los frutos de diferentes genotipos de pitahaya reportan valores promedio de 7.1 a 15.8 cm para la longitud, de 2.6 a 10.2 cm para el diámetro, de 0.3 a 1.0 para el IR y de 1.0 a 3.5 para la RA de los frutos (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Martínez, 2011; Martínez, 2013; Solís, 2014; Osuna-Enciso *et al.*, 2016). Los valores promedio de las dimensiones e índices de forma del fruto de los tratamientos de este estudio son más similares al límite superior de los valores que se reportan en los estudios realizados.

Características del peso

Los frutos del tratamiento T6 son significativamente ($p \leq 0.05$) más pesados que los otros 4 tratamientos (Cuadro 3), con mayor peso de cáscara y pulpa; mientras que los frutos del tratamiento T3



son menos pesados con una mayor proporción significativa de cáscara y pulpa, con respecto a los otros tratamientos. En estos frutos la cáscara representa el 50% de la pulpa.

Cuadro 3. Valores promedio de las características de peso del fruto.

T	Peso (g)		
	Fruto	Cáscara	Pulpa
T1	580.29 ± 150.63 c b [*]	176.95 ± 40.99 a b	403.34 ± 121.78 b
T2	584.00 ± 145.41 c b	146.63 ± 28.34 c b	437.37 ± 117.33 a b
T3	261.57 ± 74.31 d	84.61 ± 17.50 d	176.96 ± 59.61 c
T5	453.51 ± 71.62 c	126.92 ± 11.90 c	326.59 ± 79.85 b
T6	726.41 ± 58.27 a	204.86 ± 23.66 a	521.55 ± 37.95 a

T	Proporción (%)		Relación
	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Cáscara/Pulpa
T1	31.02 ± 4.89 a b	68.98 ± 4.89 a b	0.46 ± 0.10 a b
T2	25.40 ± 1.79 b	74.60 ± 1.79 a	0.34 ± 0.03 b
T3	33.15 ± 5.38 a	66.85 ± 5.38 b	0.50 ± 0.13 a
T5	28.71 ± 6.12 a b	71.29 ± 6.12 a b	0.41 ± 0.12 a b
T6	28.15 ± 1.51 a b	71.85 ± 1.51 a b	0.40 ± 0.03 a b

* Valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

El rango del peso de frutos de los tratamientos fue de 173.08 a 831.60 g, con una proporción variable de cáscara y pulpa de 20.61 a 42.29% y de 57.71 a 79.39%, respectivamente. Estos valores están dentro de lo que se reporta para otros estudios (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Martínez, 2011; Martínez, 2013; Solís, 2014; Osuna-Enciso *et al.*, 2016).

El contenido de grados Brix (°Bx) estima la cantidad de azúcares totales y representa el dulzor de frutas y hortalizas, por lo que se considera como uno de los factores de calidad e índice de maduración de estos productos (López, 2003). Los valores de °Brix varían significativamente ($p \leq 0.05$) entre la pulpa de frutos de los tratamientos, siendo mayor para el tratamiento T2, seguido del tratamiento T6 y menor para el tratamiento T3 (Cuadro 4).



Cuadro 4. Grados Brix y pH de la pulpa.

T	°Brix	pH
T1	16.96 ± 1.90 c [Ⓜ]	4.66 ± 0.17 d [Ⓜ]
T2	20.45 ± 0.71 a	5.29 ± 0.05 b
T3	13.79 ± 2.06 d	5.54 ± 0.12 a
T5	17.16 ± 1.40 c	4.76 ± 0.22 d
T6	18.85 ± 1.69 b	5.14 ± 0.04 c

[Ⓜ] Valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

En la cosecha de los frutos de pitahaya es importante determinar el contenido mínimo de °Brix, dado estos pueden determinar la aceptación en el mercado (Centurión *et al.*, 2008; Ortiz y Takahashi, 2020); por ejemplo, Centurión *et al.* (2008) reportan que los valores entre 11.8 y 13 °Bx son más aceptables para el consumo. Sin embargo, los valores de °Brix es variable para los genotipos de otros estudios, con valores de 10.9 a 17.6 (Castillo-Martínez *et al.*, 2005; Centurión *et al.*, 2008; Juárez *et al.*, 2009; Martínez, 2011; Osuna *et al.*, 2011, Martínez, 2013; Martínez, 2014; Solís, 2014; Osuna-Enciso *et al.*, 2016). En este estudio, los valores de la pulpa de los frutos, de los tratamientos, también variaron entre 10.0 y 21.4°Brix, encontrándose en el rango de los valores reportados, con excepción de tratamiento T2 en el que los valores fueron por arriba del rango superior reportado, lo cual puede deberse a la condición de polinización libre natural.

Los valores de pH de la pulpa de frutos también presentan diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), siendo el valor de pH más alto en el tratamiento T3 y los valores de pH más bajos en los tratamientos T1 y T5 (Cuadro 4). El rango del valor de pH de los tratamientos fue de 4.4 a 5.7, aunque los valores de pH obtenidos en los tratamientos T1 y T5 son menores a los que reporta Martínez (2011), que son de 5.0 a 5.8, para genotipos cultivados en Morelos.

Color de la cáscara de los frutos

En el sistema de color CIEL*a*b*, los símbolos L*a*b* describen la intensidad de color en tres coordenadas cromáticas. El eje cromático a* se extiende desde el color verde (-a*) hasta el color rojo (a*) y el eje cromático b* se extiende desde el color azul (-b*) hasta el color amarillo (b*). El eje de luminosidad (L*) varía de 0 (negro) a 100 (blanco). Adicionalmente, los parámetros de croma o saturación (C*) y de la tonalidad o tono (h) del color se determinan a partir de los valores a* y b*.

Los valores promedio de las diferentes variables de color de la cáscara de los frutos de pitahaya presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 5). Los valores de luminosidad obtenidos varían entre 39.05 y 52.92, siendo los frutos del tratamiento T2 más claros, mientras que los frutos del tratamiento T1 son más oscuros, con valores de luminosidad intermedios para el resto de los tratamientos, con una tendencia clara (Figura 2).

Los resultados de luminosidad obtenidos son mayores a los obtenidos por Martínez (2011), reportando valores de 29.7 a 30.6 para genotipos de pitahaya de cáscara rosa y roja, lo cual indica la cáscara de estos frutos es más oscura. La luminosidad es importante porque permite que las frutas se muestren de forma más atractiva para los consumidores, ya que prefieren frutos de colores fuertes y brillantes (Ortiz y Takahashi, 2015).

Los valores de a^* son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 5). Los frutos del tratamiento T2 exhiben un color más rojizo debido a su valor más alto de a^* , seguido de los frutos de los tratamientos T1, T3 y T6. El color de los frutos del tratamiento T2 es menos rojizo. Asimismo, los valores promedio de b^* fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 5). Los frutos del tratamiento T6 presentan los valores más altos de b^* , mientras que en los frutos de los tratamientos T3 y T5, los valores de b^* son más bajos, mostrando una tendencia hacia el color naranja rojizo (Figura 2).

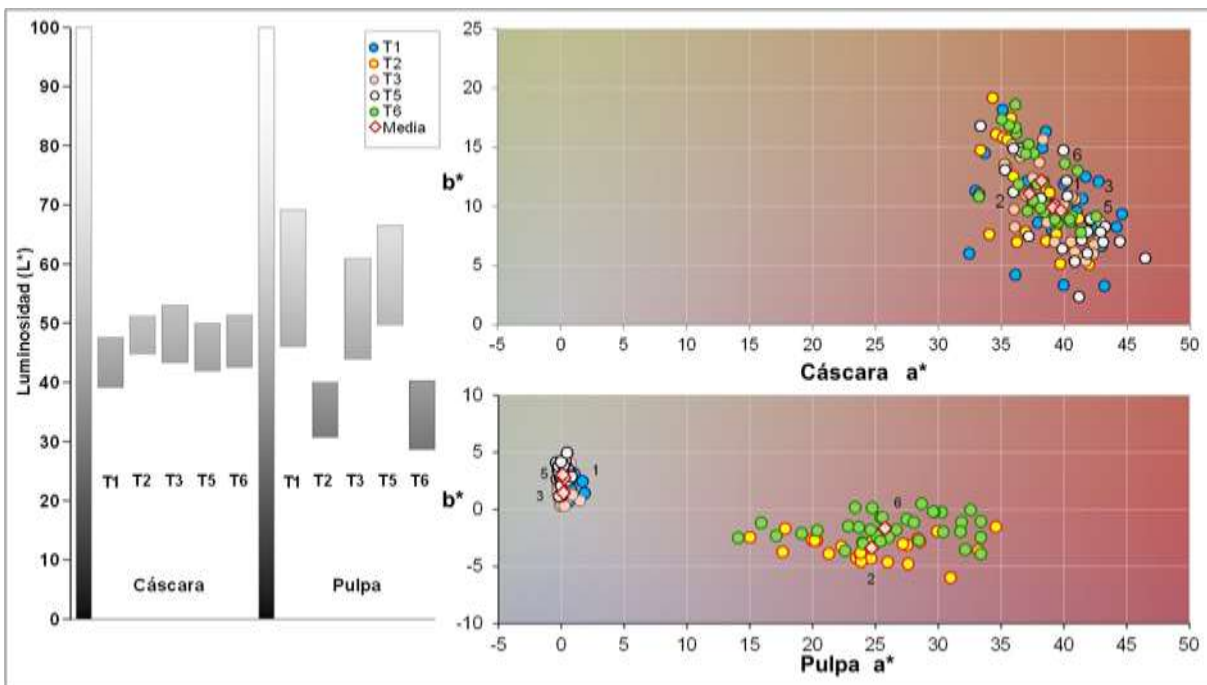


Figura 2. Características de color de la cáscara y pulpa de pitahaya en el sistema CIELab.



Los valores de a^* en este estudio están en el rango reportado por Ortiz y Takahashi (2015), quienes encontraron valores de 31.3, 39.7 y 44.4 para 30, 31 y 32 días después de la antesis (dda), respectivamente; mientras que reportan valores respectivos de b^* de 12.3, 6.2 y 7.6 para los mismos dda. El rango de los valores en b^* son menores a los encontrados en este estudio, ya que, b^* exhibió valores de 2.37 a 22.94, considerando los cinco tratamientos.

La intensidad del color, dado por los valores del croma (C^*), presentó el menor promedio de saturación de color en los frutos del tratamiento T2 y significativamente ($p \leq 0.05$) diferente al resto de los tratamientos (Cuadro 5). Los valores de C^* determinados en este estudio son similares a los encontrados por Ortiz y Takahashi (2015) para 30, 31 y 32 días después de la antesis, con valores respectivos de 34.1, 40.4 y 45.1.

Cuadro 5. Valores promedio de las variables de color de la cáscara.

T	L*	a*	b*	C*	h
1	43.27 ± 1.96 d [*]	39.23 ± 3.16 a b	10.13 ± 3.68 a b	40.70 ± 2.88 a	14.55 ± 5.57 b
2	47.72 ± 1.82 a	37.21 ± 2.46 c	11.08 ± 4.20 a b	39.07 ± 1.81 b	16.66 ± 6.62 a b
3	47.08 ± 2.61 a b	39.09 ± 2.53 a b	9.90 ± 3.42 b	40.49 ± 1.93 a	14.36 ± 5.37 b
5	45.49 ± 1.83 c	39.74 ± 3.46 a	9.65 ± 3.69 b	41.11 ± 2.75 a	13.89 ± 5.99 b
6	46.37 ± 1.99 c b	38.18 ± 2.12 c b	12.17 ± 3.72 a	40.26 ± 1.66 a b	17.70 ± 5.58 a

* Valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

En diferentes genotipos de pitahaya se ha encontrado que el ángulo de color o matiz (h) de la cáscara de los frutos de pitahaya de México varía de 7° a 30° (Martínez, 2011; Osuna-Enciso *et al.*, 2016;) para la cosecha de 29 a 48 dda, aunque Centurión *et al.* (2008) determinaron un ángulo de 51° a los 31 dda. Por su parte, Ortiz y Takahashi (2015), registraron ángulos de 23 y 10° a los 30 y 32 dda en los frutos de genotipos cultivados en Brasil. Ángulos de color similares se encontraron en este estudio, los cuales estuvieron en el rango de 7.0 a 28.6° para los frutos de los cinco tratamientos. El valor promedio de h fue mayor en los frutos del tratamiento T6, con diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en comparación con los frutos de los tratamientos T1, T3 y T5 (Cuadro 5) y sin diferencia para los del tratamiento T2. En general, los valores de h indican que el color de la cáscara de los frutos tiende hacia el rojo (a^*) (Figura 2).



Color de la pulpa de los frutos

El color de la pulpa de los frutos de pitahaya no ha sido reportado por otros estudios para las variables de color evaluadas en este estudio. Al igual que en la cáscara, los valores promedio de las variables de color de la pulpa de los frutos de pitahaya presentan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 6).

La luminosidad (L^*) fue variable con valores de 28.65 a 69.08, observándose diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre la pulpa de los frutos (Cuadro 6) e indicando que la pulpa de los frutos de los tratamientos T1, T3 y T5 son más claros, debido a que presentan valores más altos en luminosidad; mientras que la pulpa de los frutos de los tratamientos T2 y T6 presentan valores más bajos, por lo que es más oscura (Figura 2).

En el eje a^* , los valores de la pulpa de los frutos de los tratamientos fluctuaron entre -0.40 y 34.59, en donde la pulpa los tratamientos T1, T3 y T5 presentan los valores promedio más bajos (Cuadro 6), tendientes al color neutro o blanco y significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) a la de los tratamientos T2 y T6, que exhiben los valores promedio más altos tendientes al rojo (Figura 2).

Cuadro 6. Valores promedio de las variables de color de la pulpa de frutos de pitahaya.

T	L^*	a^*	b^*	C	h
1	57.40 ± 4.33 a*	0.23 ± 0.51 b	2.73 ± 0.66 a	2.80 ± 0.60 b	84.16 ± 13.47 b
2	34.73 ± 2.97 c	24.69 ± 4.95 a	-3.37 ± 1.07 d	24.95 ± 4.94 a	352.01 ± 2.45 a
3	52.07 ± 4.64 b	0.17 ± 0.47 b	1.46 ± 0.98 b	1.55 ± 0.96 b	81.80 ± 20.74 b
5	59.34 ± 4.63 a	0.10 ± 0.30 b	3.03 ± 0.85 a	3.04 ± 0.85 b	88.26 ± 5.75 b
6	34.15 ± 2.78 c	25.76 ± 5.67 a	-1.66 ± 1.13 c	25.84 ± 5.64 a	325.94 ± 99.54 a

* Valores con la misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo con la prueba de Fisher de diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$).

La evaluación de los valores en el eje b^* indican una variación de -5.99 a 4.94 en la pulpa de los frutos de los tratamientos con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores promedios (Cuadro 6). Los valores positivos corresponden a los tratamientos T1, T3 y T5, cercanos al color neutro de b^* y los valores negativos a los tratamientos T2 y T6; más cerca al rojo (a^*) (Figura 2).

El croma (C^*) o intensidad de luz de la pulpa de los frutos de los tratamientos presentó una variación total de 0.35 a 34.62, con diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los valores promedio. Los



promedios de los tratamientos T1, T3 y T5 fueron más bajos con respecto a los valores más altos de los tratamientos T2 y T6, indicando que, en los primeros, el color de la pulpa es menos saturado o intenso y en los otros tratamientos la pulpa presenta un color más saturado o intenso.

El ángulo de color de la pulpa también presenta variaciones de 0.25° a 359.92° en los tratamientos, con los ángulos promedio cercanos al eje $+b^*$ (90°) (Figura 2) en los tratamientos T1, T3 y T5 y significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) a los valores del ángulo promedio de los tratamientos T2 y T6 y más cercanos al valor de 360° , que indican la coloración roja.

Los valores de L^* , C^* y h en la pulpa de los frutos de los tratamientos T1, T3 y T5 confirman el color gris claro, mientras que el color rojizo oscuro corresponde a la pulpa de los frutos de los tratamientos T2 y T6, aunque la variación total de estos valores en el color de la pulpa puede atribuirse a que en la evaluación de las variables de color se incluyeron las semillas.

Conclusiones

El tamaño, peso, morfología, calidad y color de los frutos de pitahaya están influenciados por el método de polinización, obteniéndose frutos grandes, pesados, alargados, con alta cantidad de pulpa y agridulces en la polinización cruzada de genotipos de pulpa roja con genotipos de pulpa blanca [R (♀) x B (♂)].

El color de la cáscara de los frutos de pitahaya en el sistema CIEL $^*a^*b^*$ es variable entre los tratamientos con una tendencia al color rojizo en el eje a^* y mayor variación en el eje b^* tendiente al color naranja rojizo.

En general el color de la pulpa de los frutos de pitahaya en el sistema CIEL $^*a^*b^*$ se distinguen por los valores en los ejes cromáticos. La pulpa blanca presenta luminosidad (L^*) más clara, tendiente a valores neutros en los ejes a^* y b^* , mientras que la pulpa roja presenta luminosidad (L^*) más oscura, con valores variables en el eje a^* tendientes a una mayor intensidad en el color rojo y poca variación en el eje b^* .



Literatura Citada

- Cáliz, D. H. 2004. Distribución geográfica de las pitahayas (*Hylocereus*) en la República Mexicana. *Cactáceas y Suculentas Mexicanas* 49(1):4-23.
- Castillo-Martínez, R., M. Livera-Muñoz y G. J. Márquez-Guzmán. 2005. Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia* 39:183–194.
- Centurión, Y. A. R., S. Solís P., C. Saucedo V., R. Báez S. y E. Sauri D. 2008. Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Rev. Fitotec. Mex.* 31 (1):1 – 5.
- Cervantes E., J. J. Martín and E. Saadaoui. 2016. Updated Methods for Seed Shape Analysis. Review Article. *Scientifica* 2016:5691825.
- García-Rubio, L. A., O. Vargas-Ponce, F. D. J. Ramírez-Mireles, G. Munguía-Lino, C. A. Corona-Oceguera y T. Cruz-Hernández. 2015. Distribución geográfica de *Hylocereus* (Cactaceae) en México. *Bot. Sci.* 93 (4):921-939.
- ISO (International Organization for Standardization). 2019. ISO/CIE 11664-4:2019. Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* colour space. 8 p.
- Juárez, S. I., F. J. Ramírez M. y T. Cruz H. 2009. Caracterización de dos clones de pitahaya roja (*Hylocereus purpusii*) de Jalisco, México. *RChSZA* 8:115-122.
- Legaria S., J. P, M. E. Alvarado C. y R. Gaspar H. 2005. Diversidad genética en pitahaya (*Hylocereus undatus* Haworth. Britton y Rose). *Rev. Fitotec. Mex.* 28 (3):179 – 185.



- López, C. A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del campo al mercado. Boletín de servicios agrícolas de la FAO No. 151. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 185 p.
- Martínez, H. G. 2013. Caracterización morfológica de genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 61 p.
- Martínez, M. C. 2011. Relaciones entre genotipo, productividad y calidad de fruto en pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 66 p.
- Martínez, R. E. R. 2014. Fenología y desarrollo de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw. Britt. & Rose) en la región central de Veracruz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 86 p.
- Montgomery, D. C. 2017. Design and analysis of experiments. Ninth Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ USA. 734 p.
- Neal, F. B. and J. C. Russ. 2012. Measuring shape. CRC Press Taylor. Boca Raton FL U.S.A. 403 p.
- Ortiz, T. A. and L. S. A. Takahashi. 2020. Pitaya fruit quality (*Hylocereus undatus* [Haworth] Britton & Rose) according to physiological maturity. A review. Rev. Colomb. Cienc. Hortic. 14(1):63-75.
- Osuna E. T., M. E. Ibarra Z., M. D. Muy R., J. B. Valdez T., M. Villarreal R. y S. Hernández V. 2011. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. Rev. Fitotec. Mex. 34(1):63-72.



Osuna-Enciso, T., J. B. Valdez-Torres, J. A. Sañudo-Barajas, M. D. Muy-Rangel, S. Hernández-Verdugo, M. Villarreal-Romero *et al.* 2016. Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Agrociencia* 50:61-78.

Ortiz-Hernández, Y.D., M. Livera-Muñoz, J. A. Carrillo-Salazar, A. J. Valencia-Botín and R. Castillo-Martínez. 2012. Agronomical, physiological, and cultural contributions of pitahaya (*Hylocereus* spp.) in Mexico. *Isr. J. Plant Sci.* 60:359–370.

SAS Institute Inc. (SAS). 2000. SAS for windows (Version 9.2 for Windows). Cary, NC. USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Datos abiertos. Estadísticas de Producción Agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_a.php [consultado el 13 de marzo de 2023].

Solís, M. B. 2014. Polinización y amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus sp.*) en la Mixteca Poblana. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 153 p.



EVALUACIÓN AGROINDUSTRIAL DE NUEVOS HÍBRIDOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) EN LA COSTA DE JALISCO

Jeovani Francisco Cervantes Preciado^{65*}, Marcelino Álvarez Cilva⁶⁵, Marianguadalupe Hernández Arenas⁶⁶
y Maurilio Mendoza Mexicano⁶⁷

Resumen

En un suelo franco arcillo - arenoso y en condiciones de riego de auxilio, se estableció un grupo de nueve nuevos híbridos de caña de azúcar en fase agroindustrial. El objetivo fue evaluar y seleccionar su adaptación y comportamiento de campo e industrial, utilizando los testigos comerciales Mex 69-290 y CP 72-2086 como control. Las características evaluadas fueron: altura de planta, población de tallos molederos, estimación del rendimiento de campo a los 13 meses de edad de la planta y el porcentaje de sacarosa en caña. La prueba de Tukey comparó los promedios con un nivel de confianza del 95%. Los resultados obtenidos indicaron que durante el ciclo soca y en condiciones locales del suelo, el híbrido ColMex 05-542 (C1) mostró el mayor rendimiento estimado de campo (139.3 t/ha) y el mayor valor para el azúcar teórico por hectárea (29.59 t), a pesar de que obtuvo valores bajos de porcentaje de sacarosa (Pol) (14.47%). Con respecto al porcentaje de sacarosa, los híbridos ColMex 05-134 (15.7%), ColMex 05-107 (15.7%) y el testigo CP 72-2086 (15.6%) obtuvieron los registros más altos a los 13 meses de edad de la planta, con valores superiores al control comercial Mex 69-290 (13.3%). Una limitación importante en el ensayo fue la poca humedad en el suelo al momento de la plantación, así como, presencia y daño no cuantificado de la enfermedad raya roja en la mayoría de los híbridos evaluados.

Palabras clave: sacarosa, rendimiento, manejo agronómico

⁶⁵ Campo Experimental Tecomán, CIRPAC- INIFAP. Autor de correspondencia: alvarez.marcelino@inifap.gob.mx

⁶⁶ Campo Experimental Zacatepec, CIRPAS- INIFAP.

⁶⁷ Campo Experimental Cotaxtla, Veracruz, CIRGOC-INIFAP.



Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum* spp.) es una gramínea tropical perenne que constituye uno de los cultivos de mayor importancia económica y social, siendo fuente de empleo directo en el campo e industria para la producción de azúcar y en la elaboración de subproductos como el alcohol, piloncillo, alimento para el ganado, entre otros. Además, también es empleada como materia prima para la fabricación de edulcorantes naturales y para la producción de etanol utilizado como biocombustible (Bermúdez *et al.*, 2018). Actualmente es cultivada en más de 130 países, cubriendo una superficie superior a 20 millones de hectáreas en el mundo, con una producción de 1,300 millones de toneladas de caña (CENGICAÑA, 2010). Los países que sobresalen son: Brasil (30% de la producción), India (21%), China (7%), Tailandia (4%), Pakistán (4%), México (3.5%), Colombia (3%), Australia (3%), Estados Unidos de América (2%) e Indonesia (2%) (Sentíes-Herrera y Gómez-Merino, 2014). México ocupa el sexto lugar en producción de caña de azúcar, con un promedio de 54 millones de toneladas, siendo el cultivo agroindustrial más importantes desde el punto de vista económico y social, puesto que se encuentra presente en 15 estados del país, 127 municipios, la mayoría de ellos rurales, en donde más de 2.6 millones de personas trabajan de tiempo parcial y completo en dicha agroindustria (CONADESUCA 2016). Durante la zafra 2021/2022 se cultivó y cosechó una superficie aproximada de 799.7 mil hectáreas, con un promedio de producción en campo de 65.41 t ha⁻¹ y 11.31% en rendimiento de fábrica (CONADESUCA, 2023). El estado de Jalisco es segundo lugar en producción de caña de azúcar del país, participa con más de 74.7 mil hectáreas distribuidas en seis ingenios (José María Morelos, Bellavista, San Francisco Ameca, Tamazula, Tala y Melchor Ocampo) de donde durante la zafra 2021 – 2022, se cosecharon 6,560,714 toneladas de caña de azúcar, con un rendimiento de campo de 87.79 t/ha y 11.66% en rendimiento de fábrica (CONADESUCA, 2023). El ingenio José María Morelos colaboró con 9,656 hectáreas y una producción de 625,371.550 toneladas de caña de azúcar durante el mismo periodo (MAM, 2022). Pese a la relevancia del cultivo desde el ámbito estatal y nacional existe la prioridad de ampliar y/o renovar el número de variedades comerciales (CP 72—2086, Mex 69-290 y Mex 79-431), quienes ocupan el 65% de la producción del país (Figura 1). Actualmente dichas variedades presentan un declinamiento productivo natural, debido a una degradación genética favorecida por el método de multiplicación utilizado tradicionalmente en el cultivo, además, estos híbridos rebasan los 30 años de uso comercial, lo cual ha generado mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, desadaptación a los cambios climáticos y edáficos, incidiendo



en baja productividad y como consecuencia disminución de la rentabilidad del cultivo. En el país, la obtención de nuevas variedades es una de las principales prioridades tecnológicas de los productores e industriales de la caña de azúcar. En este contexto, México cuenta con un programa nacional de mejoramiento genético, que comprende la etapa de hibridación de progenitores, el cual se realiza en la Estación de hibridación en Tapachula, Chiapas, así como un proceso de evaluación y selección de nuevos híbridos, realizados en 10 Campos Experimentales Regionales distribuidos en el país. Cabe mencionar que, la obtención de un nuevo híbrido, el proceso tarda un periodo de entre 14 y 15 años ininterrumpidos de evaluación (Senties *et al.*, 2016). Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar agroindustrialmente y en condiciones de riego de auxilio en el estado de Jalisco, nueve híbridos de caña de azúcar, los cuales fueron comparados con los testigos comerciales Mex 69-290 y CP 72-2086.

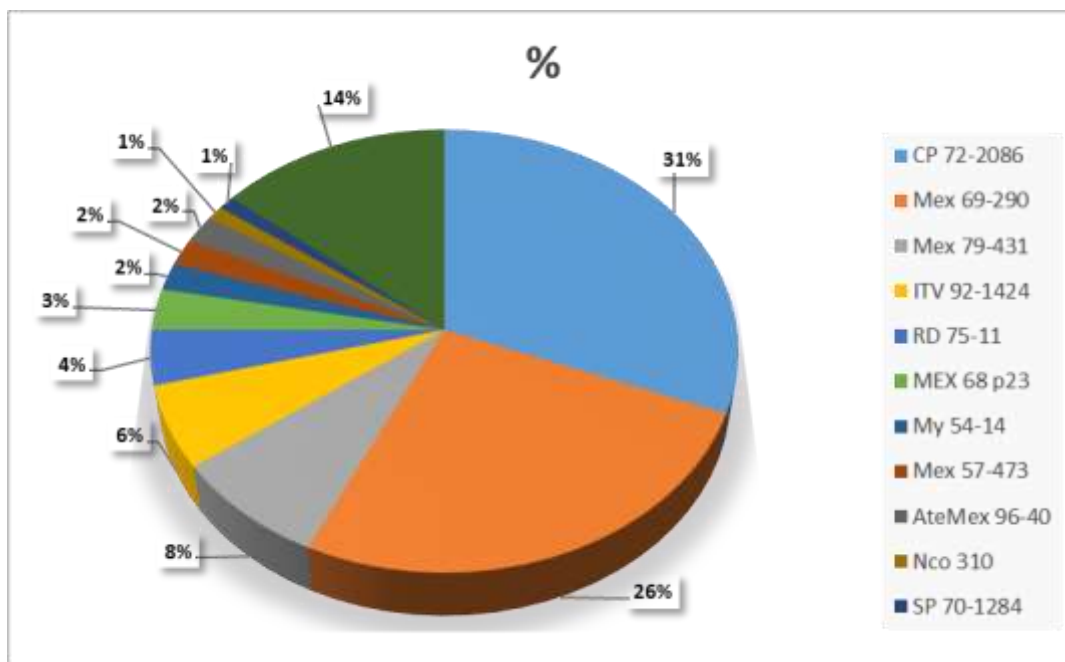


Figura 1. Distribución de variedades de caña de azúcar en México (Manuel Azucarero Mexicano, 2015).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo dentro del Sitio Experimental Costa de Jalisco, el cual se encuentra en la localidad El Salto, del municipio de Casimiro Castillo, dentro del área de abasto del Ingenio José María Morelos. La parcela se ubica a 19°31'7.64" LN y 104°32'20.06" LO a 283 metros sobre el nivel del mar. Las condiciones edafoclimáticas del sitio son: tipo de suelo Franco arcillo - arenoso profundo, con pH 6.3, el clima es trópico subhúmedo, temperatura media anual es de 24°C y precipitación pluvial anual aproximada de 1200 mm, además de haber recibido tres riegos de auxilio.



Figura 2. Localización digital de ensayo de nuevos híbridos de caña de azúcar, en la localidad de El Salto, Jalisco.

La evaluación fue establecida en fase agroindustrial ciclo soca, con un grupo de nueve nuevos híbridos de caña de azúcar, los testigos comerciales fueron las variedades Mex 69-290 y CP 72-2086 (Cuadro 1). Los nuevos híbridos de caña de azúcar proceden de semilla verdadera Fuzz (Generación 2005), así como de algunos Campos Experimentales Regionales (CERs) con los que cuenta el Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA A.C). El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad o parcela experimental fue cinco surcos de siete metros (m) de longitud por 1.40 m de ancho. La parcela útil fue de tres surcos de ocho metros de longitud. Las características evaluadas fueron: altura de planta, diámetro de tallo y población de tallos molederos por hectárea a los 12 meses de edad de la planta, estimación de rendimiento de campo al momento de la



cosecha y % de sacarosa a los 11 y 13 meses de edad de la planta. Para el análisis de datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante un programa estadístico. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Relación de nuevos híbridos de caña de azúcar en evaluación en el Sitio Experimental Costa de Jalisco, dentro del área de abasto del Ingenio José María Morelos.

Híbrido	Origen	Híbrido	Origen
COLMEX 05-134 c2	Fuzz	COLMEX 05-542 c1	Fuzz
COLMEX 05-107 c9	Fuzz	Mex 91 - 117	CER El Mante
COLMEX 05-897 c6	Fuzz	Mex 95 -59	CER El Estribo
COLMEX 05-897 c8	Fuzz	Mex 69-290	Testigo (intermedia)
COLMEX 05-437	Fuzz	CP 72 -2086	Testigo (precoz)
COLMEX 05-89 c1	Fuzz		

Resultados y Discusión

Altura de planta

El Análisis de varianza (ANOVA) para altura de planta en el ensayo en evaluación (Cuadro 2), nos indica que, hubo diferencia altamente significativa para tratamientos (híbridos), pero no, para repeticiones, con valores de 0.0001 y 0.6889 respectivamente. En cuanto al coeficiente de variación, podemos decir que los datos tomados del experimento son muy confiables, ya que arrojo un valor de 4.60%. Cabe mencionar que esta variable por sí sola no representa un criterio sólido para determinar un tratamiento superior, sino que deben tomarse en consideración el resto de las variables agronómicas y por supuesto las industriales (Cervantes *et al.*, 2019).

Cuadro 2. Análisis de varianza de altura de planta a los 12 meses de edad de la caña en Casimiro Castillo, Jalisco.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	Fc	Pr > F
Tratamiento	10	11684.98	11.33	0.0001 **
Repetición	3	73.50	0.49	0.6889 NS
Error	30	148.65		
Total	43			
C.V.	4.60%			

En lo que se refiere a la agrupación de medias para la variable altura de planta, podemos observar en la Figura 3 que, se formaron cuatro grupos (a, b, c y d) destacando a los híbridos Mex 91-117 y ColMex 05-542 con altura de casi los tres metros (292 cm). La diferencia Mínima Significativa (DMS) arrojada por el análisis fue de 29.97 cm, lo que hace que 6 híbridos de caña de azúcar sean estadísticamente iguales al antes mencionado y donde se encuentra el testigo comercial Mex 69-290 con una altura de planta de 279.7 cm. El resto de los híbridos son estadísticamente inferiores, donde se encuentra el testigo comercial CP 72-2086, quien alcanzó una altura de 240 cm.

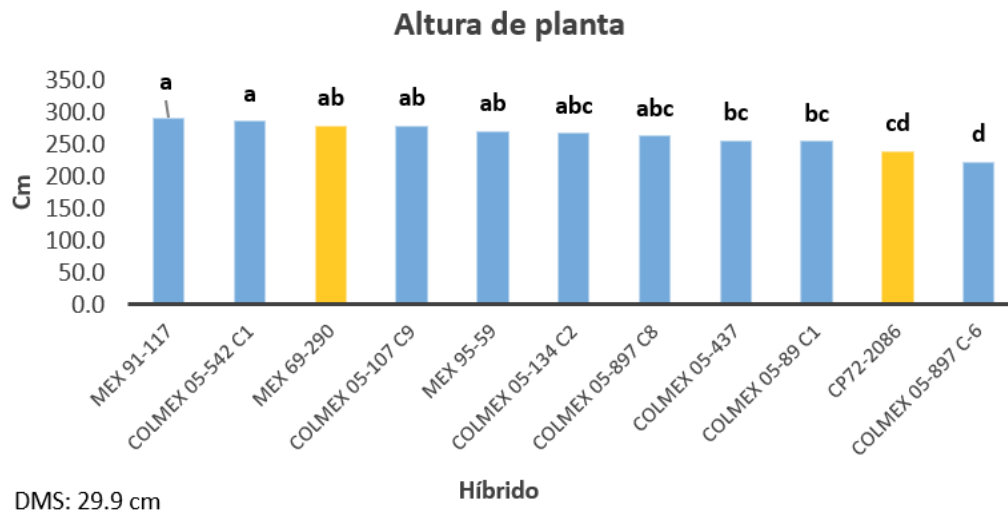


Figura 3. Comparación de medias para altura de planta de caña por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en ensayo de nuevos híbridos de caña de azúcar establecido en Casimiro Castillo, Jalisco.



Diámetro de tallo

El análisis de varianza para la variable diámetro de tallo a los 12 meses de edad de la planta (Cuadro 3), puede observarse que existe diferencia altamente significativa para tratamientos, más no así para repeticiones, con valores de 0.001 y 0.6574 respectivamente. En lo que se refiere al CV, se observa que los datos obtenidos son muy confiables, puesto que se obtuvo un valor de 5.71%. Cabe mencionar que la variable diámetro de tallo durante el desarrollo o crecimiento del cultivo, muestra incrementos pocos pronunciados, es decir, es más una característica particular de cada híbrido.

Cuadro 3. Análisis de varianza de diámetro de tallo a los 12 meses de edad de la planta de caña en Casimiro Castillo, Jalisco.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	Fc	Pr > F
Tratamiento	10	0.28	14.08	0.0001 **
Repeticón	3	0.01	0.54	0.6574 NS
Error	30	0.02		
Total	43			
C.V.	5.71%			

En lo que respecta a la agrupación de medias para la variable diámetro de tallo, podemos observar en la Figura 4 que, se formaron cuatro grupos (a, b, c y d), destacando al híbrido Mex 95-59 con un diámetro de tallo de 3.0 cm, siendo estadísticamente igual a ColMex 05-897 con un valor de 2.66 cm, sin embargo, los híbridos antes mencionados son estadísticamente diferentes al resto de los híbridos en evaluación, donde se encuentran los testigos comerciales CP 72-2086 y Mex 69-290, quienes alcanzaron valores de 2.6 y 2.0 cm, respectivamente.

Diámetro de tallo

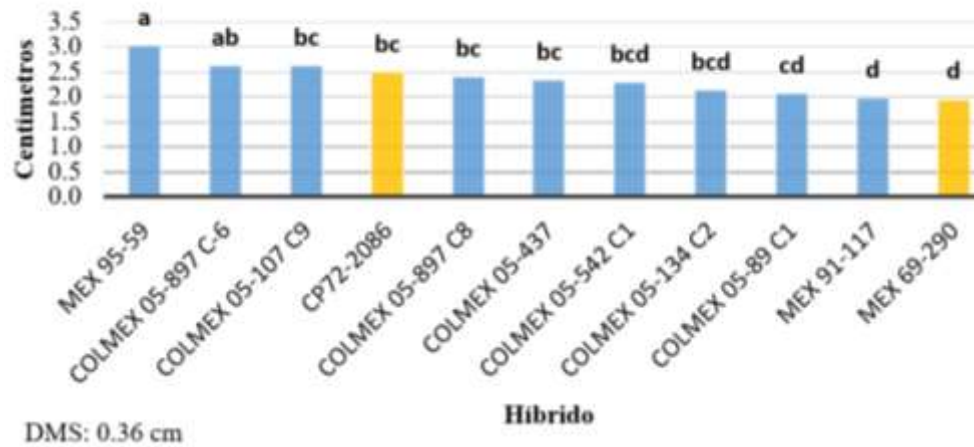


Figura 4. Comparación de medias para diámetro de tallo por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en ensayo de nuevos híbridos de caña de azúcar establecido en Casimiro Castillo, Jalisco.

Estimación de rendimiento de campo

En el rendimiento de campo por hectárea intervienen diferentes factores, entre los que se encuentran el clima, suelo y manejo del cultivo durante el desarrollo (control de arvenses, plagas, enfermedades, etcétera). Para el caso particular del ensayo en evaluación, el ANOVA mostró diferencia significativa para tratamientos en la variable estimación de rendimiento en los híbridos evaluados, mas no así para repeticiones, con valores de 0.0001 y 0.4644 respectivamente. El CV fue de 9.99%, lo cual nos indica que estadísticamente los datos del ensayo son muy confiables (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de altura de planta a los 13 meses de edad de la planta, Casimiro Castillo, Jalisco.

Fuente de variación	G.L.	C.M.	Fc	Pr > F
Tratamiento	10	1339.46	11.10	0.0001 **
Repeticón	3	105.68	0.88	0.4644 NS
Error	30	120.62		
Total	43			
C.V.	9.99%			



La agrupación de medias por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) muestra en la Figura 5 que, se formaron cinco grupos (a - e), destacando para esta variable al híbrido ColMex 05-542 con un valor de 139.3 t/ha, sin embargo, por el valor de la DMS obtenida (27.0 t/ha), los siguientes tres híbridos son estadísticamente iguales. El resto de los 7 híbridos (63.6%) en evaluación son estadísticamente diferentes a los antes mencionados, en donde, se encuentran los testigos comerciales CP 72-2086 y Mex 69-290, con valores de 108.5 y 108.2 t/ha respectivamente, lo que significa un rendimiento de 30.95 t/ha menores a ColMex 05-542 y Mex 95-59.

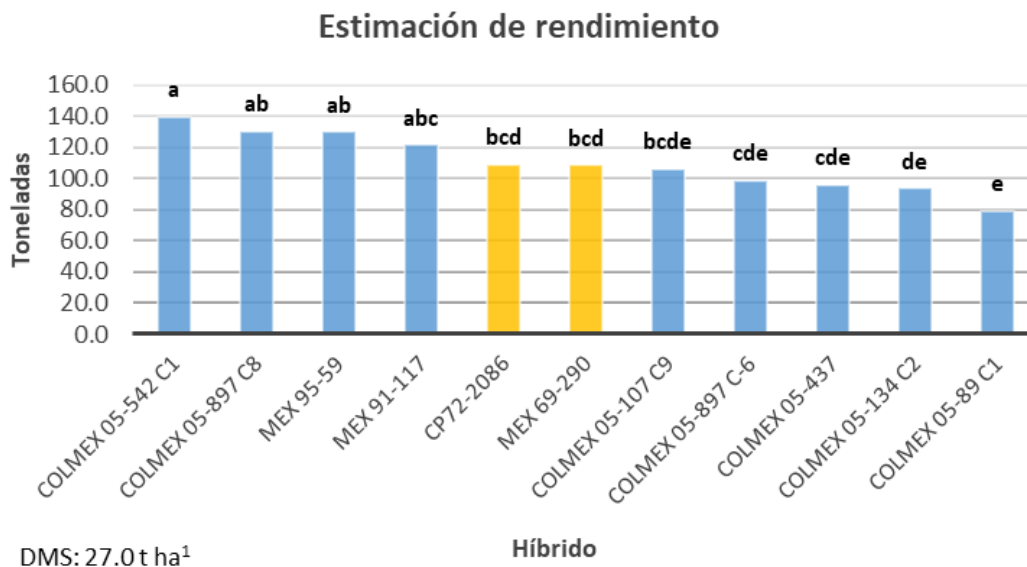


Figura 5. Comparación de medias para estimación de rendimiento por la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en ensayo de nuevos híbridos de caña de azúcar establecido en Casimiro Castillo, Jalisco.

Cabe mencionar que, además de existir diferencia estadística significativa, económicamente existe beneficio para los productores, debido al precio de la tonelada de caña de azúcar en el país (aproximadamente \$1100), es decir, con el híbrido ColMex 05-542, el productor cañero podría llegar a obtener hasta \$34,000.00 más por hectárea con relación a utilizar los testigos comerciales. En este sentido, Cervantes *et al.* (2019), reportaron que, para la obtención de buenos resultados en el rendimiento de campo y fábrica en la evaluación de nuevas variedades, participan un grupo de variables de clima, suelo y manejo de cultivo que tienen una influencia marcada en su comportamiento.



Porcentaje de sacarosa en caña de azúcar

Esta variable impacta directamente al precio de la tonelada de caña de azúcar, es decir, entre mayor sea el porcentaje de sacarosa en caña, mayor será el precio por tonelada de caña. En la Figura 6 podemos observar el comportamiento de los híbridos en evaluación a partir de los 11 a los 13 meses de edad de la planta, donde destaca a los híbridos ColMex 05-134 y ColMex 05-107 con el valor más alto a los 13 meses (15.7%), y que, de acuerdo con su curva de madurez se comportaron como ciclo de madurez intermedio a tardío. Cabe mencionar que, los híbridos antes mencionados, superaron al testigo comercial Mex 69-290, quien obtuvo un valor de 13.3%. Finalmente, se puede observar en la misma figura que, de acuerdo con los análisis de calidad industrial, la mayoría de los híbridos en evaluación se comportaron de ciclo de madurez medio a tardío, a excepción de los híbridos Mex 69-290 (testigo) y ColMex 05-542, quienes su porcentaje de sacarosa descendió en el último muestreo.

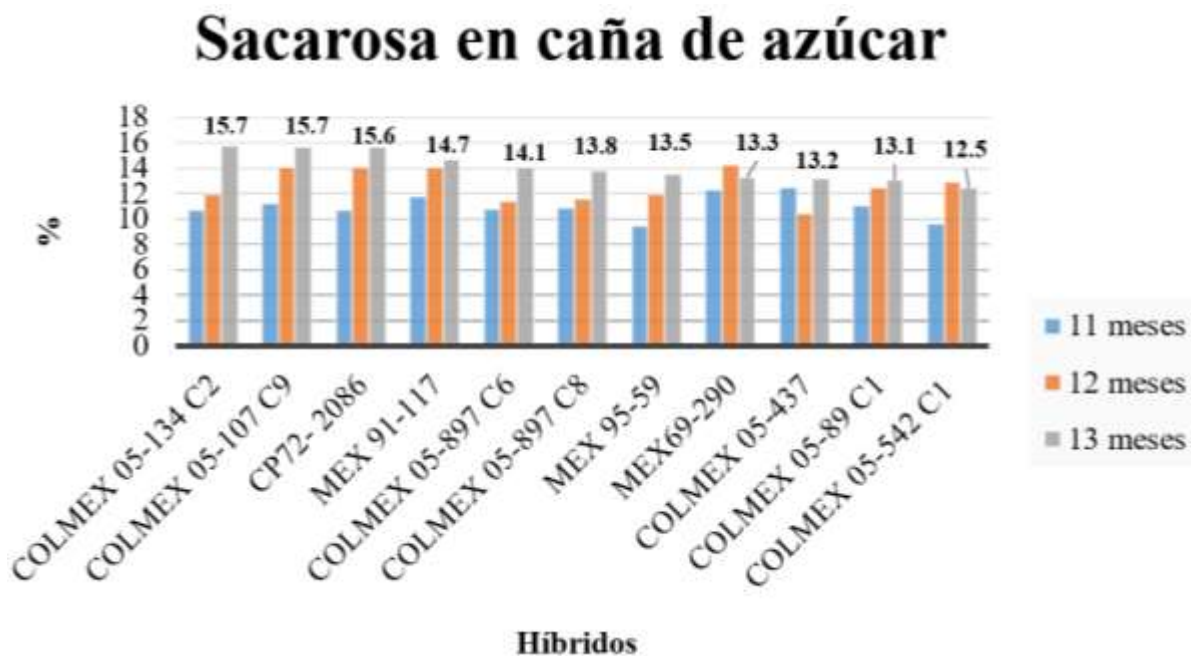


Figura 6. Porcentaje de sacarosa en caña en el ensayo de nuevos híbridos de caña de azúcar establecido en Casimiro, Castillo, Jalisco.



Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos tanto en rendimiento de caña como en porcentaje de sacarosa, los híbridos más sobresalientes que superaron a las variedades comerciales son ColMex 05-542 y Mex 95-59, los cuales se proponen para ser sometidos a prueba semicomercial en diferentes ambientes agroclimáticos.

Literatura Citada

- Bermúdez Guzmán, M. J., J. F., Cervantes Preciado, H. V., Silva Rojas, J. C., García Preciado y M. Orozco Santos. 2018. Enfermedades bacterianas de importancia económica en caña de azúcar en el Occidente de México. Folleto técnico No. 18. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. 31 p
- CENGICAÑA. (2010). Memoria. Presentación de resultados de investigación. Zafra 2009-2010. Guatemala. 442 p.
- Cervantes-Preciado, J.F., N., Milanés-Ramos y M. A., Castillo. 2019. Evaluación de 11 híbridos de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la región central de Veracruz, México. Agroproductividad 12(3):69-74.
- CONADESUCA. 2016. Índices de sustentabilidad para la agroindustria de la caña de azúcar en México. SAGARPA. Folleto de distribución nacional. México.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2023. 9° Informe Estadístico del Sector Agroindustrial de la Caña de Azúcar en México, zafras 2012-20132021-2022.
https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/docext/9no_informe_estadistico.pdf. [consultado el 14 de julio de 2023]



MAM. 2022. Manual Azucarero Mexicano. Sexagésima quinta edición. México. D.F.

Sentíes-Herrera, H. E. y F. C., Gómez-Merino. 2014. Nuevas directrices en mejoramiento genético de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad* 7(2):9-15.

Sentíes-Herrera, H. E., F. C., Gómez-Merino y R. Loyo-Joachín. 2016. El mejoramiento genético de la caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en México: Una historia de éxito con nuevos desafíos. *Agroproductividad* 9:8-13.



CALIDAD FÍSICA Y SENSORIAL DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora* (P) ex Froehner) EN VERACRUZ, MÉXICO

Nancy Nazario Lezama⁶⁸, Aristarco Aguas Atlahua⁶⁸, Eliseo García Pérez⁶⁸, Alejandra Ramírez Hernández^{68*}, Esteban Escamilla Prado⁶⁹, Galdy Zarate Hernández⁶⁸ y Josafhat Salinas Ruíz⁷⁰

Resumen

La importancia de *Coffea canephora* radica en el consumo de la industria para cafés solubles. En México se han realizado investigaciones sobre mejoramiento genético, rendimientos, y resistencia a fitopatógenos. Poco se sabe de sus características físicas y organolépticas, dicha calidad depende de varias variables como; el ambiente donde se desarrollan, el genotipo y su procesamiento, además de factores ambientales (suelo, la altitud, la temperatura, precipitación y la luminosidad). El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad física y sensorial de muestras de granos de *C. canephora* de los municipios de Zongolica y Tezonapa, Veracruz, en función del tipo de beneficio (húmedo y seco) y altitud (82 a 940 msnm). Los resultados permitieron determinar que no existe correlación entre el puntaje en taza y la altitud. Sin embargo, la mayoría de los casos obtuvieron puntuaciones iguales y mayores a 80 puntos. Las muestras Villanueva, Monte Alto, Limonestitla y Clon 4, obtuvieron los puntajes más altos, 83.83, 83.25, 83.17 y 83 respectivamente. Todos ellos procesados mediante el beneficio húmedo, y una altitud de 0 a 350 m y 940 m. La calificación sensorial esta correlacionada ($p < 0.01$) con los atributos fragancia/aroma, gusto, regusto, equilibrio sal/acidez, equilibrio amargo/dulce, sensación en la boca, balance y puntaje de catador. Se encontraron diferencias significativas entre el tipo de beneficio húmedo con valor de F (< 0.05).

Palabra clave: beneficiado, calidad organoléptica, café robusta

⁶⁸ Campus Veracruz, Colegio de Postgraduados. Km. 88.5 Carr. Federal Xalapa-Veracruz, Predio Tepetates. 91674, Mpio. de Manlio F. Altamirano, Veracruz. *Autor de correspondencia: ramirez.alejandra@colpos.mx

⁶⁹ CRUO Universidad Autónoma Chapingo, km 6 Carretera Huatusco-Xalapa, 94100, Huatusco, Veracruz, México.

⁷⁰ Colegio de Postgraduados-Campus Córdoba, Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, Congregación Manuel León, Municipio Amatlán de los Reyes, 94946 Veracruz, México.



Introducción

El café (*Coffea*) se produce en diversas partes del mundo. Las principales variedades comercializadas son *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (mejor conocida como robusta). Ambas se cultivan en distintas condiciones agroecológicas y altitudes, las cuales comprenden desde los 50 hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Pereira *et al.*, 2019; Lemos *et al.*, 2020). *C. arabica* tiende a ser más susceptible a plagas y enfermedades y altas temperaturas. Por el contrario, *C. canephora* Pierre ex A. Froehner es una especie de mayor vigorosidad, productividad y resistente a plagas tales como la roya (*Hemileia vastatrix*), y los nematodos *Meloidogyne* sp. y *Pratylenchus* sp. La cantidad de cafeína en ambas especies también es diferente. Diversos autores han reportado un mayor contenido de cafeína en *C. canephora* con respecto a *C. arabica* (Velásquez *et al.*, 2022). Al mismo tiempo, se ha reportado que la calidad en taza de robusta es baja por lo que ha sido utilizado en la producción de café soluble en su mayoría (Velásquez *et al.*, 2022).

En los últimos años, se ha realizado mejoramiento genético en ambas especies, con el objetivo de incrementar tanto el rendimiento como la resistencia a plagas y enfermedades. Particularmente, en la década de los años 70 se introdujeron clones de robusta en México denominados ROMEX (Romex 36, 48 y 51) (Zamarripa y Escamilla, 2021). Dichos clones fueron primeramente introducidos en el municipio de Tezonapa, Veracruz. ROMEX 51 se propagó y diseminó en dicho municipio con mayor aceptación entre los primeros productores, debido a sus características (tamaño de fruto, mayor producción y porte de la planta). Posteriormente, se introdujo en otras zonas cafetaleras tal como es el caso de Zongolica, Veracruz.

A pesar de la importancia de estos, poco se sabe de su calidad de taza la cual es evaluada por catadores profesionales quienes emiten un puntaje. Dicho puntaje puede ser certificado por la Specialty Coffee Association of America (SCAA), entre otras instituciones. En el caso de la SCAA, si la evaluación es mayor a 80 puntos, el café se clasifica como “café de especialidad”. Los catadores evalúan diversos atributos sensoriales tales como: aroma/fragancia, sabor, regusto, sabor residual, acidez, cuerpo, dulzura y equilibrio.

Diversos autores han relacionado la calidad física y química del café con la interacción de factores ambientales (suelo, la altitud, la temperatura, precipitación y la luminosidad), agronómicas (genotipo y prácticas de manejo) y de procesamiento (Pereira *et al.*, 2019; Lemos *et al.*, 2020; Thomazini *et al.*, 2011; Guambi *et al.*, 2018). Algunos estudios han mostrado que dicha interacción no tiene los mismos



impactos en *C. arabica* y *C. canephora*. Por ejemplo, *C. canephora* posee mayores cantidades de sacarosa en altitudes superiores a los 1200 m, lo que se ha asociado con un regusto a caramelo (Guambi *et al.*, 2018). Sin embargo, cuando se cultiva a una altitud de 300 m, las notas sensoriales son menores asociándose su sabor a notas de madera y hierbas (Pinheiro *et al.*, 2019; Velásquez *et al.*, 2022). Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad física y sensorial de muestras de granos de *C. canephora* de los municipios de Zongolica y Tezonapa, Veracruz en función de su procesamiento y altitud de siembra. Dicha información contribuirá a los productores a tomar decisiones de aquellos fenotipos sobresalientes en características físicas y químicas, además de los eventuales escenarios del cambio climático, es importante ubicar aquellos fenotipos adaptados a las diferentes condiciones agroecológicas de Veracruz.

Materiales y Métodos

Área de estudio y material evaluado

Este estudio se realizó en los municipios de Zongolica y Tezonapa, Veracruz, México. Se seleccionaron 14 fincas completamente al azar, ubicadas a entre los paralelos 18° 32' y 18° 45' N y meridianos 96° 50' y 96° 55' W, altitud desde 82 a 1500 m y temperatura de 14 a 26°C. Como criterio principal se seleccionaron poblaciones con más de 20 años de antigüedad y propagadas vía semilla. Se eligieron 14 árboles elite que al menos produjeran 25 kg de café cereza, la cual se identificó previo a la cosecha de frutos. Las muestras se tomaron a diferentes gradientes altitudinales, seis se ubicaron en el primer gradiente de 0-350 m, cuatro muestras en el segundo de 351-700 m y cuatro más en el tercer gradiente de más de 700 msnm. Además, se aplicó un cuestionario para saber las características de las fincas y del productor.

Datos de producción y preparación de las muestras

Durante el periodo de enero-abril del ciclo 2019-2020 se llevó a cabo la colecta de frutos. A mitad de cosecha se obtuvieron de forma manual 12 kg de cereza/planta en su óptimo madurez (Marín *et al.*, 2003), 6 kg se utilizaron para beneficio natural y 6 kg para el beneficio húmedo. Con la ayuda de una báscula digital (VINSON) modelo VINS-5, se pesaron dos submuestras de 200 g y se contaron los granos totales, los dañados por la broca del cafeto y en un recipiente con agua se contabilizaron los granos vanos o vacíos. El beneficio se realizó por dos vías, a través beneficio natural o bola y el



segundo fue por beneficiado húmedo. En el caso del beneficio húmedo se utilizó una despulpadora de discos manual. Luego se procedió a la fermentación por 24 horas. Posteriormente el secado se hizo por exposición al sol hasta llegar a una humedad máxima del 12%, que fue determinada con un higrómetro marca (OHAUS) modelo (MC 2000). Se obtuvieron muestras de 2-3 kg de café para su análisis físico y sensorial. La evaluación se realizó en el Laboratorio del Instituto Nacional de Ecología (INECOL).

Análisis físico

En cada muestra se determinó la humedad, densidad, bajo Z15, deformidad, manchados y brocado. Estos defectos se evaluaron bajo los parámetros descritos en la norma establecida por la SCAA (2015).

Análisis sensorial

El grano de café oro de robusta se llevó a una humedad de 12%, para conservar sus características intrínsecas del fruto. Las determinaciones físicas de calidad del grano y taza se realizaron en el Laboratorio de CAFECOL, en el Instituto Nacional de Ecología A.C. (INECOL). El grano se molió mecánicamente a un tamaño de partícula de 20 mesh (1 mm) en un molino Thomas Wiley Laboratory Mil. Los polvos de café verde y procesado se almacenaron a una temperatura de -20°C . Extracción de los compuestos fenólicos. Se pesaron 0.2 g de muestra (café verde y procesado) y fueron homogenizados con 20 mL de agua a 75°C . Posteriormente, el homogenizado se sometió a movimientos ultrasónicos (Sonicador Branson) por 30 min y centrifugado a 17,900 g (IEC L31 Thermo electrón) a temperatura ambiente por 15 min. La extracción acuosa se repitió dos veces para asegurar la máxima extracción de los compuestos. Los sobrenadantes se mezclaron y filtraron en papel Whatman No. 2. Por un grupo de tres catadores especializados en café con varios años de experiencia, se realizó el análisis sensorial bajo los parámetros descritos en la norma establecida por la SCAA (2015). Los catadores calificaron los parámetros sensoriales: fragancia/aroma, gusto, regusto, Equilibrio/salado/acidez, Equilibrio/amargo/dulce, uniformidad, Sensación en la boca/ Equilibrio y limpieza y el puntaje del catador. Cada atributo se calificó a una escala de 0 a 10. Se realizó un análisis de estadística descriptiva, análisis de los atributos con énfasis en las medias. Se utilizó el programa Statistic versión 8, para el análisis estadístico.



Resultados y Discusión

Características de las fincas de café robusta

De los productores entrevistados, más del 50% son mayores de 50 años (51-92 años) y hablan náhuatl (64-7%). El 59% se dedica a la agricultura, aunque, también realizan otras actividades complementarias, como el comercio, trabajo asalariado y obrero. Las principales formas de tenencia de la tierra son, la ejidal (35.29%) y la pequeña propiedad (29.4%). El 58.82% de los cafetales evaluados se caracteriza por ser minifundios, es decir de 0.5 a 4 ha, mientras que, el 48.18% restante es superior a 5 ha. La edad de las plantaciones se encuentra en un rango de 21 a 30 años y el 29.41% tiene plantaciones de más de 30 años. En la zona prevalece el cultivo de café bajo el sistema denominado policultivo tradicional con el 81.25% y solo el 18.75% es del cultivo comercial. El sistema denominado policultivo tradicional se caracteriza por la combinación de café con árboles frutales, maderables y de múltiples propósitos.

Evaluación física de granos de café robusta

El promedio de humedad (Cuadro 1), tanto de beneficio húmedo como beneficio natural, fue entre 11 al 14%, lo cual es cercano al valor recomendado (10% al 12%).

Cuadro 1. Beneficio Húmedo (BH), Beneficio Natural (BN), Humedad (%), densidad (D), Bajo Z15, deformidad (D), manchados (M), brocados (B) de granos de *C. canephora* de Zongolica y Tezonapa Veracruz.

Altitud (msnm)	Localidad	Beneficiado Natural						Beneficiado Húmedo					
		H (%)	D (g/L)	Bajo Z15	D (%)	M (g)	Bs (%)	H (%)	D (g/L)	Bajo Z15	D (%)	M (g)	Bs (%)
82	Monte Alto	14	727	9	25	6.2	5	14	722	8	12	12.4	2
83	Chicomapa	14	750	78	4	1.5	0	14	750	117	2	1.5	0
96	Limonestitla	14	700	3	7	13.7	6	14	709	3	3	11	2
257	Paraíso La Reforma	14	732	16	14	2	0.6	14	742	12	7	9.2	1
261	Dos caminos HP	14	740	8	29	19.8	19	14	731	8	9	30	16
310	Clon 1	14	718	25	50	14.1	12	13	720	22	34	12.3	5
310	Clon 2	13	718	23	51	12.1	11	13	727	28	42	10.6	6
310	Clon 3	13	727	30	43	18.6	18	14	731	32	33	20.7	7
310	Clon 4	14	731	26	42	17.8	16	13	718	31	41	6.7	4



Altitud (msnm)	Localidad	Beneficiado Natural						Beneficiado Húmedo					
		H (%)	D (g/L)	Bajo Z15	D (%)	M (g)	Bs (%)	H (%)	D (g/L)	Bajo Z15	D (%)	M (g)	Bs (%)
376	Vista Hermosa	13	718	14	18	9.2	8	13	706	19	4	23	3
443	Dos Caminos JM	14	750	1.5	22	18.4	14	13	740	1.3	16	14.2	10
441	Huaxtecalt	14	731	6	12	29.3	28	13	731	5	16	29	26
496	El Porvenir	13	750	17	13	8.2	5	14	745	13	10	14.2	5
705	La Palma	13	722	2	0	11.4	8	14	718	3	43	9.2	2
727	Tepenacaxtla	12	740	7	46	3.7	3	13	745	1.5	40	9.3	5
925	El Aguaje	11	718	47	17	5.3	4	13	722	35	23	13.3	7
940	Villa Nueva	12	750	2	23	12.1	10	13	731	5	49	10.4	2
	Promedio	13	730.3	18.5	24	12	9.9	13	728.7	20.2	23	13.9	6.1
	DE	0.9	14.5	19.7	16	7.4	7.4	0.4	12.8	27.5	16	7.6	6.4
	CV	0.1	0.02	1.1	0.7	0.6	0.8	0	0.02	1.4	0.7	0.6	1.1

La densidad de los granos beneficiados por la vía seca fue de 718 a 750 g/L y de 718 a 745 g/L para el beneficiado húmedo. Todas las muestras se caracterizaron como de alta densidad (Zambrano *et al.*, 2018).

El factor de rendimiento en trilla se evaluó a través del Bajo Z15 debido a que el grano de café robusta es más chico que el arábigo, notándose que, en el caso del beneficiado húmedo, el rendimiento fue mayor (20%). Este factor indica la cantidad de café necesaria para obtener un 70% de café excelso. En cuanto a los defectos físicos, los porcentajes más altos se encontraron en las muestras de las localidades Vicente Guerrero y Villa Nueva, las cuales se encuentran a una altitud de 310 y 940, respectivamente. El promedio de frutos vanos en café cereza fue de 7%, el de frutos caracolillos fue de 22.5% y el de frutos brocados fue de 5%. En lo que respecta a los frutos brocados, el porcentaje más alto se encontró en la localidad de Huaxtecatl. El tamaño del grano varió entre 7.92 y 10.66 mm, observándose que el 82% de las muestras se encontraban entre los 8-9 mm y dos muestras mostraron valores por arriba de 10 mm (Cuadro 2). Ya que la industria emplea granos superiores a 7 mm, más del 90% de las muestras cumplían con este requerimiento (Jiménez y Soto 1995; Zambrano *et al.*, 2018). Esto podría tener una relación directa en el rendimiento del grano, sin embargo, otros factores tales como el genotipo y ambiente también juegan un papel importante en este indicador.



Evaluación organoléptica de granos de café robusta

Veintidós individuos mostraron calificaciones iguales y mayores a 80 puntos (Cuadro 3), de acuerdo con la SCAA, por lo que, se consideran cafés diferenciados. Las muestras de Villa Nueva, Limonestitla, Clon 4 y Monte Alto obtuvieron los puntajes totales más altos. Asimismo, estas muestras tuvieron valores cercanos, iguales y/o superiores a 8 en todas las características organolépticas.

El análisis de correlación entre las variables organolépticas indica que existe correlaciones altas ($r > 0.8$) y significativas ($p < 0.01$) (Cuadro 4), particularmente para el gusto y el regusto. Lo anterior demuestra que existe similitud entre las evaluaciones de calidad por parte de los evaluadores y valida, a su vez, las puntuaciones acordadas por estos.

Cuadro 2. Características de los granos de café de robusta de localidades de Tezonapa y Zongolica Veracruz.

Localidad	Altitud (msnm)	Características de los granos		
		Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Grosor (mm)
Monte Alto Tez.	82	8.75±0.73*	6.82±0.46	4.64±0.33
Chicomapa Uno Zon.	83	8.76±0.73	6.82±0.46	6.64±0.33
Limonestitla Tez.	96	9.62±0.90	7.38±0.59	4.91±0.47
Paraíso la Reforma Tez.	257	9.53±0.76	7.03±0.63	4.64±0.38
Dos Caminos 1 Zon.	261	9.04±0.62	6.34±0.51	4.18±0.51
Clon 1*	310	8.86±0.56	6.58±0.25	4.19±0.91
Clon 2	310	8.56±0.43	6.55±0.36	4.22±0.37
Clon 3	310	8.63±0.66	6.71±0.40	4.31±0.19
Clon 4	310	8.47±0.52	6.58±0.27	4.30±0.22
Vista Hermosa Zon.	376	7.92±0.59	6.82±0.89	4.29±0.27
Dos Caminos 2 Zon.	443	8.99±0.61	6.81±0.31	4.27±0.17
Huastecalt Tez.	441	9.73±0.77	7.03±0.36	4.59±0.52
El porvenir Tez.	496	9.23±0.84	7.34±0.43	4.58±0.27
La Palma Zon.	705	9.40±0.68	7.05±0.45	4.51±0.16
Tepenacaxtla Zon.	727	10.66±0.84	7.05±1.19	4.43±0.22
El Aguaje Tez.	925	10.08±0.37	7.16±0.54	4.63±0.23
Villa Nueva Tez.	940	9.13±0.49	6.47±0.35	4.21±0.34

Clon 1, 2, 3 y 4 corresponden a la Localidad de Vicente Guerrero.



No se encontraron diferencias entre la calidad y la altitud por lo que los promedios de las variables organolépticas resultaron ser estadísticamente iguales en los tres gradientes altitudinales (Cuadro 5).

Las muestras con los puntajes más altos se encontraron en el primer gradiente de 0-350 msnm y fueron procesados por beneficio húmedo. Esto lleva a suponer que el proceso de beneficio tiene mayor relevancia que la altitud en la calidad de taza. En este sentido, Thomazini *et al.* (2011), encontraron que no existe diferencias significativas en la calidad organoléptica tanto de café tradicionales como clones a una altitud de 310 msnm. En otro estudio sobre *C. canephora* se notó que, esta variedad posee mayores cantidades de sacarosa en altitudes superiores a los 1000 m, lo que se ha asoció, a su vez, con un regusto a caramelo (Guambi *et al.*, 2018). Sin embargo, cuando se cultiva a una altitud de 300 m, las notas sensoriales son menores, asociándose su sabor a notas de madera y hierbas (Pinheiro *et al.*, 2019; Velásquez *et al.*, 2022).

Cuadro 3. Tipo de beneficio y características organolépticas de granos de café robusta en Tezonapa y Zongolica Veracruz, ciclo 2019-2020. Clon 1, 2,3, y 4 corresponden a la localidad de Vicente Guerrero.

Población	Tipo de proceso	Fra/Ar	Gus	Reg	Eq/ac	Eq/Dc	Sen/bo	Eq	Lim	Pun/ca	Pun/Ta
Villanueva	BH	8.00	8.08	7.75	7.83	7.92	8.08	7.83	10.00	8.33	83.83
	BS	7.75	7.08	6.67	6.92	6.92	7.00	6.83	10.00	6.83	76.00
El Aguaje	BH	7.08	7.08	6.75	7.25	6.92	7.00	7.00	10.00	7.00	76.08
	BS	7.50	7.33	7.17	7.42	7.33	7.08	7.17	10.00	7.25	78.25
Tepenacaxtla	BH	8.00	7.58	7.33	7.58	7.58	7.50	7.50	10.00	7.75	80.83
	BS	7.67	7.75	7.42	7.67	7.67	7.25	7.50	10.00	7.78	80.50
La palma	BH	7.42	7.67	7.25	7.58	7.42	7.42	7.33	10.00	7.33	79.42
	BS	7.58	7.42	7.17	7.42	7.42	7.58	7.42	10.00	7.50	79.50
El Porvenir	BH	8.08	8.00	7.83	7.75	7.67	7.75	7.67	10.00	8.08	82.83
	BS	7.33	6.75	6.67	6.67	6.50	6.83	6.83	10.00	6.67	74.25
DosCaminos1	BH	7.25	6.92	6.67	7.08	6.58	6.83	6.67	10.00	6.67	74.67
	BS	7.58	7.33	7.00	7.25	7.25	7.33	7.17	10.00	6.67	78.00
Huaxtecatl	BH	7.75	7.83	7.67	7.75	7.75	7.75	7.67	10.00	7.83	82.00
	BS	7.67	7.00	6.92	7.00	7.00	7.08	6.75	3.33	6.75	69.50
Vistahermosa	BS	7.92	7.92	7.67	7.83	7.75	7.92	7.75	10.00	7.92	82.67
	BH	7.75	7.83	7.58	7.75	7.50	7.67	7.67	10.00	7.75	81.50
Clon 1*	BH	7.92	7.75	7.42	7.83	7.58	7.83	7.92	10.00	8.08	82.33



Población	Tipo de proceso	Fra/Ar	Gus	Reg	Eq/ac	Eq/Dc	Sen/bo	Eq	Lim	Pun/ca	Pun/Ta
Clon 2	BS	7.92	7.75	7.58	7.75	7.58	7.58	7.58	10.00	7.67	81.42
	BH	7.75	7.67	7.33	7.67	7.58	7.58	7.50	10.00	7.58	80.67
	BS	8.08	7.75	7.67	7.83	7.92	7.83	7.67	10.00	7.83	82.58
Clon 3	BH	7.92	7.75	7.50	7.75	7.67	7.58	7.50	10.00	7.50	81.17
	BS	7.92	7.83	7.42	7.75	7.75	7.50	7.50	10.00	7.58	81.25
Clon 4	BH	8.08	7.83	7.67	7.83	8.00	7.83	7.83	10.00	7.92	83.00
	BS	7.83	8.00	7.75	7.83	7.75	7.75	7.58	10.00	8.00	82.50
DosCaminos2	BH	7.58	7.58	7.33	7.75	7.75	7.58	7.25	10.00	7.50	80.33
	BS	7.33	6.50	6.33	6.50	6.33	6.33	6.33	0.00	6.33	62.00
Paraíso	BH	7.83	7.92	7.67	7.83	7.75	7.75	7.67	10.00	7.92	82.33
Limonestitla	BS	8.00	8.08	7.75	7.75	7.83	7.83	7.83	10.00	8.08	83.17
	BH	7.58	7.58	7.25	7.67	7.67	7.58	7.25	10.00	7.50	80.08
Chicomapa	BS	7.42	7.33	6.83	7.17	7.17	7.42	7.17	10.00	7.00	77.50
	BH	7.67	7.67	7.50	7.75	7.92	7.83	7.75	10.00	7.75	81.83
Monte Alto	BS	7.00	6.42	6.42	6.50	6.33	7.25	6.67	0.00	6.58	63.17
	BH	7.58	7.50	7.33	7.58	7.42	7.42	7.42	10.00	7.50	79.75
	BS	8.17	8.00	7.67	7.83	7.92	7.83	7.92	10.00	7.92	83.25

Cuadro 4. Correlación entre las variables organolépticas de 13 individuos de café robusta de Tezonapa y Zongolica, Veracruz.

	F/A	Gus	Reg	Eq/sal/aci	Eq/Am/Dul	SB	Equi	Lim	PC	PT
F/A	1									
Gus	0.81626	1.00000								
Reg	0.83212	0.96733	1.00000							
Eq/sal/ac	0.75019	0.96089	0.94624	1.00000						
Eq/Am/Dul	0.80726	0.94965	0.93991	0.96034	1.00000					
SB	0.72200	0.86950	0.88333	0.85732	0.88185	1.00000				
Equi	0.79574	0.93859	0.93826	0.92339	0.92225	0.92405	1.00000			
Lim	0.43718	0.67339	0.58376	0.68807	0.62826	0.50540	0.62776	1.00000		
PC	0.79187	0.93721	0.94925	0.92067	0.90781	0.89200	0.95095	0.56447	1.00000	
PT	0.73356	0.93223	0.88800	0.93075	0.90401	0.81652	0.90567	0.88000	0.86909	1.00000

F/A: Fragancia/aroma, Gus: gusto, Reg: regusto, Eq/sal/ac: Equilibrio/sal/acidez, Eq/Am/Dul: Equilibrio/Amargor/Dulce, SB: Sensación en la boca, Equi: Equilibrio, Lim: Limpieza, PC: Puntaje del catador, PT: Puntaje total.



Cuadro 5. Comparación de medias, del beneficiado, altitud y variables organolépticas de individuos de Tezonapa y Zongolica Veracruz.

Variables	Interacciones	Promedio	Error Estándar	Valor de F	Diferencias*
Fragancia*aroma	Gradiente	7.75	0.07543	0.3414	a
	Beneficiado	7.66	0.09058	0.6397	a
	Gradiente*ben	7.63	0.1049	0.9909	a
Gusto	Gradiente	7.577	0.0557	0.3759	a
	Beneficiado	7.4135	0.08111	0.0307	b
	Gradiente*ben	7.5156	0.1132	0.7045	a
Regusto	Gradiente	7.3415	0.05418	0.3835	a
	Beneficiado	7.2147	0.07804	0.0344	b
	Gradiente*ben	7.1955	0.1085	0.8124	a
Eq*Sal*Aci	Gradiente	7.5657	0.04499	0.1507	a
	Beneficiado	7.3683	0.06536	0.0035	b
	Gradiente*ben	7.4667	0.09708	0.8914	a
Eq*Ama*Dul	Gradiente	7.5287	0.05227	0.0631	b
	Beneficiado	7.2433	0.07598	0.0566	a
	Gradiente*ben	7.4111	0.1148	0.8504	a
SBc	Gradiente	7.5668	0.05684	0.0884	a
	Beneficiado	7.4035	0.07972	0.014	b
	Gradiente*ben	7.3268	0.1032	0.5454	a
Eq	Gradiente	7.4587	0.06309	0.2281	a
	Beneficiado	7.284	0.08776	0.0298	b
	Gradiente*ben	7.3098	0.1123	0.9607	a
Lim	Gradiente	8.8387	0.3388	0.2465	a
	Beneficiado	9.243	0.4788	0.0398	b
	Gradiente*ben	10.0502	0.6042	0.284	a
PCr	Gradiente	7.5535	0.06587	0.2248	a
	Beneficiado	7.3297	0.09434	0.0047	b
	Gradiente*ben	7.4742	0.1271	0.7583	a
PT	Gradiente	78.8362	0.5378	0.3074	a
	Beneficiado	77.5135	0.7826	0.0132	b
	Gradiente*ben	79.7657	1.1964	0.8291	a

*Letras diferentes en una columna significa que son estadísticamente diferentes con un error 0.05.



Conclusiones

Los puntajes más altos fueron en las muestras de Villa Nueva con una calificación sensorial de con 83.33 puntos por beneficiado húmedo, Limonestitla con 83.17 beneficiado húmedo, Clon 4 con 83.00 puntos por beneficiado húmedo y Monte Alto con 83.25 puntos por beneficiado Natural. La calificación sensorial esta correlacionada significativamente ($p < 0.01$) con los atributos fragancia/aroma, gusto, regusto, equilibrio sal/acidez, equilibrio amargo/dulce, sensación en la boca, balance y puntaje de catador. Los mayores puntajes se dieron en el beneficiado húmedo. No se encontraron diferencia significativa entre variable altitud y calidad de taza, lo que sugiere que la calidad de taza en las localidades estudiades es similar siempre y cuando sean tratdas por el mismo tipo de beneficio. De acuerdo con los análisis, de las muestras de las localidades estudiadas, el 78% son de buena calidad y deben considerarse cafés finos para el mercado nacional como internacional.

Literatura Citada

- Escamilla, P. E. 2016. Las variedades de café en México ante el desafío de la roya. En: Breves de Políticas Públicas. Boletín Informativo. Programa mexicano del carbono. Proyecto Una REDD para Salvar la Sombra-de la Sierra Madre de Chiapas. http://pmcarbono.org/pmc/descargas/proyectos/redd/Breves_de_Policas_Publicas_No.4-Varietades_de_cafe_en_Mexico.pdf Organización Internacional del Café. (2022). Informe del mercado del café. <http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>. [consultado el 14 de julio de 2023]
- Guambi, L. A. D., J. Moreano A., D. S. Talledo F. y S. D. R. Cedeño V. 2018. Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la Amazonía del Ecuador. Rev. Ibero. Tecnol. Postcosecha 19(2).
- Jiménez, R. y C. Soto. 1995. Secuencia de operaciones en la preparación de café oro y su influencia en el desempeño de los clasificadores electrónicos. Agron. Costarricense 19:7-13.



- Lemos, M. F., C. Perez, P. H. P., Cunha, P. R. Filgueiras, L. L. Pereira, A. F. A. Fonseca, *et al.* 2020. Chemical and sensory profile of new genotypes of brazilian *Coffea canephora*. Food Chem. 310:125850.
- Marín, S. M., J. Arcila, E. Montoya y C. Oliveros. 2003. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). Cenicafé 54(3):208-225.
- Pereira, L. L., A. Moreli P., T. Moreira R., C. S. Caten, T., J. P. Marcate, P., G. Debona, D. *et al.* 2019. Improvement of the quality of brazilian Conilon through wet processing: a sensorial perspective. Agricultural Sci. 10(3):395-411.
- Pinheiro, C. A., L. Pereira L., D. Fioresi B., D. da Silva O., V. Osório M., J. da Silva, A. *et al.* 2019. Physico-chemical properties and sensory profile of ' *Coffea canephora*' genotypes in high-altitudes. Australian J. Crop Sci 13(12): 2046-2052.
- SCAA (Specialty Coffee Association of America). 2015. Protocols Cupping Specialty Coffee. <http://www.scaa.org/?page=resources&d=coffee-protocols>. [consultado el 14 de julio de 2023]
- Thomazini, A., M. A. Tomaz, L. Martins e W. Rodríguez. 2011. Abordagem sobre qualidade da bebida no café conilon. EnciBio 7(12):1-16.
- Velásquez, S., C. Banchón, W. Chilán y J. Guerrero-Casado. 2022. Effect of Three Post-Harvest Methods at Different Altitudes on the Organoleptic Quality of *C. canephora* Coffee. Beverages 8(4):83.
- Zambrano-Flores, F. G., R. Loor-Solorzano G., L. Plaza-Avellán F., R. Jaimez-Arellano E., H. Guerrero-Castillo E., T. Casanova-Mendoza D. *et al.* 2018. Relación entre productividad y calidad integral del grano en selecciones avanzadas de café Robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador. Agrociencia 52(4):593-607.



Zamarripa, C. A. y E. Escamilla P. 2021. Capítulo 6. La producción de café robusta (*Coffea canephora*) en México. p. 75-86. *In*: Partieli, F. L. e L. L. Pereira (ed.) Café Conilon: Conilon e Robusta no Brasil e no Mundo. CAUFES. Alegre, ES, Brasil.



FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN FRIJOL VARIEDAD FLOR DE DURAZNO

Jesús de la Cruz Flores⁷¹, Branses Barrón Téllez⁷¹, Gustavo Mercado Mancera^{72*} y Jesús Navejas Jiménez⁷³

Resumen

El cultivo de frijol tiene un potencial muy alto de aprovechamiento, por su valor nutricional y por ser un cultivo originario de México, sin embargo, el manejo nutricional es un tema que reviste gran importancia para mantener e incrementar los rendimientos. El objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del cultivo de frijol, variedad flor de durazno, al manejo nutricional con diferentes fuentes de fertilización, en el año de 2022, en Cuautitlán Izcalli, México. Las variables medidas fueron: de carácter climático (temperatura, evaporación y precipitación); fases y etapas fenológicas, altura de la planta y componentes de rendimiento: número de vainas por planta, el número de semillas por planta, el peso de 100 semillas, el peso hectolítrico y el rendimiento. Los tratamientos se distribuyeron en la parcela bajo el diseño experimental completamente al azar: aplicación de lombricomposta, lixiviados de lombricomposta, biofertilizante y fertilizante químico, con tres repeticiones. Se detectó diferencia estadística significativa en los componentes del rendimiento, excepto en el número de semillas por vaina. El rendimiento se vio afectado por la distribución de las lluvias; el valor promedio más alto fue con la aplicación de lombricomposta con 2.52 t/ha, mientras que con el fertilizante químico se obtuvo el menor valor con 2.20 t/ha. En general, el cultivo de frijol tuvo una respuesta positiva a la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas vs fertilizante químico. El ciclo del cultivo fue de 130 días para la variedad flor de durazno. Se observó una respuesta positiva del cultivo de frijol a la fertilización orgánica, lo cual trae beneficios al suelo y a la economía del productor.

Palabras clave: nutrición orgánica, fenología, componentes del rendimiento

⁷¹ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Licenciatura Ingeniería Agrícola.

⁷² *Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ciencias Agrícolas. *Autor por correspondencia: gmancera64@gmail.com

⁷³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. B.C.S.



Introducción

El cultivo de frijol se siembra en todos los estados del país y representa más del 95% del frijol que se consume en México, de ahí, la importancia de su cultivo y diversidad; el uso del frijol en la gastronomía mexicana es sumamente característico en sabor, variedad de platillos y como acompañante de cualquier degustación típica (SADER, 2019). Por su alto contenido de proteína es básico para la alimentación de la población; ocupa el segundo lugar en importancia nacional después del maíz. El frijol es una leguminosa que constituye una fuente de proteínas e hidratos de carbono natural; además es abundante en vitamina B como: niacina, ácido fólico y tiamina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio, calcio y contiene un alto contenido de fibra (Sangerman *et al.*, 2010).

Por su contenido, el frijol es clave en la dieta nacional; el consumo anual *per cápita* es de 9.9 kg; la producción nacional cubre casi en su totalidad los requerimientos de consumo de los mexicanos. México es el quinto productor mundial; no obstante, en el periodo 2003-2016 se observó una reducción acumulada en la superficie sembrada de 20% y de la producción en 23.05% (SAGARPA, 2017).

A nivel nacional, la producción de frijol superó el millón de toneladas al año (SIAP, 2019); se adapta a casi todas las condiciones de suelo y clima del país, por lo que está presente en los 32 estados de la república, sin embargo, solo ocho de las entidades (Zacatecas, Sinaloa, Nayarit, Chiapas, Durango, Guanajuato, San Luis Potosí y Chihuahua) producen tres cuartas partes de la producción nacional. (SIAP, 2022).

El frijol representa el segundo cultivo en importancia nacional, por la superficie sembrada anualmente en su mayor parte bajo condiciones de temporal, aunque en este periodo el rendimiento promedio fue bajo, no obstante, en áreas de alto y mediano potencial productivo, se puede lograr un incremento sostenible del rendimiento, con un aumento en la densidad y un manejo adecuado de nutrición. Con el uso de fertilizantes, el frijol se desarrolla mejor y se obtienen mayores rendimientos, aun con deficiencia hídrica (Osuna *et al.*, 2008).

De acuerdo con Mora (2021), los cultivos en general requieren de 17 nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo, los cuales tienen funciones fisiológicas muy importantes. Su clasificación como nutrientes principales, nutrientes secundarios y micronutrientes obedece tan sólo a su mayor o menor contenido en la composición de las plantas (Serrano *et al.*, 2009). Los criterios de esencialidad de un nutriente se deben a que no aparecen en todos los vegetales; no puede ser sustituido por otro



nutriente, su deficiencia o carencia, provoca alteraciones en el metabolismo, fisiopatías o la muerte de la planta.

Los nutrientes de las plantas se clasifican en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos, los primeros representan entre el 90 y el 95% del peso seco de las plantas y están constituidos por los elementos carbono, oxígeno e hidrógeno, obtenidos a partir del CO₂ de la atmósfera y del agua del suelo, del 5 al 10% restante constituye la denominada fracción mineral (Favela, 2006).

Las plantas terrestres toman del suelo los componentes esenciales de su biomasa, a excepción del carbono. Macronutrientes y micronutrientes son incorporados desde la solución salina del suelo hasta el interior de las células, donde son almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos (Fernández *et al.*, 2008). Cuando no se aplican nutrientes, bien de origen orgánico o mineral, la fertilidad del suelo disminuye, y como consecuencia su capacidad para proporcionar buenas cosechas (García *et al.*, 2009).

La fertilización racional debe conjugar la utilización de fertilizantes orgánicos y minerales, que se complementan. Los orgánicos, aunque también aportan nutrientes, actúan sobre todo, mejorando las propiedades fisicoquímicas de los suelos y su actividad biológica, y los minerales, en cambio, aportan la mayor parte de los nutrientes que la planta precisa, por lo tanto, el uso de fertilizantes es un componente crítico para el mejoramiento de la productividad agrícola; es así como, la fertilización química ha contribuido con alrededor de un 30 a un 50% al incremento en la productividad de los cultivos (Aguado *et al.*, 2012).

Sin embargo, los fertilizantes sintéticos presentan baja eficiencia ($\leq 50\%$) para ser asimilados por los cultivos; el fertilizante no incorporado por las plantas trae un impacto ambiental adverso, tal como contaminación de mantos acuíferos (Armenta *et al.*, 2010), aunado a que los fertilizantes químicos se obtienen a partir del petróleo, por lo que, su precio está sujeto a la cotización internacional de este combustible fósil. La volatilidad de los precios de estos fertilizantes, ha provocado que en ocasiones la cotización de estos productos los ubique fuera del alcance de los productores, particularmente de aquellos que realizan su actividad bajo condiciones de temporal (Aguado *et al.*, 2012).

Sánchez *et al.* (2014) mencionaron que el frijol requiere fertilización nitrogenada y fosfatada, cuya indiscriminada aplicación causa pérdida de productividad del suelo; una alternativa de solución para este problema es reducir y optimizar la dosis de esta fuente de fertilización con un inoculante mixto, con bacterias promotoras de crecimiento vegetal y hongos micorrícicos.



En el estado de Veracruz, Gómez *et al.* (2017) aplicaron en distintos genotipos la dosis de fertilización mineral 40-40-40, y compararon la respuesta con el uso de biofertilizante, y encontraron que la fertilización con la fórmula 40-40-40, casi duplicó el número de vainas por planta, el peso de grano por planta y el rendimiento por hectárea. Con el biofertilizante se logró incrementar el 15%, con diferencias significativas, para el número de vainas por planta, el peso de grano por planta y el rendimiento por hectárea.

Otra fuente de fertilización es el uso de estiércol de bovino; Arellano *et al.* (2015) evaluaron dosis de fertilización inorgánica combinado con estiércol en dos variedades de frijol. Las dosis con estiércol incrementaron el contenido de materia orgánica en los primeros 10 cm de profundidad del suelo y la dosis con 20 t/ha mostró el mayor contenido de NO₃ en el suelo (14.85 mg/kg; capa de 0-10 cm).

Por su parte, Martínez *et al.* (2017) realizaron una comparación entre fuentes de fertilización orgánica e inorgánica, en las que se utilizó lombricomposta y urea como fuente inorgánica, aplicado en frijol ejotero. Los resultados indicaron que con la lombricomposta se tuvo mejor emergencia, mientras que la urea registró el mayor peso seco en tallo; en cuanto al peso seco de hojas, el mejor valor lo obtuvo el sulfato de amonio y la urea; respecto a la producción de frutos el mayor peso lo presentó la urea.

La nutrición en los cultivos es esencial para incrementar el rendimiento por unidad de área; el objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta del cultivo de frijol, variedad flor de durazno, a la aplicación de diferentes fuentes nutrimentales, así como, el comportamiento fenológico y los componentes del rendimiento en Cuautitlán Izcalli, México.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de temporal, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. La fecha de siembra fue el 10 de junio de 2022. El clima del área de estudio es templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intra-estival, siendo junio el mes más caliente, con poca oscilación térmica, temperatura media anual de 15.4°C, con un promedio de 652.1 mm de precipitación pluvial anual y un período de bajo riesgo de helada de 213 días. El total de días con helada al año es de 26 días (Ángeles, 2022).



El suelo es de textura arcillosa, con un porcentaje de materia orgánica de 3.7%, pH de 6.9, conductividad eléctrica de 0.619 dS/m y fertilidad media a alta (Mercado *et al.*, 2015).

Los tratamientos evaluados fueron:

1. Lombricomposta. La dosis aplicada fue de 8.69 t/ha al momento de la escarda.
2. Lixiviados de lombricomposta. A una dosis de 260 L/ha. Se aplicó en dos ocasiones: a los 20 y a los 40 días después de la emergencia. Las aplicaciones se realizaron en forma foliar y el producto se diluyó al 50%.
3. Biofertilizante. Se empleó 3.0 kg/ha de Micorrizafer (*Glomus intraradice*) y 0.4 kg/ha de Azofer (*Azospirillum brasilense*) en 400 L de agua/ha. Se aplicó al suelo, a la base del cultivo, previo a la escarda.
4. Fertilizante químico. Se aplicó al suelo la fórmula 40-60-00, previo a la escarda, y como fuentes se emplearon urea y superfosfato de calcio triple.

Las variables de temperatura, evaporación y precipitación pluvial se registraron diariamente en la estación meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FESC-UNAM), durante todo el ciclo del cultivo.

El registro de la fenología del cultivo se realizó en cinco plantas por cada unidad experimental (UE), considerando los días a emergencia, días a floración, días a fructificación, días a madurez fisiológica y días a cosecha. Asimismo, se determinó la altura de planta a partir de los 15 días después de la emergencia hasta el momento de madurez.

En relación con los componentes del rendimiento, al momento de la cosecha, se tomaron cinco plantas por UE, de las cuales se registró el número de vainas por planta, posteriormente, se tomó al azar una muestra de cinco vainas por UE, para contar el número de semillas por vaina.

Del total de semilla cosechada por UE, se tomó una muestra para determinar el peso de 100 semillas, el peso hectolítrico; y para el rendimiento, se consideró el rendimiento total de cada UE y posteriormente se estimó en toneladas por hectárea.

Se realizaron los análisis de varianza y para la separación de medias se aplicó la prueba de Tukey, en ambos casos se consideró un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.



Resultados y Discusión

VARIABLES CLIMÁTICAS

Las temperaturas ambientales (máxima, media y mínima) no afectaron el crecimiento y desarrollo del cultivo de frijol; durante el ciclo existieron condiciones favorables, de acuerdo con los requerimientos que tiene este cultivo; la temperatura media osciló entre 15 y 22°C, y la máxima no superó los 28°C durante el ciclo del cultivo (Figura 1).

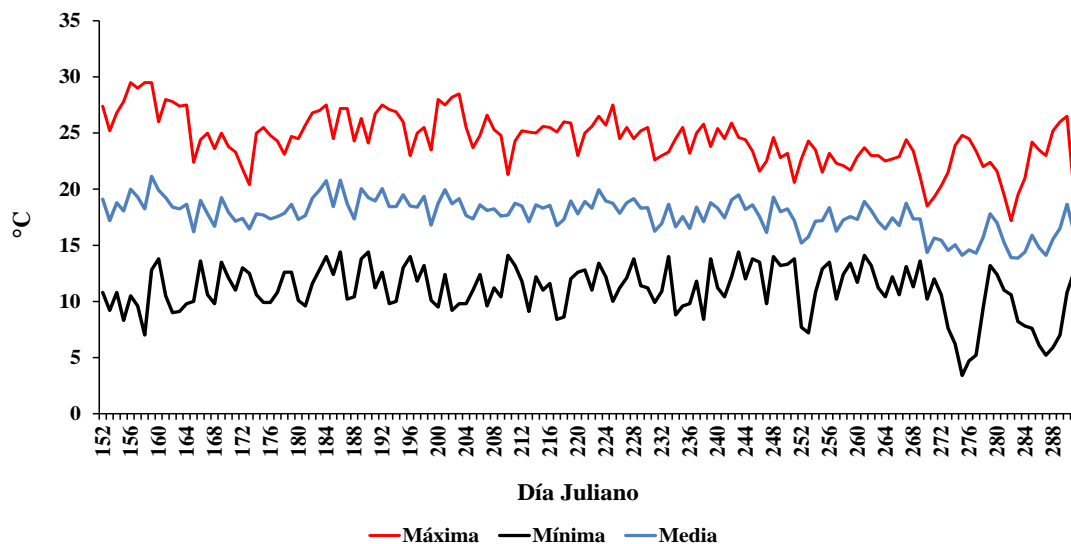


Figura 1. Temperatura ambiental diaria (°C), durante el ciclo primavera-verano de 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

Durante el ciclo del cultivo se registraron los datos de precipitación pluvial y evaporación diariamente, para tener referencia del balance hídrico y establecer si el cultivo sufrió estrés hídrico; los datos se presentan en la Figura 2.

La precipitación acumulada fue de 468 mm y la evaporación de 568.65 mm, durante el ciclo del cultivo, por lo cual, el rendimiento del cultivo de forma general se vio disminuido en un 20% en promedio, debido a que se presentaron periodos donde la evaporación fue mayor que la precipitación pluvial; esto es, ocurrió la lluvia y pasaron hasta 10 días sin ella; a pesar de que el suelo de la parcela experimental es de tipo arcilloso, la falta de agua fue importante en momentos en que la planta lo requería (Figura 3).

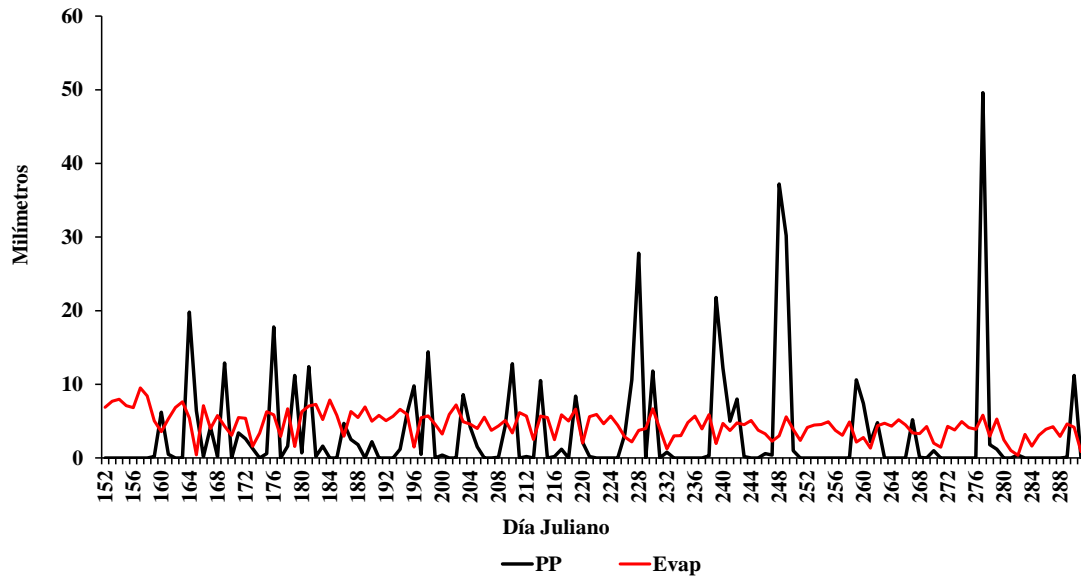


Figura 2. Precipitación pluvial (PP) y evaporación (Evap) diaria (mm) durante el ciclo primavera-verano de 2022. Cuautitlán Izcalli, México.



Figura 3. Condición del suelo a los 46 días de la siembra, durante el ciclo primavera-verano de 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

Altura de planta

En la Figura 4 se muestra la altura de planta de la variedad Flor de Durazno, en función de las fuentes nutrimentales utilizadas.

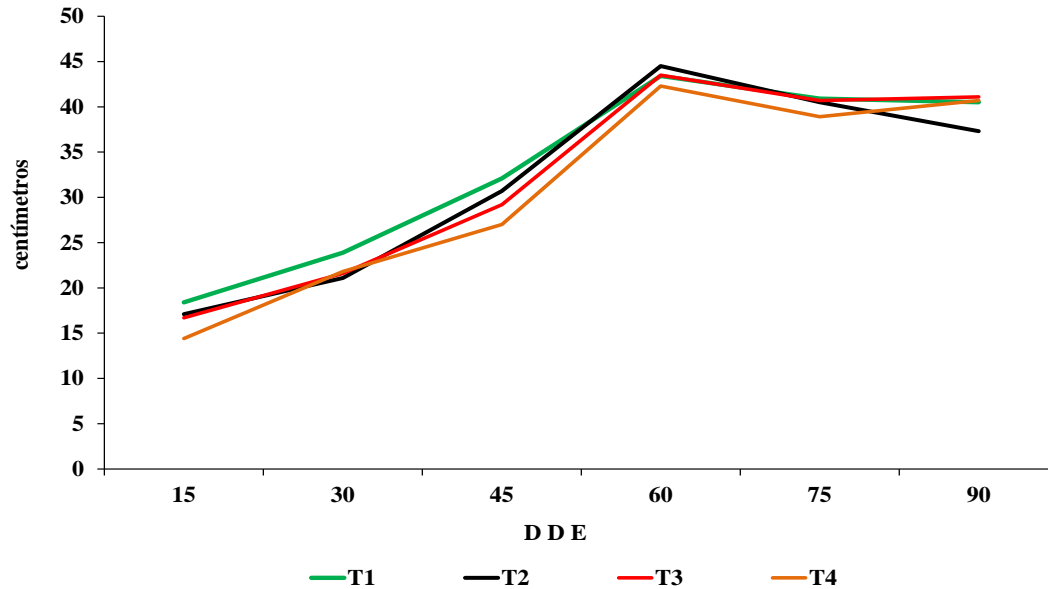


Figura 4. Altura de planta (cm) del frijol variedad Flor de Durazno durante el ciclo primavera-verano de 2022. Cuautitlán Izcalli, México.

La variedad Flor de Durazno tiene crecimiento semi-erecto, sin embargo, la máxima altura se presentó a los 60 días después de la emergencia (DDE), y posteriormente disminuyó, debido al peso mismo de las vainas, y a que se detuvo el crecimiento de las plantas por estar el cultivo en la etapa de fructificación. Alcanzó una altura promedio a los 90 DDE de 39.9 cm; en función de la fuente nutricional, la altura de planta presentó mucha semejanza, donde sobresalió la aplicación de biofertilizante con 41.1 cm.

Fenología

En el Cuadro 1 se presentan los datos fenológicos observados. Se observó que la etapa de germinación duró 11 días; para alcanzar la plena floración se tardó 75 días; la madurez fisiológica se alcanzó a los 97 días y la cosecha se realizó a los 130 días después de la siembra. Por lo tanto, la zona permite el crecimiento y desarrollo de esta variedad de frijol; solo hay que considerar la disponibilidad de agua para minimizar los efectos que puede generar una disminución de la precipitación pluvial sobre este cultivo.



Cuadro 1. Fenología del frijol variedad Flor de Durazno en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo P-V 2022.

Fase fenológica	Porcentaje	Fecha
Siembra		10 de junio
Emergencia	Inicio (15%)	18 de junio
	Fin (100%)	21 de junio
Floración		
	15% Inicio	11 de agosto
	80% Plenitud	24 de agosto
Fructificación		
	25% Inicio	20 de agosto
	80% Plenitud	10 de septiembre
Madurez fisiológica		15 de septiembre
Madurez comercial (cosecha)		18 de octubre

Rendimiento

Los resultados y la significancia estadística obtenida en función de la fuente nutrimental empleada, se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rendimiento de frijol variedad Flor de Durazno en función de la fuente nutrimental en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo primavera-verano de 2022.

Fuente nutrimental	Flor de durazno (t/ ha)
Lombricomposta	2.39 ^{ab}
Lixiviado de lombricomposta	2.52 ^a
Biofertilizante	2.23 ^{abc}
Fertilizante químico	2.20 ^{abcd}
Promedio	2.34

Letras iguales tienen igualdad estadística de acuerdo con Tukey, $p=0.05$.

El mayor rendimiento se obtuvo con la aplicación de lixiviado de lombricomposta (2.52 t/ha), mientras que el menor, con el fertilizante químico (2.20 t/ha). Estos valores son mayores que la media estatal



reportada por el SIAP (2022) que fue de 0.96 t/ha y que la media nacional que fue de 0.71 t/ha (CEDRSSA, 2020). Lo anterior permite recomendar la aplicación de alguna fuente nutricional orgánica evaluada en este trabajo, dado que arrojaron efectos positivos en el rendimiento en comparación con el empleo de fertilizantes inorgánicos.

Componentes del rendimiento

En el Cuadro 3 se presentan los datos de los componentes de rendimiento que incluye el número de vainas por planta, el número de semillas, peso de 100 semillas y el peso hectolítrico, y su significancia estadística en función de la prueba de Tukey al 0.05. Sólo en la característica número de semillas por vaina no se encontró significancia estadística.

Cuadro 3. Componentes de rendimiento de frijol variedad Flor de Durazno en función de la fuente nutricional aplicada, en Cuautitlán Izcalli, México. Ciclo primavera-verano de 2022.

Fuente nutricional	Número de vainas por planta	Número de semillas por vaina	Peso de 100 semillas (g)	Peso hectolítrico
Lombricomposta	54 b	5	47abc	82 a
Lixiviado de lombricomposta	51 b	5	49a	81 ab
Biofertilizante	52 b	5	47abc	81 ab
Fertilizante químico	83 a	5	49ab	80 ab

Letras iguales tienen igualdad estadística de acuerdo a la prueba de Tukey, 0.05.

Se obtuvieron cinco semillas por vaina, esto para cada una de las fuentes nutricionales aplicadas en el cultivo; se deduce que la fuente nutricional no tuvo ningún efecto en este componente de rendimiento, y es sólo una cualidad genética de la variedad empleada. Con la fertilización química se obtuvieron 83 vainas por planta, que fue el mayor número registrado; la aplicación de lixiviados de lombricomposta dio como resultado 51 vainas por planta, que fue el menor número de vainas. En el peso de 100 semillas existió diferencia significativa, donde sobresalió el fertilizante químico y el lixiviado de lombricomposta con 49 g, asimismo, en el peso hectolítrico sobresalieron la aplicación lombricomposta con un valor de 82.

En este trabajo se aplicaron fuentes orgánicas e inorgánicas, donde se obtuvieron diferentes resultados. Gómez *et al.* (2017) realizaron una comparación de dosis minerales con tratamientos de origen orgánico, y concluyeron que la aplicación de fuentes minerales duplica el rendimiento y la calidad de



diferentes genotipos de frijol. Sin embargo, en la variedad Flor de Durazno, el rendimiento obtenido con el fertilizante químico fue menor, respecto a la aplicación de lombricomposta, aunque no se detectó diferencia significativa. Estos datos son semejantes a los reportados por Martínez (2017), en su trabajo con frijol ejotero.

La aplicación de biofertilizante no sobresalió en el rendimiento de grano; Lara *et al.* (2019) mencionó que la adición de biofertilizantes combinados con pequeñas dosis de fertilizantes minerales, puede ser una alternativa viable, para sustituir o al menos reducir el uso de fertilizantes inorgánicos y de esta manera, disminuir los costos a los productores agrícolas.

La variabilidad del rendimiento de frijol en condiciones de temporal puede mitigarse con la aplicación de fuentes nutrimentales orgánicas, puesto que son materiales que pueden absorberse mejor, si se aplican de forma foliar, tal es el caso de los lixiviados de lombricomposta, que en esta investigación se obtuvo un rendimiento de grano sobresaliente en la variedad Flor de Durazno.

Conclusiones

1. La aplicación de fuentes nutrimentales de origen orgánico demostraron ser una alternativa viable para la fertilización en el cultivo de frijol, ya que mantienen los rendimientos en un rango similar a la fertilización química, y en la variedad Flor de Durazno se superó el rendimiento con la utilización de lixiviado de lombricomposta, respecto a la aplicación de fertilizante químico.
2. La fertilización química representa una fuente nutrimental de mayor solubilidad para la planta, sin embargo, la aplicación de otras fuentes orgánicas nutrimentales, puede representar de mayor utilidad, debido al incremento de los costos de los fertilizantes químicos.
3. Se estimó que las condiciones meteorológicas que se tuvieron durante el ciclo primavera-verano de 2022 fueron adversas para el desarrollo y crecimiento de las plantas de frijol, lo que representó mermas en el rendimiento de grano, respecto a años anteriores, en los que se ha trabajado con este cultivo en el área de estudio.
4. Se observó una respuesta positiva del cultivo de frijol a la fertilización orgánica, lo cual trae beneficios al suelo y a la economía del productor.



Agradecimientos

Al personal técnico del Centro de Enseñanza Agropecuaria y de la Estación Meteorológica de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo y datos climáticos brindados, respectivamente. Asimismo, al INIFAP, B.C.S. por el asesoramiento recibido.

Literatura Citada

- Aguado, S. A. G., Q. Rascón C. y A. Luna B. 2012. Capítulo 1: Impacto económico y ambiental en el empleo de fertilizantes químicos. p. 1-22 *In*: Aguado, S. A. G. (ed.). Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. CIRCE. INIFAP. Campo Experimental Bajío. Celaya, Gto., México.
- Ángeles, F. S. B. 2022. Determinación de la normal climática de 1987 a 2022 de la Estación Meteorológica Almaraz. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 106 p.
- Arellano, A. S., E. S. Osuna C., M. A. Martínez G. y L. Reyes M. 2015. Rendimiento de frijol fertilizado con estiércol bovino en condiciones de secano. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(3):313-318.
- Armenta, B. A. D., C. García G., R. J. Camacho B., M. A. Apodaca S., L. Gerardo M. y E. Nava P. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai* 6(1):51-56.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural y Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. Mercado del frijol, situación y prospectiva. CEDRSSA. Ciudad de México. 20 p.
- Favela, C. E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. 148 p.



- Fernández, A. J., J. M. García S. y J. María M. 2008. Capítulo 7: Absorción y transporte de nutrientes minerales. p. 123-142. *In:* Azcón, B. J. y M. Talón (eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2a. ed. Barcelona. España.
- García, S. J. P., S. Ruano C., J. J. Lucena M. y M. Nogales G. 2009. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. p. 14-18.
- Gómez, A. L. C., E. M. Graillet J., M. Martínez M., J. A. Fernández F. y R. Arieta R. 2017. El uso de biofertilizantes en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 5(2):53-57.
- Lara, C. L., L. G. Hernández M., J. J. Reyes P., P. Preciado R. y R. Zulueta R. 2019. Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *REMEXCA* 10(5):1035-1046.
- Martínez, M. D., J. Reyes M., A. R. Andrés H. y M. Morales I. M. 2017. Evaluación de fertilizantes químicos y orgánicos en el rendimiento de frijol ejotero. *Revista Latinoamericana en el Ambiente y las Ciencias* 8(17):1-7.
- Mercado, M. G., A. K. Granados M., D. Reyes L., H. López A., L. Canales T., J. H. Severiano L. y C. E. Valencia I. 2015. Variabilidad espacial de parámetros químicos de un suelo vertisol, con manejo convencional y orgánico. *In:* *Memorias del XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- Mora, G. M. 2021. Capítulo 3: La nutrición del cultivo de frijol. p. 47-56. *In:* Ayala, G. V. A., J. A. Acosta G.A., L. Reyes M. (eds.). *El cultivo del frijol presente y futuro para México*. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP. Campo experimental Bajío. Celaya, Gto., México.



- Osuna, C. E. S., J. S. Padilla R., M. A. Martínez G. y J. A. Acosta G. 2008. Capítulo 8: La Fertilización foliar del frijol de temporal en el altiplano semiárido de Aguascalientes. p. 112-130. *In*: Martínez, G. M. A., E. S. Osuna C., J. S. Padilla R., J. A. Acosta G. y C. Loredó O. (eds.). Tecnología para la Producción de Frijol en el Norte Centro de México. Libro Técnico Núm 4. CIRNE. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P., México.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2019. La importancia del frijol en México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la-importancia-del-frijol-en-mexico#:~:text=Los%20frijoles%20han%20formado%20parte,queso%2C%20epazote%2C%20entre%20otros.> [consultado el 15 de febrero de 2023].
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Frijol Mexicano. 20 p.
- Sánchez, Y. J. M., M. G. Barrientos R., I. Balderas L., N. Dasgupta S. y L. Márquez B. 2014. Respuesta del frijol al Endospor 33® a dosis 50% de fertilizante nitrogenado/fosfatado en agricultura protegida. *Scientia Agropecuaria* 5:77-83.
- Sangerman, J. M., J. A. Acosta G., R. Shwenstadius D., M. A. Damián H. y B. S. Larque S. 2010. Consideraciones e importancia social en torno al cultivo del frijol en el centro de México. *REMEXCA* 1(3):363-380.
- Serrano, G. J. P., J. J. Lucena M., S. Ruano C. y M. Nogales G. 2009. Parte 1: El suelo, los nutrientes y la fertilización. *In*: Serrano, G. J. P., J. J. Lucena M., S. Ruano C., M. Nogales G., L. López B., J. Beltrán A. *et al.* (eds.). Guía Práctica de la Fertilización Racional de los Cultivos en España. Ministro de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano. SIAP. México. 22 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Avance de siembras y cosechas. https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/ [consultado el 8 de febrero de 2023].



DEMANDAS DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA EN LAS CADENAS DE VALOR NARANJA Y LIMÓN PERSA

Sergio Alberto Curti Díaz^{74*}, Jaime Rangel Quintos⁷⁵, Pablo Ulises Hernández Lara⁷⁶, Mario Rodríguez Cuevas⁷⁶, Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera⁷⁷, Santiago Domínguez Monge⁷⁷ y Dante Sumano López⁷⁶

Resumen

El objetivo del trabajo fue definir las principales demandas de investigación, validación y transferencia de tecnología de las cadenas agroalimentarias “naranja” y “limón Persa” para los estados de Veracruz y Tabasco. Se usó una metodología participativa (Geilfus, 2002) conformado de dos fases: a) Análisis y priorización de las demandas, desarrollada por un grupo multidisciplinario de investigadores del INIFAP, donde a partir del contexto técnico productivo y socioeconómico de ambas cadenas de forma documental, se identificaron las demandas y b) la retroalimentación de los usuarios mediante talleres con citricultores, técnicos y otros actores relacionados, a quienes se les presentaron las demandas pre-identificadas, para su validación y priorización. Se definieron, cinco principales problemas, oportunidades o necesidades (PON) para ambas cadenas: 1. Muerte descendente de ramas y árboles (MDRyA), 2. Contaminación ambiental debido al manejo convencional de las huertas, 3. Huanglongbing, 4. Virus Tristeza y 5. Leprosis. Es importante indicar que más del 80% de los productores de Veracruz y más del 68% de los productores de Tabasco, coincidieron en que es muy importante atender los dos primeros problemas mencionados; mientras que más del 20%, en ambos estados, opinó que la Tristeza y la Leprosis, son problemas que pueden esperar para ser atendidos. Por otra parte, los usuarios manifestaron demandas específicas adicionales, entre ellas: Capacitación para cultivar limón Persa; investigación para determinar patrones con precocidad para entrar en producción, con mayor producción durante los períodos de mayor rentabilidad y tolerancia a las enfermedades presentes en la región; manejo de arvenses como hospederas de trips y mosca prieta; tecnología para incrementar la producción y calidad de la fruta usando bioestimulantes; tipología del productor, sus necesidades de investigación y capacitación, y un manual para el manejo de la MDRyA. Otro aspecto

⁷⁴ Campo Experimental Cotaxtla- INIFAP-CIR Golfo Centro. *Autor por correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

⁷⁵ Campo Experimental La Posta-INIFAP-CIR Golfo Centro

⁷⁶ Campo Experimental Ixtacuaco

⁷⁷ Campo Experimental Huimanguillo-INIFAP-CIR Golfo Centro.



de gran relevancia es que los productores manifestaron su interés de apoyar, prestando sus huertas y aportando los recursos con que cuentan, para llevar a cabo las acciones de investigación y de transferencia de tecnología, necesarias para resolver la problemática definida.

Palabras clave: metodología participativa, investigación multidisciplinaria, extensionismo, críticos

Introducción

El INIFAP es un Centro Público de Investigación cuyo mandato dice: “A través de la generación de conocimientos científicos y de la innovación tecnológica agropecuaria y forestal como respuesta a las demandas y necesidades de las cadenas agroindustriales y de los diferentes tipos de productores, contribuir al desarrollo rural sustentable mejorando la competitividad y manteniendo la base de recursos naturales, mediante un trabajo participativo y corresponsable con otras instituciones y organizaciones públicas y privadas asociadas al campo mexicano” (INIFAP, 2023). Para cumplir este mandato, el INIFAP se rige por doce Valores Institucionales de los cuales destacan: 1) Satisfacer los requerimientos y expectativas de los clientes, socios, usuarios y beneficiarios (Calidad); 2) Buscar en todo momento el mejor aprovechamiento de los recursos humanos, materiales, tecnológicos y financieros (Eficiencia); 3) Atender las necesidades de la sociedad, en las áreas de producción forestal, agrícola y pecuaria, con honradez y equidad (Espíritu de servicio); 4) Detectar las demandas científicas y tecnológicas del mañana, impulsando la productividad, competitividad y sustentabilidad del medio ambiente (Proactividad); 5) Conformar grupos de trabajo interdisciplinarios para atender las demandas de la sociedad, a través de generar conocimientos y tecnologías integrales (Trabajo en equipo).

Asimismo el INIFAP, en cumplimiento a lo dispuesto en el Artículo 59 de la Ley de Ciencia y Tecnología, tiene como una de las principales acciones puntuales para incrementar conocimientos y soluciones tecnológicas que atiendan las necesidades y problemáticas prioritarias de las y los subsectores forestal, agrícola y pecuario: “Identificar problemas, oportunidades y necesidades de investigación, desarrollo tecnológico e impulso a la innovación mediante consulta con las cadenas agroalimentarias” (Objetivo 1 del INIFAP).

Este trabajo se alinea a los Programas de Desarrollo del INIFAP y del Centro de Investigación Regional del Golfo Centro (CIRGOC), que describen y fundamentan la relevancia de diferentes



cadena agroalimentarias en Veracruz y Tabasco; entre las que se destacan las de naranja y limón Persa. Dichos estados aportan el 55.4%, 58.4% y 57.6% de la superficie plantada, volumen de producción y valor de la producción nacional del limón Persa, respectivamente. Mientras que, para naranja, los dos estados aportan el 51.0%, 51.5% y 48.1% al país, para los mismos valores indicados y en el mismo orden (SIAP, 2020). El objetivo del presente trabajo fue determinar las principales demandas de investigación, validación y transferencia de tecnología de las cadenas agroalimentarias de naranja y limón Persa en los estados de Veracruz y Tabasco.

Materiales y Métodos

Se conformó un equipo multidisciplinario de siete investigadores del CIRGOC relacionados con las cadenas naranja y limón Persa. Se definieron cinco problemas, oportunidades y necesidades (PON) de gran importancia para dichas cadenas, bajo dos acciones principales.

a) Identificación y análisis documental de demandas. Con información documental y la experiencia del grupo de trabajo se identificó el contexto económico productivo de las cadenas agroalimentarias a estudiar. Se desglosaron todas las demandas o PON descritas en el “Plan Rector Citrícola Nacional 2021, del Comité Nacional Sistema Producto Cítricos, A. C.” y en el “Plan Rector 2019 del Comité Ejecutivo Nacional del Sistema Producto Limón Persa”. Se desagruparon las enfermedades, plagas, prácticas culturales, de vivero y demás rubros del manejo de producción y postcosecha, así como los problemas abióticos. Una vez hecho esto, se definieron cinco PON de mayor importancia, por cada uno de los integrantes del grupo de trabajo, con base al daño que causan al cultivo, para posteriormente conjuntar una jerarquización grupal consensada. Se analizaron, discutieron y definieron sus causas e impactos, se plantearon objetivos generales y específicos de investigación, las metas y productos a lograr; así como las principales acciones de investigación, validación y transferencia de tecnología que se consideraron de mayor importancia para cada uno de ellos. Con la finalidad de cumplir con los tres primeros valores institucionales arriba mencionados (calidad, espíritu de servicio y, principalmente, eficiencia en el uso de los recursos disponibles). Se seleccionaron los cinco problemas de mayor impacto adverso a las cadenas en comento. Se consideró como problema aquel que limitaba la rentabilidad de las huertas de los productores, independientemente de que, ya se hubiera generado investigación; pues si este fuera el caso, para el INIFAP podrían ser PON de menor relevancia desde el



punto de vista de la investigación; sin embargo, si el productor no ha adoptado los conocimientos generados, ya sea por desconocimiento o por otras razones, el problema seguirá siendo importante para ellos y la tarea fundamental del INIFAP sería fortalecer los procesos de validación y transferencia de tecnología.

b) Retroalimentación de los usuarios. Se realizaron dos talleres participativos con citricultores y técnicos para validar o rectificar los cinco problemas definidos por el grupo de trabajo del INIFAP, sus acciones y productos a lograr y expresar otras demandas de investigación y de transferencia de tecnología no consideradas. Para ello, se expuso a los asistentes el contexto de ambas cadenas y la problemática identificada; después los productores retroalimentaron y priorizaron los cinco problemas seleccionados a través de discusiones locales y mediante la aplicación de una encuesta a cada uno de los asistentes, que incluía toda la información presentada, en la cual debían calificar cada PON, objetivo, acción y producto con uno de los tres criterios siguientes: a) Debe atenderse de inmediato, b) Puede esperar y c) No es necesario atenderlo. La información se analizó con estadística descriptiva. Los talleres se realizaron en Veracruz, en el Campo Experimental Ixtacuaco y en Tabasco, en el Campo Experimental Huimanguillo, el 22 y 28 de abril de 2022, respectivamente.

Resultados y Discusión

a) Análisis y priorización de demandas

Problemática general descrita en los planes rectores de los sistemas producto cítricos y limón Persa. De acuerdo con cada cadena, se identificaron las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas como sistema producto y sus PON de índole operacional, de regulación normativa, jurídicos, comerciales, de organización de productores, con relación al clima, de producción y postcosecha, entre otros. A continuación, se especifican los PON inherentes al quehacer del INIFAP, en los procesos de investigación, transferencia de tecnología y desarrollo de las cadenas.

Plan Rector Citrícola Nacional 2021, del Comité Nacional Sistema Producto Cítricos, A. C. Incluye a las cuatro especies de cítricos que se cultivan comercialmente en México y sus demandas son las siguientes: 1- Investigación: a) concentración de la oferta, por escasa de diversificación de variedades y uso de riego; b) producción de nuevas variedades con patrones tolerantes a enfermedades; c) optimizar los métodos de cultivo en el manejo integral de plagas y enfermedades, al manejo integral del huerto



(nutrición, plagas, enfermedades, entre otros). 2 - Transferencia de tecnología: a) bajos rendimientos por limitada transferencia tecnológica; b) presencia del vector de la Tristeza que condiciona la viabilidad de la producción. 3 – Desarrollo: a) Banco de Germoplasma y lote de fundación en apoyo a la reconversión citrícola.

Plan Rector 2019 del Comité Ejecutivo Nacional del Sistema Producto Limón Persa A. C. Las necesidades planteadas son: 1 – Investigación: a) generar variedades tolerantes a la Tristeza; b) manejo integrado de plagas, manejo de coberturas y prácticas de conservación de suelos, técnicas de irrigación, aspersiones foliares a bajo volumen y podas; c) un programa de investigación para determinar usos potenciales del limón Persa en la industria; d) un programa contra el Huanglongbing; e) Programa para evitar la contaminación de los mantos acuíferos; f) Tecnología de producción orgánica; g) crear un laboratorio para reproducir organismos benéficos. 2 - Transferencia de tecnología: a) apoyos a la investigación para elaborar paquetes tecnológicos acordes a cada región productora de limón; b) capacitación sobre manejo integrado del cultivo, buenas prácticas agrícolas, de inocuidad alimentaria y manejo de bitácora administrativa en campo. 3 – Desarrollo: a) conformación de un banco de germoplasma certificado y apoyos para producir yemas y semillas libres de virus; b) reconversión productiva de áreas de limón Persa con otras especies con potencial comercial; c) un programa de generación, manejo y difusión de información de las condiciones agrometeorológicas y fisicoquímicas del suelo en el ámbito regional; d) planeación de mercado que predetermine las condiciones de la demanda, la oferta y el precio con el fin de favorecer el aseguramiento de la rentabilidad media del cultivo.

Priorización de las demandas por el grupo de trabajo. Se definieron los siguientes cinco PON, para ambas cadenas:

1. Muerte descendente de ramas y árboles (MDRyA). La MDRyA apareció hace dos décadas en Veracruz y Tabasco, en todas las especies comerciales de cítricos, pero en los últimos cinco años ha crecido su incidencia en limón Persa. El síntoma típico e inicial es el secamiento de una sola rama, de la punta hasta su base, de ahí su nombre; con exudación de goma y cánceres en el tronco y ramas, hasta que el árbol muere. Se han publicado resultados sobre identificación, caracterización, control, filogenia del o de los posibles agentes causales de la MDRyA en varias especies frutales (Mondragón-Flores *et al.*, 2021). Bautista-Cruz *et al.* (2019) identificaron seis especies de *Lasiodiplodia* en Veracruz y Puebla (*Lasiodiplodia citricola*, *L. pseudotheobromae*, *L. theobromae*, *L. brasiliense*, *L. iraniensis* y *L. subglobosa*), de las 10 reportadas en el mundo, afectando a los cítricos.



La MDRyA se manifiesta generalmente después de un estrés hídrico, incremento de la temperatura, humedad relativa alta, sequías, heladas, altas densidades de plantación y malas prácticas de poda (Mondragón-Flores *et al.*, 2021). En Veracruz, la MDRyA se observa con el HLB y amarillamiento sectorial del fruto o “Wood Pocket”, aun en huertas con un buen manejo tecnológico. Se estiman pérdidas de 25% de las plantas anualmente, así como, previa disminución del rendimiento y rentabilidad del cultivo por mayor costo en el manejo de la enfermedad y reposición de plantas muertas. En Tabasco se han abandonado huertas, una vez que se han desmejorado totalmente.

2. Contaminación ambiental por el manejo convencional de las huertas con agroquímicos. A raíz de la Revolución Verde, nacida en los años sesenta, el manejo de los cultivos ha sido cada vez más intensivo, con excesivo uso de insumos comerciales, persiguiendo mayores rendimientos y considerando a los frutos como una mercancía, afectando adversamente al ambiente (vegetación, suelo, aire, aguas superficiales y manto freático) y contaminando a los frutos con residuos químicos, que pone en riesgo la salud de los consumidores. Los agroquímicos dañan a la biodiversidad, la sustentabilidad agrícola, y seguridad alimentaria; traen efectos nocivos a corto y largo plazo a la nutrición, salud humana y animal. Están suficientemente fundamentados los afectos adversos en los procesos físicos, químicos y biológicos y, en general, sobre las comunidades microbianas del suelo, con el uso de los nutrimentos (Lekberg *et al.*, 2021; Revillini *et al.*, 2016), herbicidas (Mera-Andrade *et al.*, 2019), fungicidas (Cycon *et al.*, 2010), insecticidas (Pandey y Singh, 2004), por eliminación de residuos de cosecha (Blanco-Canqui y Lal, 2009) y sobre la salud animal y humana (Collotta *et al.*, 2013) y sobre las abejas (Calatayud-Vernich *et al.*, 2016).

3. Huanglongbing. El Huanglongbing (HLB) afecta a todas las especies de cítricos, su dispersión es muy rápida, puede matar al árbol en 1-2 años y no tiene cura (Zhou, 2020). Su causa es la α -proteobacteria Gram negativa *Candidatus Liberibacter* spp. (Da Graca *et al.*, 2015), que está limitada al floema, además, no ha sido posible cultivarla en laboratorio. Existen tres especies del patógeno asociado a cítricos (Machado *et al.*, 2017), de las cuales *Candidatus liberibacter asiaticus* (CLAs), es la que está presente en todos los estados citrícolas de México y es transmitida por *Diaphorina citri*. Afecta la vida útil de todas las especies cítricas, pero principalmente al naranjo y los limones Mexicanos y Persa. Además del Amarillamiento asimétrico en las hojas, síntoma típico, puede causar muerte regresiva de ramas, los frutos son pequeños, torcidos y de color verde, con semillas abortadas (Batool *et al.*, 2007), lo que disminuye su valor comercial y rendimiento, del 30 al 100% (Gottwald, 2010).



4. Virus Tristeza. Históricamente han existido razas moderadas, en todas las regiones citrícolas del país, hasta 2017 cuando se detectó una de sus razas severas (SENASICA, 2020), la cual ha causado la muerte de más de 50 mil árboles en Veracruz, con patrón de naranjo Agrio.

5. Leptosia. Enfermedad viral que afecta principalmente a las naranjas dulces, es transmitida por ácaros del género *Brevipalpus* spp., provoca debilitamiento de la planta, caída prematura y manchado del fruto y, hasta la muerte (Nunes *et al.*, 2013). La leptosis causa la desvalorización de la fruta fresca, defoliación y la reducción de la vida útil del huerto (Ramos-González *et al.*, 2018); las áreas afectadas están sujetas a medidas cuarentenarias que impiden el comercio nacional e internacional (IPPC, 2019). En México, la enfermedad afecta a 19 estados citrícolas; en Huimanguillo, Tabasco, la leptosis llegó en 2004, reportada en 2006 (SENASICA, 2010), y para 2008 se habían perdido 129,115 árboles y 10 años después se habían abandonado 12 mil ha, en ambos casos, de naranjo.

Importancia relativa de las necesidades de investigación, validación y transferencia de tecnología para cada uno de los cinco problemas prioritarios definidos. En el INIFAP existen tres procesos en el desarrollo de la investigación y la comunicación de la tecnología al productor, que son: 1) generar conocimiento científico y tecnológico con la finalidad de mejorar la rentabilidad de los cultivos; 2) demostración de las tecnologías generadas en terrenos de un productor cooperante y con participación activa del mismo; 3) transferencia de tecnología, referida a la comunicación de los conocimientos y tecnologías generados, a los usuarios en forma preferentemente masiva, mediante diversos tipos de actividades, como parcelas demostrativas, cursos, talleres, publicaciones y otras. Los cinco PON seleccionados se definieron con base al daño que causan a la citricultura regional. Por lo tanto, se ponderó la importancia de los tres procesos institucionales, con base a la experiencia de los investigadores (Cuadro 1).

Comentarios relativos a dicha ponderación son: 1) la muerte descendente de ramas y árboles, aparentemente causada por hongos del grupo *Lasiodiplodia*, es relativamente reciente en el golfo de México y, se ha convertido en una fuerte limitante de la productividad citrícola, aunado al HLB, Wood Pocket y condiciones extremas de clima; de ahí la importancia de generar el conocimiento y las tecnologías necesarias para disminuir su daño; 2) en cambio, poco se ha investigado para generar alternativas de remediación para descontaminar el suelo y el deterioro ambiental. Pero, dado que cada vez hay más productores que están certificando sus huertas con manejo orgánico, es prioritario validar los componentes tecnológicos que están usando o bien, generar nuevos conocimientos para recuperar la salud del suelo y conocer el comportamiento agronómico de los árboles desarrollando en un suelo sano;



3) situación similar ocurre con el Huanglongbing, para la cual, hay mucha información sobre nutrición y manejo del huerto en general, que es importante validar en unión con los productores, buscando convivir con la enfermedad; 4) la mejor defensa contra el virus Tristeza, es reemplazar al naranjo Agrio con patrones que lo toleren y, sobre ello, se ha generado suficiente información en México y en el mundo, por lo que, debe darse prioridad a su difusión, sin descuidar la investigación; 5) para afrontar la Leprosis no existe patrón ni variedad tolerante, por ello es importante validar las técnicas que se han generado en el mundo.

Cuadro 1. Ponderación de la importancia de los procesos institucionales de investigación, validación y transferencia de tecnología con relación a los cinco problemas prioritarios de las cadenas agroalimentarias de naranja y limón Persa en la región del Golfo de México.^Z

Problema	Importancia relativa en los procesos institucionales (%)		
	Investigación	Validación	Transferencia de tecnología
MDRyA	60	30	10
Contaminación ambiental	60	30	10
Huanglongbing	30	40	30
Virus Tristeza	30	20	50
Leprosis	30	40	30

^Z A mayor porcentaje, mayor atención amerita; MDRyA: Muerte descendente de ramas y árboles.

b) Retroalimentación de los usuarios

En el taller realizado en Veracruz asistieron 18 Productores, 10 investigadores/académicos, un comercializador, 16 profesionistas, un alcalde, tres encargados de fomento agropecuario (de tres municipios), cuatro servidores de la SADER, incluido el encargado de despacho, dos representantes de SEDARPA, tres integrantes del Comité Nacional del Sistema Producto Cítricos, un representante de COVEICyDET y un viverista. En Tabasco asistieron 17 Productores, dos técnicos encargados de huertas, siete investigadores y tres funcionarios (SADER y Sanidad Vegetal). Los principales resultados que se indican corresponden únicamente a la opinión de los productores y técnicos asistentes, los cuales se mencionan a continuación: a) priorización de los cinco PON presentados, b) los productos a generar para cada uno de los cinco PON que consideraron más importantes y c) las demandas adicionales que manifestaron.



Resultados con relación a la priorización de los cinco problemas definidos como prioritarios. En Veracruz, alrededor del 80% de los asistentes consideraron que era importante atender los problemas de MDRyA y contaminación ambiental, mientras que, alrededor del 20% opinó que la Tristeza y la Leprosis son problemas cuyas acciones de investigación pueden esperar y el menos del 3% consideró que no es necesario atenderlos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Opinión de los productores y técnicos asistentes al taller, sobre la problemática de las cadenas agroalimentarias de naranja y limón Persa en Veracruz.^Z

Orden de prioridad	PON ^Z	Importancia relativa otorgada por asistentes (%)			
		Es importante	Puede esperar	No es necesario	No opinó
1	MDRyA	84.0	13.0	1.0	2.0
2	Contaminación ambiental	80.0	11.0	1.0	8.0
3	Huanglongbing	78.0	16.0	3.0	3.0
4	Tristeza	67.5	21.3	2.5	8.7
5	Leprosis	62.0	25.0	1.0	12.0

^Z Los problemas fueron propuestos por el grupo de trabajo de cítricos del CIRGOC y validados y priorizados por los productores y técnicos asistentes al taller; MDRyA: Muerte descendente de ramas y árboles.

En Tabasco, más del 80% de los asistentes consideró importante la MDRyA; más del 20% opinó que la contaminación ambiental, Tristeza y Leprosis son problemas, cuyas acciones pueden esperar; mientras que el 10, 11 y el 19%, opinaron que HLB, Tristeza y Leprosis, respectivamente, no es necesario atenderlos (Cuadro 3).

En ambos talleres, la MDRyA y contaminación ambiental fueron calificados, como los prioritarios para ser atendidos, por dos causas: a) impacto adverso en la citricultura y b) se ha hecho menos investigación para atenderlos, no solo en la región del Golfo, sino en todo el país. En cambio, Tristeza y Huanglongbing, tuvieron importancia intermedia, lo que fortalece la opinión de darles mayor importancia en los procesos de validación y transferencia de tecnología (Cuadro 1). La Leprosis obtuvo la menor importancia para ser atendida, el mayor porcentaje de opiniones de que puede esperar y, hasta el 25% de los asistentes en Tabasco, opinó que no es necesario atenderla. Una explicación a ello, puede ser lo siguiente: a) en Tabasco la Leprosis apareció desde 2004 y causó sus daños en los siguientes 10 años, con lo que disminuyó el interés por cultivar naranjos; mientras que, en Veracruz llegó en 2010,



pero su daño ha sido mínimo, por lo que, la gran mayoría de los productores de naranja no están sensibilizados de su importancia; b) la mayoría de los asistentes fueron productores de limón Persa (más del 90% en Veracruz y más del 80% en Tabasco), especie que no ha sido afectada por Leprosis en el Golfo Centro.

Cuadro 3. Opinión de los productores y técnicos asistentes al taller, sobre la problemática de las cadenas agroalimentarias de naranja y limón Persa en Tabasco. ^Z

Prioridad	PON	Importancia relativa otorgada por asistentes (%)			
		Es importante	Puede esperar	No es necesario	No opinó
1	MDRyA	82.0	16.0	1.0	1.0
2	Contaminación ambiental	68.0	26.0	4.0	2.0
3	Huanglongbing	59.0	19.0	10.0	12.0
4	Tristeza	50.0	32.0	11.0	7.0
5	Leprosis	31.0	36.0	19.0	14.0

^Z Los problemas fueron propuestos por el grupo de trabajo de cítricos del CIRGOC y validados y priorizados por los productores y técnicos asistentes al taller.

Resultados con relación a los productos que se pretenden obtener con las acciones de investigación, validación y transferencia de tecnología de los cinco problemas propuestos. Los productos aprobados por los asistentes en Veracruz (más del 80%) y Tabasco (más del 70%) para cada uno de los cinco problemas, fueron:

Contaminación ambiental. a) manejo de la maleza con coberturas vegetales y plásticos biodegradables, con base a los períodos críticos de daño al árbol y su fenología, b) tecnología agroecológica para disminuir el daño de *Lasiodiplodia*, c) manejo agroecológico usado por productores, d) tecnología para recuperar la capacidad productiva de los cítricos y disminuir los daños fitosanitarios, restaurando la microbiota del suelo (incorporación de la biomasa de coberturas vegetales y desarrollo de policultivos), e) tecnología agroecológica para incrementar la productividad de las huertas, f) capacitación participativa en manejo orgánico.

Virus tristeza. a) capacitación para identificar y manejar a los vectores, patrones, planta certificada y tecnologías que se generen.



Huanglongbing. a) manual de componentes tecnológicos generados y validados por el INIFAP (fertilización, riego, acolchado, cubierta de malla antiáfidos, manejo orgánico de plagas y enfermedades y nutrición, poda, entre otros) para convivir con el HLB y su vector, de una manera rentable, b) capacitación participativa sobre el manejo del HLB y su vector, c) prácticas culturales para disminuir el daño de HLB, disminuyendo los efectos de la sequía.

Leprosis. a) capacitación sobre el manejo integral de la enfermedad y su vector, b) acuerdo con SENASICA (2020), otras instituciones y citricultores para hacer frente a la leprosis de los cítricos: Acciones y Compromisos, c) paquete agroecológico para disminuir el impacto del virus.

Demandas de acciones adicionales manifestadas por los usuarios en los talleres realizados en abril de 2022, en Veracruz y Tabasco. Las demandas manifestadas fueron las siguientes: a) capacitación sobre manejo del limón Persa, con apoyo de productores organizados en Tabasco, b) manejo de malezas y arvenses como hospederas de trips y mosca prieta, para disminuir su daño, c) patrones precoces para entrar a producción, con mayor volumen de producción durante los periodos de mayor rentabilidad y tolerancia al Huanglongbing, MDRyA y al Wood Pocket, e) tecnología para incrementar la producción y calidad de la fruta, usando bioestimulantes, f) tipología del productor de Tabasco y sus necesidades de investigación y g) manejo de la MDRyA.

Conclusiones

1. El proceso de captación de demandas establecido arrojó resultados positivos para la identificación y priorización de los PON, a partir de la experiencia del grupo multidisciplinario de investigadores y de los productores de ambas cadenas.
2. Los cinco PON, priorizados conjuntamente entre investigadores, productores y técnicos, para ambas cadenas, fueron: muerte descendente de ramas y árboles, contaminación ambiental debido al manejo convencional de las huertas, Huanglongbing, Virus Tristeza y Leprosis.
3. Los productores y técnicos manifestaron sus demandas específicas de capacitación e investigación y mostraron su interés en apoyar el desarrollo de estas.



Literatura Citada

- Batool, A., Y. Iftikhar, S. M. Mughal, M. M. Khan, M. J. Jaskani, M. Abbas *et al.* 2007. Citrus greening disease-a major cause of citrus decline in the world-a review. Hort. Sci. (Prague) 34(4):159-166.
- Bautista-Cruz, M. A., G. Almaguer-Vargas, S. G. Leyva-Mir, M. T. Colinas-León, K. C. Correia, M. Camacho-Tapia *et al.* 2019. Phylogeny, distribution, and pathogenicity of *Lasiodiplodia* species associated with cankers and dieback symptoms of Persian lime in Mexico. Plant Dis. 103(6):1156-1165.
- Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2009. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. Crit. Rev. Plant Sci. 28(3):139-163.
- Calatayud-Vernich, P., F. Calatayud, E. Simó, M. M. Suarez-Varela and Y. Picó. 2016. Influence of pesticide use in fruit orchards during blooming on honeybee mortality in 4 experimental apiaries. Sci. Total Environ. 541:33-41.
- Collotta M., P. A. Bertazzi and V. Bollati. 2013. Epigenetics and pesticides. Toxicology 307:35-41.
- Cycon M., Z. Piotrowska-Seget and J. Kozdrój. 2010. Responses of indigenous microorganisms to a fungicidal mixture of mancozeb and dimethomorph added to sandy soils. Int. Biodeterior. Biodegrad. 64:316-323.
- Da Graca, J. V., M. Kunta, M. Sétamou, J. Rascoe, W. Li, M. K. Nakhla *et al.* 2015. Huanglongbing in Texas: Report on the first detections in commercial citrus. J. Citrus Pathol. 2(1).
- Geilfus, F. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo Diagnostico, Planificación, Monitoreo, Evaluación. IICA. San Salvador, El Salvador. 22 p.



Gottwald, T. R. 2010. Current epidemiological understanding of citrus huanglongbing. *Annu. Rev. Phytopathol.* 48:119-139.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria). 2023. Que hacemos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. <https://www.gob.mx/inifap/que-hacemos> [consultado el 14 de julio de 2023]

IPPC (International Plant Protection Convention). 2019. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) 5. Glossary of Phytosanitary Terms. International Plant Convention (IPPC). <https://www.ippc.int/es/publications/622/>. [consultado el 10 de febrero de 2023]

Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy *et al.* 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nat. Commun.* 12(1):1-8.

Machado, M. A., E. C. Locali-Fabris and H. Della Coletta-Filho. 2017. *Candidatus* Liberibacter spp., agentes do huanglongbing dos citros. *Citrus Res. Technol.* 31(1):25-35.

Mera-Andrade R., C. Bejarano-Rivera, J. Sanchez-Espin, J. Artieda-Rojas, P. Pomboza-Tamaquiza, C. Alban-Yañez *et al.* 2019. Application of ancestral bio-knowledge in agricultural production. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 22(3):837-843.

Mondragón-Flores, A., G. Rodríguez-Alvarado, N. Gómez-Dorantes, J. J. Guerra-Santos y S. P. Fernández-Pavía. 2021. Botryosphaeriaceae: una familia de hongos, compleja, diversa y cosmopolita. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 12(4):643-654.

Nunes, M., M. Bastianel, V. Novelli, P. Ramos-González, W. Kitajima, E. Machado *et al.* 2013. Etiología, historia, situación mundial y manejo de la leprosis de los cítricos y sus vectores. https://www.researchgate.net/publication/258889821_Etiologia_historia_situacion_mundial_y_manejo_de_la_leprosis_de_los_citricos_y_sus_vectores. [consultado el 10 de febrero de 2023]



- Pandey S. and D. K. Singh. 2004. Total bacterial and fungal population after chlorpyrifos and quinalphos treatments in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) soil. *Chemosphere* 55:197-205.
- Ramos-González, P.L., C. Chabi-Jesus, G. Dias-Arena, D. Tassi A., W. Kitajima E y J. Freitas-Astúa. 2018. Leprosis de los cítricos: una enfermedad multietiológica singular. *Cítricos en las Américas* 1(1):4-19.
- Revillini, D., C. A. Gehring and N. C. Johnson. 2016. The role of locally adapted mycorrhizas and rhizobacteria in plant–soil feedback systems. *Funct. Ecol.* 30(7):1086-1098.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2010. Protocolo técnico para la detección y manejo de la leprosis de los cítricos. Dirección General de Sanidad Vegetal. 29 p.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Plagas Reglamentadas de los Cítricos. Virus de la tristeza de los cítricos Severo. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección General de Sanidad Vegetal.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 21 de agosto de 2023].
- Zhou, C. 2020. The status of citrus Huanglongbing in China. *Trop. Plant Pathol.* 45(3):279-284.



FLORACIÓN Y FRUCTIFICACION DE ORQUÍDEAS EN EL COLEGIO DE POSTGRADUADOS CAMPUS CÓRDOBA

Obdulia Baltazar Bernal^{78*}, Víctor Manuel De la Cruz Martínez⁷⁹, Arturo Hernández García⁷⁸ y Jesús Zavala Ruiz⁸⁰

Resumen

La familia Orchidaceae está dentro de los primeros lugares en número de especies a nivel mundial. Su importancia radica en la parte ecológica por la relación con los polinizadores y hongos micorrízicos, y en la parte económica en la venta de orquídeas en maceta de hídricos mejorados. México tiene más de 1300 especies con casi el 50% de endemismo. Es necesario realizar estudios para conocer y poder aprovechar las orquídeas, para evitar un desbalance en las poblaciones o, peor aún, una disminución de estas. Desafortunadamente los estudios de orquídeas en ambientes antropizados que incluyan la floración y polinización natural son escasos. Los objetivos de este trabajo fueron: registrar la riqueza de orquídeas, la floración, algunos polinizadores y la fructificación de orquídeas polinizados de manera natural en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (CPCC). Se realizaron recorridos dentro del CPCC. Se registraron, identificaron y contabilizaron cada una de las orquídeas en cada especie, además, se registró el periodo de la floración y fructificación entre enero 2021 y abril de 2023. En total se encontraron 27 especies agrupadas en 19 géneros. Los géneros con mayor número de especies fueron *Epidendrum* (3), *Maxillaria* (3), y *Stanhopea* (3). En abril, se observó la mayor diversidad de frutos de estas orquídeas. *Specklinia digitale* y *S. tribuloides* tuvieron tres periodos de floración en el año. *S. digitale* y *Trichocentrum stramineum* tuvo el menor y mayor periodo de fructificación respectivamente. Se detectaron orquídeas que tuvieron polinizador, 10 especies presentaron polinización natural, casi un 30%, por lo que, se considera que habiten en un ambiente relativamente hostil para su reproducción. Por lo anterior, tener registro de floración y fructificación es imprescindible para tener bancos de germoplasma de orquídeas para su conservación y reproducción.

Palabras clave: cápsula, epífita, forófito, nativa, polinizador

⁷⁸ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. *Autor por correspondencia: obduliabb@colpos.mx

⁷⁹ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

⁸⁰ Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Iztapalapa.



Introducción

La familia Orchidaceae es uno de los grupos vegetales más abundantes y diversos a nivel mundial, junto con la familia Asteraceae, Fabaceae y Poaceae (Chase *et al.*, 2015), teniéndose un estimado de 24,500 especies (Chase *et al.*, 2003). La orquídeoflora de México ha sido ampliamente estudiada, registrando una riqueza mayor a 1,200 especies (Villaseñor, 2016). Además, México posee el 56.2% de endemismo en Latinoamérica (Espejo-Serna, 2012), uno de los más altos, junto con el 41.7% de Colombia y el 42.6% de Ecuador. Uno de los estados mejor investigados en flora epífita es Veracruz (Krömer *et al.*, 2020), con 432 especies de orquídeas (Krömer *et al.*, 2021) y 11 especies endémicas (Castillo-Campos *et al.*, 2005).

La influencia antrópica sobre la diversidad de orquídeas y otras plantas epífitas es de alto impacto en la actualidad, ya que, en ecosistemas donde existe intervención humana hay una reducción de más de la mitad de las poblaciones de epífitas, en comparación con los ambientes conservados (Krömer *et al.*, 2021). Algunos estudios evalúan la riqueza de orquídeas en agroecosistemas cafetaleros (García-Franco y Toledo-Aceves, 2017), en plantaciones de cacao (Linares, 2012), en ecosistema urbano (Baltazar-Bernal *et al.*, 2020), en huertos familiares (Hernández-Alcázar *et al.*, 2017) o también los efectos de la perturbación antrópica en *Rhynchostele cervantesii* (Cervantes-Uribe, 2018), una especie endémica de México. La floración se divide en seis diferentes sub etapas: inducción, iniciación, diferenciación (organogénesis), elongación del tallo floral, la maduración y crecimiento de los órganos florales y antesis (Taiz *et al.*, 2015); la fructificación tiene la siguientes etapas: 1) la polinización (los granos de polen de los polinios fertilizan miles o millones de óvulos en un solo evento) (Hágsater *et al.*, 2015), 2) ensanchamiento o desarrollo del pedúnculo floral (división celular), 3) expansión (agrandamiento celular), 4) llenado de semilla y maduración, 5) maduración (Taiz *et al.*, 2015) y la fase de senescencia con la liberación de las semillas.

Aunque la riqueza y diversidad de orquídeas en ambientes antropizados han sido abordados por múltiples autores, existen pocos estudios sobre los periodos de floración, fructificación ligados a las cualidades de las semillas para propagación (Arditti y Ghani, 2000). Por ejemplo, se estudio la diversidad de frutos de orquídeas en fragmentos de bosque mesófilo y selva alta perennifolia, en el municipio de Cuetzalan del Progreso, Puebla, enfocado a evaluar la calidad de la salud de un ecosistema, utilizando los frutos y la fenología de las orquídeas para evaluar el equilibrio de los ecosistemas que habitan, además de orientar sobre medidas de conservación (Cetzal-Ix *et al.*, 2014).



Ante ello, es necesario ampliar el conocimiento sobre la fenología de orquídeas en ambientes alterados por las actividades humanas.

Se considera que estudiar el periodo de floración y fructificación de las orquídeas permite disponer de información adicional para programas de conservación y aprovechamiento ornamental. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue: registrar la riqueza de las especies de orquídeas, la floración y fructificación de orquídeas polinizadas de manera natural en los jardines del Campus Córdoba del Colegio de postgraduados.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (CPCC), situado en Amatlán de los Reyes, en las coordenadas 18° 51' 21'' N y 96° 51' 35'' O, a una altitud de 647 m.s.n.m. Su clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en, con una temperatura media anual 20°C y una precipitación total anual media de 1,900 mm (INAFED, 2020)

La vegetación original del CPCC era selva baja tropical y bosque mesófilo, en un área de 57 ha; sin embargo, el área total de conteo fue de 2 ha en los jardines de las instalaciones del Campus, rodeado de terrenos de cultivo. Una parte de las especies de orquídeas estudiadas nacieron aquí y se hospedan en *Pouteria sapota*, *Dioon edule* y *Thuja occidentalis*, pero otras especies de orquídeas fueron introducidas hace 25 años y colocadas en forófitos de *Mangifera indica*, *Citrus x limon*, *Persea schiedeana* y *Cedrela odorata*.

Registro de datos

La recopilación de la riqueza de orquídeas se realizó en recorridos dentro del campus de enero de 2021 a abril de 2023 en un área de 2.0 ha. De manera general, para los individuos de cada especie se registraron la época de floración, polinización y formación del fruto.

La identificación botánica se realizó mediante consulta de artículos científicos y las bases de datos, Trópicos, Naturalista y Gbif (GBIF The Global Biodiversity Information Facility, 2022). Se compararon los registros fotográficos obtenidos con las claves taxonómicas y los datos de la distribución geográfica que se reportan en la literatura.

La floración se registró desde la apertura de la primera flor, hasta la marchitez de la última. Se



observaron y fotografiaron algunos insectos visitantes florales naturales que interactuaron con las flores de las orquídeas y se buscó en la literatura el género o la especie; se registró en las orquídeas polinizadas de manera natural, asimismo, el periodo de fructificación se consideró a partir de la marchitez de la flor hasta que se cosechó el fruto. Por último, se fotografiaron los frutos desarrollados en las distintas orquídeas en estado maduro, antes de la dehiscencia.

Resultados y Discusión

Riqueza de orquídeas

En los jardines del CPCC hay una riqueza de 27 especies de orquídeas, agrupadas en 19 géneros y dando un total de 536 individuos (Cuadro 1). Los géneros con mayor número de especies fueron *Epidendrum* (3), *Maxillaria* (3), y *Stanhopea* (3). Entre las que destacan son *Specklinia digitale* (Luer.) Pridgeon y M.W. Chase (A), *Stanhopea oculata* (G. Lodd.) Lindl. (A) y *S. trigrina* Bateman (A), todas en alguna categoría de riesgo según la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010). Las orquídeas como *Catasetum integerrimum*, *Oncidium sphacelatum*, *Trichocentrum lindenii* y *T. lindenii* tienen poblaciones más numerosas posiblemente por ser especies de la vegetación de clima del lugar, selva baja tropical (Hágsater *et al.*, 2015). Cinco especies de orquídeas con poblaciones cercanas a 20 individuos. Sin embargo, la mayoría de las orquídeas que componen la población son de uno a siete individuos (Cuadro 1).

Floración

La floración de *Epidendrum radicans*, *Laelia anceps*, *Maxillaria densa*, *Specklinia tribuloides*, *Trichocentrum lindenii* y *T. luridum* ocurrió en los meses con temperaturas más frescas, que son de octubre a febrero (Cuadro 2), pero, la floración *Catasetum integerrimum* y *O. sphacelatum* que se dió en mayo, ésta se ve afectada y reducida en su duración por los vientos cálidos. *Catasetum integerrimum* tiene por polinizador a la abeja *Eulaema polychroma* (Figura 1 izquierda) y *Notylia barkeri* es polinizada por las abejas de la tribu *Euglossini* (Damon y Roblero, 2007) (Figura 1 derecha).



Figura 1. Flores e insectos polinizadores de las orquídeas estudiadas en el Campus Córdoba, Amatlán de los Reyes Veracruz, México. Izquierda) *Catasetum integerrimum* y *Eulaema polychroma*; derecha) *Notylia barkeri* y *Euglossa* sp.

Fructificación

El que sólo 10 especies de las 27 formen fruto es un indicio de que las actividades antropocéntricas han afectado las condiciones ambientales reduciendo la presencia de los polinizadores. Las especies con mayor número de individuos en los jardines del CPCC forman fruto (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Abundancia relativa de las orquídeas del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (CPCC).

Especie	Abundancia relativa	Total
<i>Brassia verrucosa</i> Lindl.	1.3	7
* <i>Catasetum integerrimum</i> Hook.	23.7	127
<i>Encyclia parviflora</i> (Regel) Withner.	0.6	3
<i>Epidendrum cardiophorum</i> Schltr.	0.2	1
<i>Epidendrum ciliare</i> Jacq.	0.2	1
<i>Epidendrum radicans</i> Pav. ex Lindl.	3.7	20
<i>Laelia anceps</i> Lindl.	3.7	20
<i>Lycaste aromatica</i> (Graham) Lindl.	0.4	2
<i>Maxillaria densa</i> Lindl.	0.7	4
<i>Maxillaria elatior</i> Rchb. f.	0.4	2



Especie	Abundancia relativa	Total
<i>Maxillaria variabilis</i> Bateman ex Lindl.	0.4	2
<i>Myrmecophila grandiflora</i> (Lindl.) Carnevali, Tapia-Muñoz & I. Ramírez	1.9	10
<i>Notylia barkeri</i> Lindl.	1.5	8
<i>Oncidium sphacelatum</i> Lindl.	21.5	115
<i>Platystele stenostachya</i> (Rchb. f.) Garay.	0.2	1
<i>Prosthechea ochracea</i> (Lindl.) W.E. Higgins	0.7	4
<i>Prosthechea radiata</i> (Lindl.) W.E. Higgins.	3.7	20
<i>Rhyncholaelia glauca</i> (Lindl.) Schltr.	0.2	1
* <i>Specklinia digitale</i> (Luer) Pridgeon & M.W. Chase.	3.4	18
<i>Specklinia tribuloides</i> (Sw.) Pridgeon & M.W. Chase.	3.7	20
* <i>Stanhopea oculata</i> (G. Lodd.) Lindl.	0.2	3
* <i>Stanhopea ruckeri</i> Lindl.	0.4	2
* <i>Stanhopea trigrina</i> Bateman.	0.4	2
<i>Trichocentrum lindenii</i> (Brongn.) M.W. Chase & N.H. Williams	11.2	60
<i>Trichocentrum luridum</i> (Lindl.) M.W. Chase & N.H. Williams.	15.3	82
<i>Trichosalpinx ciliaris</i> (Lindl.) Luer.	0.20	1
Total	100	536

*En alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana 059 (SEMARNAT, 2010).

En octubre de 2021, se establecieron 18 plantas de *L. anceps* y con esto se logró obtener un fruto en 2022 y 2023. La duración de la formación de fruto al parecer tiene una relación directa con el tamaño de la planta y del fruto. *Specklinia digitale* y *S. tribuloides*, que son especies pequeñas, la maduración del fruto se da en menos de un mes. En especies de porte mediano como *Epidendrum radicans*, *Laelia anceps* y *Maxillaria densa* (Figura 2), la maduración de la capsula tarda de tres a cuatro meses (Cuadro 2) y las especies grandes como *Catasetum integerrimum* (Figura 2) y *Oncidium sphacelatum* tardan 9 y 11 meses respectivamente (Cuadro 2).



Figura 2. Fruto de las orquídeas estudiadas en el Campus Córdoba, Amatlán de los Reyes Veracruz, México. Izquierda) *Maxillaria densa*; derecha) *Catasetum integerrimum*.

Cuadro 2. Orquídeas polinizadas naturalmente en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba (CPCC).

Especie	Floración	Polinizador	Fuente	Fructificación
<i>Catasetum integerrimum</i> Hook.	Mayo-septiembre	<i>Eulaema polychroma</i> , <i>E. cingulata</i>	Hernández-Ramírez (2021)	Junio-Abril
<i>Epidendrum radicans</i> Pav. ex Lindl.	Enero-abril	<i>Anartia fatima</i> , <i>Danaus</i> spp.	Wolfe (1987)	Febrero-Abril
<i>Laelia anceps</i> Lindl.	Octubre-Diciembre	<i>Bombus medius</i>	Rodríguez <i>et al.</i> (1996)	Diciembre-Abril
<i>Maxillaria densa</i> Lindl.	Enero-Febrero	<i>Melipona</i> sp., <i>Trigona</i> sp., <i>Partamona</i> sp.	Roubik (2000)	Febrero-Abril
<i>Notylia barkeri</i> Lindl.	Marzo-abril	<i>Euglossa</i> sp.	Damon y Salas (2007)	Marzo-mayo



Espece	Floración	Polinizador	Fuente	Fructificación
<i>Oncidium sphacelatum</i> Lindl.	Abril-Mayo	<i>Centris mexicana</i>	Damon y Cruz (2006)	Mayo-Abril
<i>Specklinia digitale</i> (Luer) Pridgeon & M.W. Chase.	Enero- Noviembre	---		Enero-Febrero
<i>Specklinia tribuloides</i> (Sw.) Pridgeon & M.W. Chase.	Febrero- Octubre	<i>Drosophila</i> sp.	Karremans <i>et al.</i> (2015)	Enero-Febrero
<i>Trichocentrum lindenii</i> (Brongn.) M.W. Chase & N.H. Williams	Enero-Febrero	<i>Centris</i> sp.	Pij y Dodson (1966)	Febrero-Mayo
<i>Trichocentrum luridum</i> (Lindl.) M.W. Chase & N.H. Williams.	Enero-Febrero	<i>Centris ruthannae</i>	Carmona-Díaz y García-Franco (2009)	Febrero-Mayo

Conclusiones

Sólo un 30% de las especies de orquídeas presentaron polinización natural, lo que demuestra que las orquídeas estén habitando en un ambiente relativamente hostil para su reproducción. Por lo cual, realizar estudios que contengan la floración y fructificación, es imprescindible para generar bancos de germoplasma a fin de propiciar la conservación y reproducción de las orquídeas.

Literatura Citada

- Arditti, J. and A. K. A. Ghani. 2000. Tansley Review No. 110. Numerical and physical properties of orchid seeds and their biological implications. *New Phytol.* 145(3):36-421.
- Baltazar-Bernal, O., V. M. De la Cruz-Martínez y J. Zavala-Ruiz. 2020. Las orquídeas del Campus Córdoba, su estudio y preservación. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 38 p.



- Carmona-Díaz, G. and J. G. García-Franco. 2009. Reproductive success in the Mexican rewardless *Oncidium cosymbephorum* (Orchidaceae) facilitated by the oil-rewarding *Malpighia glabra* (Malpighiaceae). *Plant Ecol.* 203:253-261.
- Castillo-Campos, G., M. Medina Abreo, P. D. Dávila Aranda y J. A. Zavala Hurtado. 2005. Contribución al conocimiento del endemismo de la flora vascular en Veracruz, México. *Acta Bot. Mex.* 73:19-57.
- Chase, M. W., K. M. Cameron, R. L. Barrett and J. V. Freudenstein. 2003. DNA data and Orchidaceae systematics: A new phylogenetic classification. p. 69-89. *In:* K. W. Dixon, S. P. Kell, R. L. Barrett y P. J. Cribb. (eds.). *Orchid Conservation. Natural History Publications.* Kota Kinabalu, Sabah.
- Chase, M. W., Cameron, K. M., Freudenstein, J. V., Pridgeon, A. M., Salazar, G., Van den Berg, C. and Schuiteman, A. 2015. An updated classification of Orchidaceae. *Bot. J. Linn. Soc.* 177(2):151-174.
- Cervantes-Uribe, J. S. 2018. Efecto de la perturbación antrópica en la ecología de *Rhynchostele cervantesii* (Orchidaceae) en bosque mesófilo de montaña, Tingambato, Michoacán, México. Tesis de maestría. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 79 p.
- Cetzal-Ix, W., R. Alvarez-Mora, S. K. Basu, J. Cosme-Pérez y E. Noguera-Savelli. 2014. Orchid fruit diversity at Puebla Mexico: A new insight into the biodiversity of a fragmented ecosystem with need for conservation and potential for horticultural exploitations in future. p. 207-220. *In:* D. Nandwani. (ed.). *Sustainable horticultural systems: Issues, technology and innovation.* Springer. Switzerland.
- Damon, A. A., and L. Cruz-López. 2006. Fragrance in relation to pollination of *Oncidium sphacelatum* and *Trichocentrum oerstedii* (Orchidaceae) in the Soconusco region of Chiapas, Mexico. *Selbyana* 27(2):186-194.



- Damon, A and P. Salas-Roblero. 2007. A survey of pollination in remnant orchid populations in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Trop. Ecol.* 48(1):1-14.
- Espejo-Serna, A. 2012. El endemismo en las Liliopsidas mexicanas. *Acta Bot. Mex.* 100:195-257.
- García-Franco, J. G. y Toledo-Aceves, M. T. 2017. Diversidad de orquídeas (Orchidaceae) en agroecosistemas cafetaleros. *Agroproductividad* 10(6):19-24.
- Hágsater, E., M. A. Soto-Arenas, G. A. Salazar, R. Jiménez-Machorro, M. A. López-Rosas y R. L. Dressler. 2015. Las orquídeas de México. Instituto Chinoín. Ciudad de México. 302 p.
- Hernández-Alcázar, J. A., O. Farrera-Sarmiento y C. R. Beutelspacher. 2017. Orquídeas en huertos familiares de Pantelhó, Chiapas, México. *Lacandonia* 11(1):11-18.
- Hernández-Ramírez, A. M. 2021. Reproductive ecology of Euglossine bee-pollinated orchid *Catasetum Integerrimum* Hook. (Orchidaceae). *Res. Sq.* 1-15.
- INAFED. 2020. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Amatlán de Los Reyes. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30014a.html>. [consultado el 1 de junio de 2023].
- Karremans, A. P., F. Pupulin, D. Grimaldi, K. K. Beentjes, R. Butôt, G. E. Fazzi *et al.* 2015. Pollination of *Specklinia* by nectar-feeding *Drosophila*: the first reported case of a deceptive syndrome employing aggregation pheromones in Orchidaceae. *Ann. Bot.* 116(3):437-455.
- Krömer, T., A. Espejo-Serna, A. R. López-Ferrari, A. R. Acebey, J. García-Cruz y G. Mathieu. 2020. Las angiospermas epífitas del estado de Veracruz, México: diversidad y distribución. *Rev. Mex. Biodivers.* 91:1-110.



- Krömer, T., J. Viccon-Esquivel y J. A. Gómez-Díaz. 2021. Efectos antrópicos sobre la diversidad de epífitas vasculares y orquídeas en el centro de Veracruz. p. 235-252. *In:* J. Viccon Esquivel, M. Castañeda Zárate, R. Castro Cortés y W. Cetzal Ix (eds.). Las orquídeas de Veracruz. Editorial de la Universidad Veracruzana. Xalapa, México.
- Linares, J. M. 2012. Diversidad y conservación de orquídeas en plantaciones de cacao del sureste de México. Tesis de Maestría. INECOL. Xalapa, Veracruz. 90 p.
- Pijl, L. V. D. and C. H. Dodson. 1966. Orchid flowers, their pollination and evolution. Univ. Miami Press, Coral Gables, Florida. 214 p.
- Rodríguez Flores, L. M., H. Barney Guillermo y S. M. Vázquez Torres. 1996. Registro de la polinización en *Laelia anceps* Ldl. (Orchidaceae). <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/5474/199623P83.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [consultado el 1 de junio de 2023].
- Roubik, D. W. 2000. Deceptive orchids with Meliponini as pollinators. *Plant Syst. Evol.* 222:271-279.
- SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. México: Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf. [consultado el 18 de julio de 2022].
- Taiz, L., E. Zeiger, I. M. Møller and A. Murphy. 2015. *Plant physiology and development*. Ed. 6. Sinauer Associates Incorporated. Massachusetts, USA. 761 p.
- Wolfe, L. M. 1987. Inflorescence size and pollinaria removal in *Asclepias curassavica* and *Epidendrum radicans*. *Biotropica* 19(1):86-89.



GBIF The Global Biodiversity Information Facility. 2022. <https://www.gbif.org> [consultado el 18 de julio de 2022].

Villaseñor, J. L. 2016. Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Rev. Mex. Biodivers.* 87(3):559-902.



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y BIOQUÍMICA EN PLÁNTULAS DE *Agave americana* L. OBTENIDAS POR MUTAGÉNESIS QUÍMICA

Sugey Vásquez Hernández⁸¹, Sheila Jazmín Reyes Zambrano⁸¹, Rosalía Nuñez Pastrana⁸²,
Federico Antonio Gutierrez Miceli⁸¹, Joaquín Adolfo Montes Molina⁸¹ y Carlos Alberto Lecona Guzmán^{81*}

Resumen

El *Agave americana* L. es una fuente potencial de ingredientes funcionales y nutritivos, sin embargo, presenta problemas fitosanitarios principalmente por la enfermedad de la marchitez y pudrición del cogollo, asociada a la presencia del hongo *Fusarium oxysporum*. Por esta razón, existe la necesidad de implementar métodos biotecnológicos como el mejoramiento genético mediante mutagénesis química. El objetivo de este estudio fue, evaluar parámetros morfológicos, morfométricos y bioquímicos de 10 ejemplares de *A. americana*, las cuales fueron obtenidas mediante mutagénesis química empleando metanosulfonato de etilo. Se determinó la longitud, ancho y número de hojas, altura de la planta, longitud de la raíz y de la espina, hábito de crecimiento, forma y curvatura de las hojas, color, contenido de clorofila, carotenos, fenoles, flavonoides, proteínas y fenilalanina amoníaco-liasa. La planta 1 presentó un mayor número de hojas (10), La planta control mostró una mayor longitud (21.8 cm), la mayor altura se observó en el ejemplar 3 (13.5 cm), todos los ejemplares obtenidos mediante mutagénesis química presentaron una longitud de raíz y espina menor al control. La forma de las hojas más común fue la forma lanceolada, el color principal fue variado en todos los ejemplares. La uniformidad del tamaño de las espinas fue homogénea en todos los ejemplares. El contenido de clorofila fue mayor en el ejemplar 1, así como la mayor producción de carotenos (1.7 ± 0.064 $\mu\text{g}/\text{mg}$ de peso fresco), mientras que, el ejemplar 10 presentó la mayor producción de fenoles (138.54 ± 10.1 μg EAG/ g de peso seco), por otra parte, el tratamiento control fue el de menor producción de flavonoides (1.88 ± 0.18 μg EDQ/g de peso seco). El ejemplar con mayor contenido de proteínas totales fue el 4 (0.391 ± 0.015 mg EDA/g de peso fresco), por último, el ejemplar 9 presentó el mayor contenido de la enzima PAL (0.3 ± 0.024 mg EAC/ mg de proteína). El Metanosulfonato de etilo generó

⁸¹ Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, TecNM-CampusTuxtla Gutiérrez. *Autor por correspondencia: leconaguzmancarlos@gmail.com

⁸² Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana.



modificaciones morfológicas, morfométricas y bioquímicas en plantas de *A. americana* presentando una alternativa para el mejoramiento genético de esta especie.

Palabras clave: mejoramiento genético, agave comiteco, metanosulfonato de etilo, metabolitos especializados

Introducción

El Agave, conocido comúnmente como “maguey”, es una especie ampliamente conocida en nuestro país, tiene una gran importancia social, ecológica y económica. El género agave contiene aproximadamente 210 especies, 159 están presentes en México y 129 son endémicas del territorio mexicano, que representan 61% de las especies del mundo y 81% de las que se distribuyen en México (García Mendoza *et al.*, 2019), su principal uso es la producción de bebidas alcohólicas como el tequila, mezcal, pulque, comiteco, entre otros (Pérez-Zavala *et al.*, 2020).

En la actualidad, el agave tiene varios usos, la planta completa se utiliza como cerca viva, mientras que los subproductos, tienen una amplia gama de aplicaciones, las bebidas elaboradas con agave predominan como la aplicación más popular, seguida de los alimentos y los fines agrícolas (Álvarez-Chávez *et al.*, 2021). Por otro lado, la mutación inducida ha demostrado ser una técnica muy eficiente para el estudio de plantas modelo, para la introducción de rasgos deseables en varias especies de cultivos (Zambrano Velásquez *et al.*, 2021), siendo el metanosulfonato de etilo (MSE) el mutágeno químico más utilizado en las plántulas. El MSE puede causar efectos biológicos en la función y metabolismo de las células vegetales, provocando una mayor producción de metabolitos comercialmente útiles y, por tanto, puede conducir al desarrollo de nuevas variedades (Reyes-Zambrano *et al.* 2019). El objetivo de este estudio fue evaluar parámetros morfológicos, morfométricos y bioquímicos de plantas de *A. americana* obtenidas mediante mutagénesis química empleando MSE.



Materiales y Métodos

Lugar de trabajo

La investigación se realizó en el invernadero y las instalaciones del Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, perteneciente al Tecnológico Nacional de México campus Tuxtla Gutiérrez, ubicado en Carretera Panamericana Km. 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Material vegetal

Se emplearon 10 plantas aclimatadas, de 2 años, provenientes de callos tratados con 15 mM de metanosulfonato de etilo y una planta control. Las plantas se mantuvieron en condiciones de invernadero a temperatura entre 30 y 35°C durante el día y 16 –24°C por la noche, con riego cada tercer día.

Variables morfológicas y morfométricas

Los parámetros morfológicos y morfométricos se determinaron empleando la Guía Técnica para la Descripción de Variedades de Agave, basada en la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SAG/FITO-2013). Evaluando número de hojas, longitud y ancho de las hojas, altura de la planta, longitud de la raíz y de la espina, hábito de crecimiento, forma y curvatura de las hojas y color.

Parámetros bioquímicos

Cuantificación de clorofila. La clorofila se determinó según Harborne (1973), se pesaron 0.25 g de muestra de tejido vegetal (*A. americana*) y se procedió a macerar finamente, se colocó la muestra en tubos de ensayo forrados con papel aluminio para proteger la reacción de la luz, se añadieron 2.5 mL de acetona al 80% y las muestras se dejaron en reposo durante 24 h en oscuridad y en refrigeración. Pasadas las 24 h se colocó en un mortero para macerar totalmente manteniendo el aforo inicial, se filtró la muestra en un papel filtro previamente humedecido con acetona al 80% y se aforó a 6.25 mL con acetona al 80%, finalmente se leyó la absorbancia a 645 nm y 663 nm con ayuda de un espectrofotómetro.

Cuantificación de carotenos. Para la cuantificación de carotenos se utilizó el mismo procedimiento que en el método de Harborne (1973), el extracto se leyó a una longitud de onda de 470 nm para la cuantificación se usó la formula sugerida por Pino *et al.* (2018).

Obtención de extracto metanólico. Los extractos crudos se obtuvieron conforme lo descrito por Luján-Hidalgo *et al.* (2015). Se macero 1 g de material vegetal seco en 20 mL de metanol y se sonicó a 25°C



durante 2 h. El extracto se centrifugó a 4000 rpm, durante 10 min para eliminar los sólidos. El extracto se almacenó en refrigeración y oscuridad hasta su análisis.

Cuantificación de fenoles. Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton *et al.* (1999). A una alícuota de 20 μL de extracto metanólico de cada tratamiento, se añadieron 1.5 mL de agua destilada y 100 μL de reactivo Folin-Ciocalteu, después de 5 min se añadieron 300 μL de solución de carbonato sódico al 20% (p/v), se dejó reposar durante 2 h a temperatura ambiente y se determinó la absorbancia a 765 nm con ayuda de un espectrofotómetro. El contenido fenólico total del tejido se expresó como μg de equivalentes de ácido gálico por gramo de peso seco. La concentración se determinó con ayuda de una curva de calibración de 0 a 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de ácido gálico.

Cuantificación de flavonoides. El contenido de flavonoides se determinó por el método colorimétrico del tricloruro de aluminio, descrito por Chang *et al.* (2002). Se tomó una alícuota de 0.5 mL del extracto metanólico, se adicionaron 2.8 mL de agua, 1.5 mL de etanol al 95%, 0.1 mL de cloruro de aluminio al 10% (p/v) y 0.1 mL de acetato de potasio (1 M). La mezcla se homogenizó en vórtex y se dejó reposar durante 30 min. La absorbancia se midió con ayuda de un espectrofotómetro a 415 nm. El contenido total de flavonoles se expresó como μg equivalentes de quercetina por gramo de peso seco. La concentración se determinó con ayuda de una curva de calibración de 0 a 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Extracción enzimática. La extracción enzimática se realizó conforme a lo descrito por Santos–Espinoza *et al.* (2021), se tomó 1 g de muestra vegetal y se macero con ayuda de nitrógeno líquido, las muestras vegetales se homogeneizaron en un tampón de fosfato sódico 100 mM (pH 7) que contenía 0.1 mM de EDTA y 1% (p/v) de polivinilpirrolidona (PVP) a 4°C. La proporción de extracción fue de 4 mL de tampón por cada gramo de material vegetal. La muestra se homogenizó en vórtex y se centrifugo a 15,000 g durante 15 minutos a 4°C, se tomó el sobrenadante y se almaceno en condiciones de refrigeración y oscuridad hasta su análisis.

Cuantificación de proteínas. La cuantificación de proteínas se realizó usando como principio el ensayo de Bradford (1976), a una alícuota de 100 μL de extracto enzimático, se le añadió 1 mL de reactivo de Bradford diluido (1:4), se homogenizó en vórtex, y se dejó reposar 1 min a temperatura ambiente, se midió la absorbancia con ayuda de un espectrofotómetro a 595 nm, las concentraciones se calcularon con ayuda de una curva de calibración usando albumina como referencia en concentración de 0 a 1 mg/mL, el contenido total de proteína en la muestra se expresó como mg equivalentes de albumina por cada gramo de peso fresco.



Cuantificación de fenilalanina amoníaco-liasa (PAL). Para cuantificar la actividad de PAL se utilizó el método de Beaudoin-Eagan y Thorpe (1985). A una alícuota de 100 μ L de extracto enzimático se le adicionaron 1.9 mL de tampón Tris-HCL 50 mM (pH 8), y 1 mL de L-fenilalanina 15 mM, posteriormente se incubó la reacción a 40°C durante 60 min. Las reacciones se detuvieron mediante la adición de 200 μ l de HCl 6 N. Las cantidades de ácido trans-cinámico formadas se determinaron midiendo la absorbancia a 290 nm, frente a una mezcla idéntica. La actividad enzimática se expresó en mg equivalentes de ácido cinámico por cada mg de proteína.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar. Las determinaciones bioquímicas se realizaron por triplicado. Los datos fueron procesados con el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 22 para Windows y el análisis estadístico se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANDEVA) y una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey con un valor de ($p \leq 0.05$) para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

Variables morfométricas y morfológicas

Con respecto a las variables morfométricas evaluadas, se realizó un conteo de hojas para cada individuo evaluado. La planta 1 tuvo un mayor número de hojas (10) con respecto a las demás, las cuales se mantuvieron en un rango de 7 a 8 hojas, con excepción de la planta control y la planta 7, las cuales presentaron un menor número de hojas (6) (Cuadro 1). Respecto a la longitud de las hojas, se observó que la planta control presentó una mayor longitud con 21.8 cm, mientras en el resto de los tratamientos se mantuvieron en el rango de 12 a 15 centímetros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros morfométricos de ejemplares de *A. americana*, obtenidos por mutagénesis química con MSE.

Ejemplar	Número de hojas	Longitud de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Longitud de espina (cm)
Control	6	21.8	3.5	13	52	2.2
1	10	13	1.9	12	31	1.7



Ejemplar	Número de hojas	Longitud de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Altura de planta (cm)	Longitud de raíz (cm)	Longitud de espina (cm)
2	8	14.9	2.6	13	26	0.9
3	7	15.6	3.2	13.5	34	1.8
4	8	15	2.6	10.1	18	1
5	7	12.5	2.9	9	22	1.3
6	7	12.8	2.7	11	19	1.4
7	6	13.4	2.7	9.5	37	1.2
8	7	13.4	3.6	11	36	1.5
9	8	13.2	2.3	5	20	0.9
10	7	14.5	3.5	13	14	1.1

Se presentan las mediciones individuales por cada ejemplar evaluado.

La evaluación del ancho de las hojas reveló que la planta control, y los ejemplares 3, 8 y 10 fueron de mayor tamaño con respecto al resto, con un ancho mayor a 3 cm, mientras que, el ejemplar número 1 presentó el menor tamaño con un ancho de 1.9 cm (Cuadro 1). La mayor altura se obtuvo en el ejemplar 3 con 13.5 cm, sin embargo, la mayoría de las plantas presentaron una altura menor a 12 cm con respecto al control (13 cm), siendo los ejemplares 5 y 9 los más pequeños con una altura de 9 y 5 cm respectivamente (Cuadro 1). En cuanto a la longitud de la raíz, se observó que todos los ejemplares obtenidos a partir de mutagénesis química presentaron una longitud de raíz de 35 cm, mientras que las plantas control (no mutagenizadas) registraron una longitud de 52 cm (Cuadro 1). La evaluación de la longitud de la espina apical mostró una tendencia similar a los resultados obtenidos con respecto al tamaño de la raíz, donde se observó un tamaño mayor de la espina en plantas control (superior a los 2 cm), mientras que los ejemplares mutagenizados presentaron en su mayoría una longitud de espina menor a 1.5 cm (Cuadro 1).

Los estudios realizados a los distintos ejemplares de *A. americana* mostraron diferencias significativas atribuibles al empleo de MSE, el cual se ha reportado tiene un efecto de enanismo en las plantas, estudios realizados en semillas de *Capsicum annuum* expuestas a MSE mostraron una reducción de altura en las plantas germinadas (Arisha *et al.*, 2014). Reyes-Zambrano *et al.* (2019), reportan la inducción de variaciones en parámetros morfológicos y morfométricos en plántulas de *A. americana* obtenidas a partir de callos tratados con MSE, destacando diferencias foliares y la ausencia de espinas.



Corazón-Guivin *et al.* (2022) mencionan que a concentraciones altas de MSE existe una reducción del tamaño en la longitud de *Plukenetia volubilis* debido a que este mutágeno ocasiona inactivación de la síntesis de auxinas, también ocasiona anormalidades fisiológicas, así como alteraciones bioquímicas en la biosíntesis de ácido giberélico y el contenido de ácido ascórbico.

Hadebe *et al.* (2017), mencionan que las auxinas desempeñan un papel vital en el desarrollo lateral y vertical de las plantas, mientras que Mendoza Tello (2019) describe que a mayor concentración de MSE, el crecimiento radicular es menor. La evaluación de los parámetros morfológicos, se presentan en la Cuadro 2, en todos los tratamientos se observó un hábito de crecimiento acaulescente propio de la especie. La forma de las hojas fue distinta entre algunos ejemplares, la más común fue la forma lanceolada estando presente en los ejemplares control, 4, 6, 7 y 10, la forma espatulada estuvo presente en los ejemplares 3, 5 y 9, la forma ovada en los ejemplares 1 y 2, mientras que el ejemplar 8 mostró una forma oblonga (Cuadro 2). La curvatura de las hojas tuvo variaciones, en los ejemplares control, 4, 5, 6 y 10 fue ausente, mientras que los ejemplares 1, 2, 3, 8 y 9 presentaron una forma recurvada, por otro lado, el ejemplar 7 fue el único que presentó una forma ondulada en sus hojas (Cuadro 2). Respecto al color de las hojas, el color verde estuvo presente en los ejemplares 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 y 10, mientras que en el control y el ejemplar 5 el color fue verde amarillo y el ejemplar 1 presentó un color azul (Cuadro 2). La evaluación del borde de la hoja mostró que todos los ejemplares presentaron el borde liso (Cuadro 2). La uniformidad del tamaño de las espinas fue homogénea para todos los ejemplares mientras que el número de espinas estuvo en el rango de medias para todos los ejemplares con excepción del ejemplar 5 donde se observó una mayor cantidad de espinas estando en el rango de muchas (Cuadro 2). La forma de las espinas fue recta para los ejemplares control, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, mientras que la planta 1 presentó una forma polifurcada, y el ejemplar 2 tuvo una forma curvada (Cuadro 2). Finalmente, la forma del corte transversal para las plantas control, 1, 2, 5, 7, 8, 9 y 10 tuvieron una forma de corte hemioblato, mientras que los ejemplares 3, 4 y 6 tuvieron una forma de corte obdeltado (Cuadro 2).



Cuadro 2. Características cualitativas de los ejemplares de *Agave americana* L.

Ejemplar	Forma de las hojas	Curvatura de las hojas	Color	Borde	Uniformidad de tamaño de espina	Número de espinas	Forma de las espinas	Forma del corte transversal
Control	Lanceolada	Ausente	Verde Amarillo	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Hemioblato
1	Ovada	Recurvado	Azul	Liso	Homogénea	Medias	Polifurcada	Hemioblato
2	Ovada	Recurvado	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Curvada	Hemioblato
3	Espatulada	Recurvado	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Obdeltado
4	Lanceolada	Ausente	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Obdeltado
5	Espatulada	Ausente	Verde Amarillo	Liso	Homogénea	Muchas	Recta	Hemioblato
6	Lanceolada	Ausente	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Obdeltado
7	Lanceolada	Ondulado	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Hemioblato
8	Oblonga	Recurvado	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Hemioblato
9	Espatulada	Recurvado	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Hemioblato
10	Lanceolada	Ausente	Verde	Liso	Homogénea	Medias	Recta	Hemioblato

Metabolitos especializados

Respecto a la producción de clorofila, los distintos ejemplares de agave evaluados mostraron diferencia estadística significativa (Figura 1).

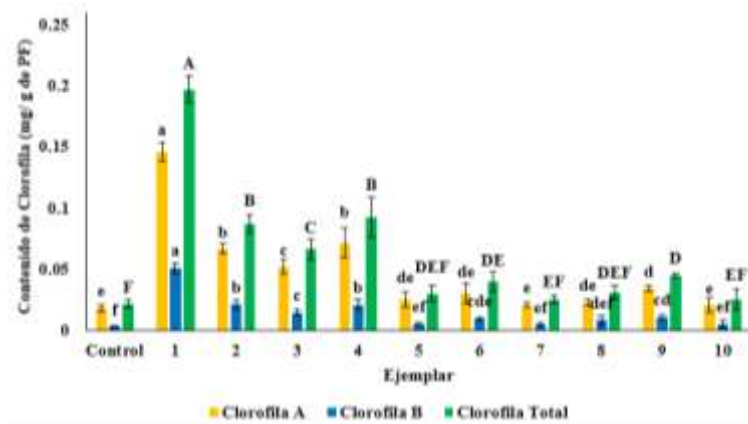


Figura 1. Contenido de clorofila en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).



El ejemplar 1 presentó la mayor producción de clorofila A con 0.14 ± 0.007 mg/g de peso fresco. Respecto a los contenidos de clorofila B, el ejemplar 1 mostró una mayor producción con 0.05 ± 0.003 mg/g de peso fresco de todos los ejemplares evaluados e incluso la planta control. Con respecto a los datos de clorofila total, el ejemplar 1 presentó el mayor contenido con 0.196 ± 0.011 mg/g de peso fresco.

Con excepción de los ejemplares 1, 2, 3 y 4, el resto mostró índices bajos de clorofila, Corazón-Guivin *et al.* (2022) reportaron que a concentraciones elevadas de MSE mayor es el índice de clorosis que presenta las plantas mutagenizadas, por otra parte, Chaudhari *et al.* (2015) describen que la biosíntesis de clorofila A y B se redujo notablemente lo cual, podría explicar el bajo índice de clorofila en el resto de los ejemplares mutados, además de otros factores abióticos.

Respecto a la producción de carotenos en los agaves evaluados (Figura 2), se obtuvo la mayor producción de carotenos en el ejemplar 1 con 1.7 ± 0.064 $\mu\text{g}/\text{mg}$ de peso fresco, con respecto al control, el cual presentó 0.2 ± 0.057 $\mu\text{g}/\text{mg}$ de peso fresco. Casierra-Posada *et al.* (2012) mencionan la estrecha relación entre los carotenos y la clorofila cuando existe estrés oxidativo. Silva-Pérez *et al.* (2012) afirman que la principal función de los carotenoides es evitar la fotooxidación relacionada con la fotosíntesis. Basado en esto podemos plantear que el MSE tuvo incidencia en el contenido tanto de carotenos como de clorofila.

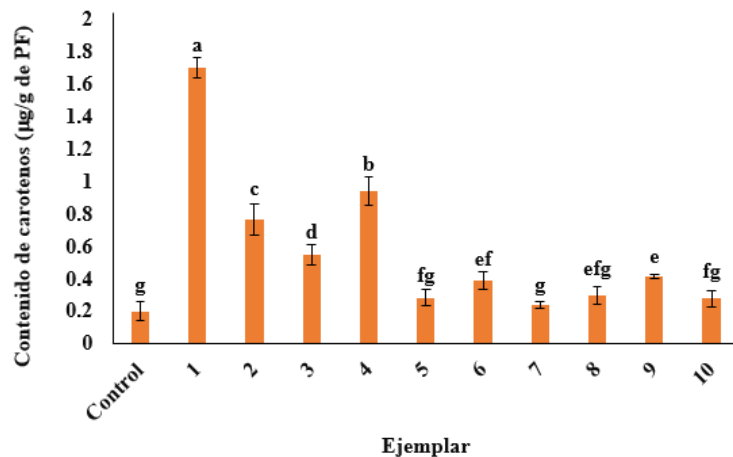


Figura 2. Contenido de carotenos en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).



En la evaluación de fenoles presentes en las plantas de agave (Figura 3) se observó que el ejemplar 10 presentó la mayor producción de fenoles con $138.54 \pm 10.1 \mu\text{g EAG/ g}$ de peso seco de todas las plantas evaluadas.

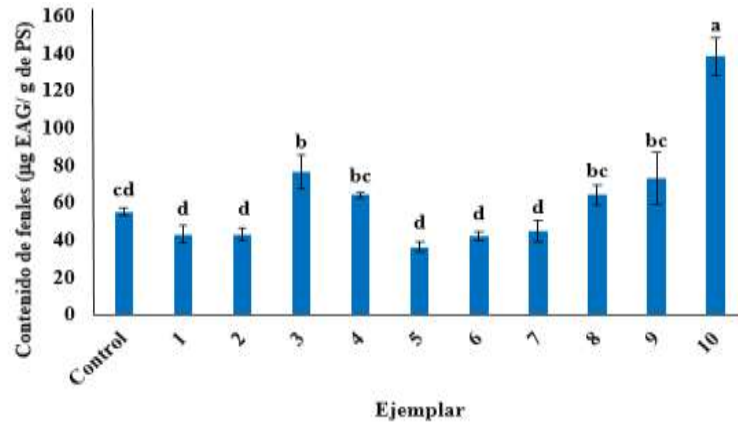


Figura 3. Contenido de fenoles en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

La evaluación del contenido de flavonoides (Figura 4) mostró diferencia estadística significativa entre los ejemplares, los de mayor producción fueron los tratamientos 3, 7, 9 y 10 con 8.07 ± 1.17 , 8.97 ± 0.66 , 9.71 ± 0.31 y $9.39 \pm 1.11 \mu\text{g EDQ/g}$ de peso seco, respectivamente; mientras que, el tratamiento control fue el de menor producción de flavonoides con $1.88 \pm 0.18 \mu\text{g EDQ/g}$ de peso seco.

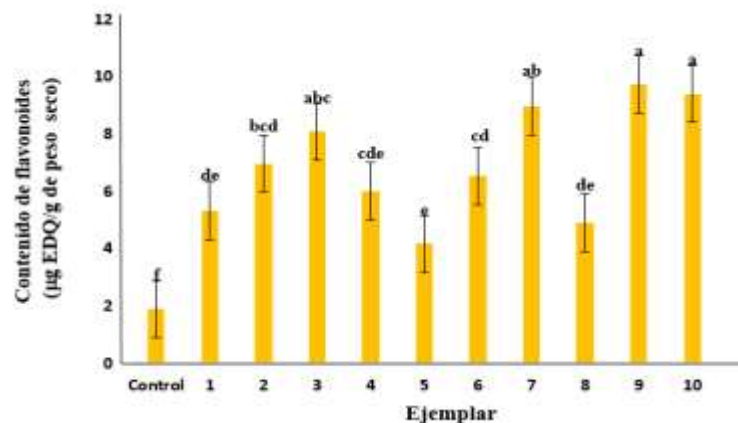


Figura 4. Contenido de flavonoides en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

La evaluación del contenido de proteínas totales en las plantas de *A. americana* mostró que, el ejemplar con mayor contenido de proteínas totales fue el 4, con 0.391 ± 0.015 mg EDA/g de peso fresco, mientras que los ejemplares 1, 6, 7, 8 y 9 presentaron un menor contenido de proteínas totales respectivamente (Figura 5).

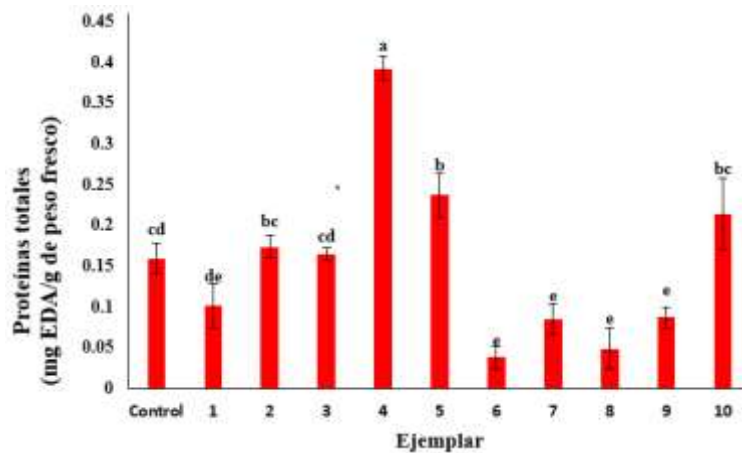


Figura 5. Contenido de proteínas totales en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

La evaluación de la enzima fenilalanina amoníaco-licasa presentó diferencia estadística significativa entre los ejemplares evaluados, el ejemplar con mayor contenido de la enzima fue el ejemplar 9 con 0.3 ± 0.024 mg equivalentes de ácido cinámico/ mg de proteína, mientras que, el control y el ejemplar 2 fueron los de menor contenido de la enzima con 0.039 ± 0.012 y 0.037 ± 0.005 mg equivalentes de ácido cinámico/ mg de proteína, respectivamente (Figura 6).

El análisis de la concentración de fenoles en los ejemplares mostró diferencia significativa entre el control y los ejemplares 10 y 3, con respecto al resto de ejemplares; el contenido de flavonoides fue mayor para los ejemplares mutados en comparación al control, al igual que la actividad PAL la cual fue menor en el control y el ejemplar 2. Reyes-Zambrano *et al.* (2019) mencionan que el aumento de PAL en los ejemplares mutados de *A. americana* está ligado al aumento de flavonoides debido a que, estos pueden ser antocianinas formadas por el metabolismo fenilpropanoide a partir de la fenilalanina, y la PAL que cataliza la biotransformación de la L-fenilalanina en ácido transcinámico y amoníaco es la principal y primera enzima de la secuencia fenilpropanoide. Aunado a esto, Reyes-Zambrano *et al.*,



(2021) reportaron la obtención de variantes somaclonales de *A. americana* resistentes a *F. oxysporum*, resultado de la inducción de mutaciones con MSE.

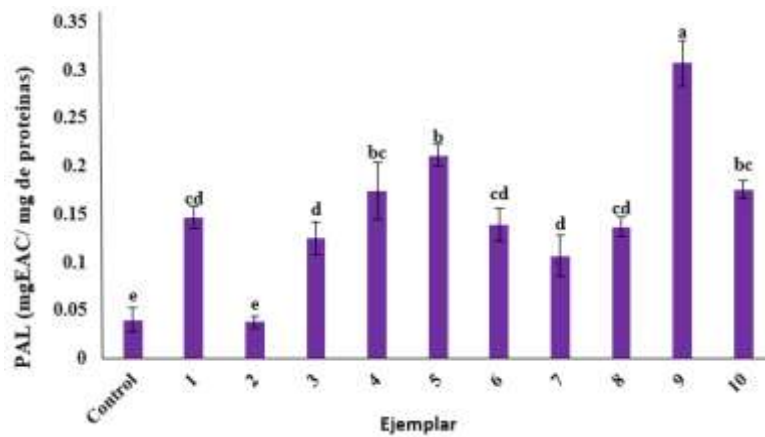


Figura 6. Contenido de la enzima PAL en ejemplares de *A. americana* sometidos a MSE. Los valores representan la media \pm error estándar. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Conclusiones

1. El metanosulfonato de etilo produce cambios morfológicos y morfométricos en plantas de *Agave americana*.
2. El contenido de metabolitos especializados aumenta en plantas obtenidas a partir del empleo de mutagénesis química con metanosulfonato de etilo, afectando probablemente el metabolismo fenilpropanoide
3. El empleo de metanosulfonato de etilo una alternativa para el mejoramiento genético del género *Agave*.

Literatura Citada

Álvarez-Chávez, J., M. Villamiel., L. Santos-Zea and A.K. Ramírez-Jiménez. 2021. Agave By-Products: An Overview of Their Nutraceutical Value, Current Applications, and Processing Methods. *Polysaccharides* 2(3):720-743.



- Arisha, M. H., B. K. Liang., S. M. Shah., Z. H. Gong. and D. W. Li. 2014. Kill curve analysis and response of first generation *Capsicum annuum* L. B12 cultivar to ethyl methane sulfonate. Genet. Mol. Res. 13(4):10049-10061.
- Beaudoin-Eagan, L. D. and T. A. Thorpe. 1985. Tyrosine and phenylalanine ammonia lyase activities during shoot initiation in tobacco callus cultures. Plant Physiol. 78:438-441.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram amounts of protein using the protein-dye binding principle. Anal. Biochem. 72:248-254.
- Casierra-Posada, F., O. Ávila-León y D. Riascos-Ortíz. 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. Temas agrarios. 17(1): 60-71.
- Chang, C. C., M. H. Yang., H. M. Wen, and J. C. Chern. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. J. Food Drug Anal. 10(3):178-182.
- Chaudhari, A. K., S. Verm and B. R. Chaudhary. 2015. Ethyl Methanesulphonate and Sodium Azide Effects on Seedling Growth and Chlorophyll Mutations in *Psoralea corylifolia* IC 111228. J. Crop. Improv. 29(5):602-618.
- Corazón-Guivin, M., M. Arévalo-Rojas., R. Acosta-Córdoba., D. Chirinos-Hinojosa., J. Valverde-Iparraguirre., M. Ruiz-Sánchez *et al.* 2022. Determinación de la DL50 de Metanosulfonato de Etilo (EMS) para la inducción de cambios morfológicos y fisiológicos en plántulas de *Plukenetia volubilis*. Rev. agrotec. amaz. 2(1): e209.
- García-Mendoza, A. J., I.S. Franco Martínez, y D. Sandoval Gutiérrez. 2019. Cuatro especies nuevas de Agave (*Asparagaceae*, *Agavoideae*) del sur de México. Acta Bot. Mex. 126:e1461.
- Hadebe, S. T., A. T. Modi. and H. A. Shimelis. 2017. Determination of optimum ethylmethanesulfonate conditions for chemical mutagenesis of selected vernonia (*Centrapalus pauciflorus*) accessions. S. Afr. J. Plant Soil 34(4):311-317.



- Harborne, J. B. 1973. Chlorophyll extraction. p. 205– 207. *In*: Harbone, J. B. (ed.). *Phytochemical Methods*. Recommended technique. Chapman and Hall. London.
- Luján-Hidalgo, M. C., L. E. Pérez-Gómez, M. Abud-Archila., R. Meza-Gordillo., V. M. Ruiz-Valdiviezo., L. Dendooven *et al.* 2015. Growth, phenolic content and antioxidant activity in Chincuya (*Annona purpurea* Moc & Sesse ex Dunal) grown with vermicompost and rock phosphate. *Compost Sci. Util.* 23 (4):276-283.
- Mendoza Tello, D. 2019. Efecto de la radiación gamma y metanosulfonato de etilo (EMS) en la germinación y crecimiento de semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), bajo condiciones de vivero en la región San Martín. Tesis de grado. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Pérez-Zavala, M. D. L., J. C. Hernández-Arzaba., D. K. Bideshi. and J. E. Barboza-Corona. 2020. Agave: a natural renewable resource with multiple applications. *J. Sci. Food Agric.* 100(15):5324-5333.
- Pino, M. T., E. Domínguez Días y J. Saavedra. 2018. Protocolos estandarizados para la valorización de frutos nativos del PROCISUR frente a la creciente demanda por ingredientes y aditivos especializados (Carotenoides, Antocianinas y Polifenoles). PROCISUR, IICA. Montevideo, Uruguay. 45 p.
- Reyes-Zambrano, S. J., M. L. Ramírez-Merchant., C. Arias-Castro., M. A. Rodríguez-Mendiola., C. A. Lecona-Guzmán., V. M. Ruíz-Valdiviezo, *et al.* 2019. Morphometric and biochemical changes in *Agave americana* L. plantlets induced by ethyl methanesulfonate. *Phyton.* 88(3):277.
- Reyes-Zambrano, S. J., C. A. Lecona-Guzmán, F. A. Gutiérrez-Miceli, V. M. Ruiz-Valdiviezo and A. A. Vargas-Díaz. 2021. Selection and Analysis of Polymorphisms in Somaclonal Variants of *Agave americana* Resistant to *Fusarium oxysporum* via an Ethyl Methanesulphonate Treatment. *Phyton*, 90(6):1727.



Santos-Espinoza, A. M., D. González-Mendoza., V. M. Ruiz-Valdiviezo., M. C. Luján-Hidalgo, F. Jonapa-Hernández, B. Valdez-Salas *et al.* 2021. Changes in the physiological and biochemical status of peanut (*Arachis hypogaea* L.) plants induced by exposure to green metal nanoparticles. *Int J. Phytoremediation* 23(7):747-754.

Silva-Pérez, V., F. C. Gómez-Merino., J. J. García-Zavala., J. Burgueño-Ferreira., A. Santacruz-Varela., N. Palacios-Rojas *et al.* 2012. QTLs asociados al contenido de carotenos en hojas de maíz (*Zea mays* L.). *Agrociencia* 46(4):333-345.

Singleton, V. L., R. Orthofer. and R. M. Lamuela-Raventós. 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. p. 152-178. *In*: Packer, L. (Ed.) *Methods in enzymology*. Volume 299. Academic press.

Zambrano Velásquez, J. I., M. de J. Peña and H. E. Vera Saldarriaga. 2021. Efecto de inoculación micorrízica arbuscular combinada con fertilización nitrogenada en el pasto saboya (*Megathyrsus maximus*). *Revista ESPAMCIENCIA*. 12(1):46-55.



ESTIMULACIÓN EN LA GERMINACIÓN Y PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE NPs-ZnO EN MAÍZ NATIVO ROJO

Sheila Jazmín Reyes Zambrano^{83*}, Carlos Alberto Lecona Guzmán⁸³ y Federico Antonio Gutiérrez Miceli⁸³

Resumen

Los maíces nativos representan alrededor de 65% de la superficie cultivada en México, Chiapas es de los estados más importantes en la producción de maíz en el país. La nanotecnología promete avances científicos en muchos sectores, en la agricultura algunos nanomateriales pueden inducir efectos favorables en los cultivos como incremento en el rendimiento, aumento del estado nutricional del cultivo, mejoras en parámetros morfológicos, entre otros. La aplicación de nanopartículas de óxido de zinc (NPs-ZnO) ha sido reportado para aminorar la deficiencia de zinc (Zn) y aumentar la biofortificación de Zn de diferentes cultivos. El Zn es uno de los micronutrientes esenciales necesarios para el crecimiento de las plantas y es muy importante en procesos de la germinación. La aplicación de nuevas herramientas biotecnológicas para mejorar la calidad fisiológica, nutrimental y rendimiento, es un área de oportunidad para impulsar el potencial agrícola de maíces nativos, los cuales tienen un alto impacto social en el estado de Chiapas. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de NPs-ZnO sobre la germinación, parámetros morfométricos y actividad de α -amilasa en semillas de maíz nativo rojo. Las semillas fueron sumergidas por tres horas con diferentes concentraciones de NPs-ZnO (0, 50, 100, 150 y 200 ppm). Las semillas se pusieron a germinar utilizando el método entre papel. A los 7 días se evaluó el porcentaje de germinación, longitud de brote y raíz. La actividad de α -amilasas se evaluó en semillas de 3 días de germinación. Se observó una diferencia significativa en el porcentaje de germinación, longitud de brote y longitud de raíz con los tratamientos a 150 y 200 ppm de NPs-ZnO en semillas de maíz nativo rojo. La actividad de α -amilasas fue mayor en las semillas control, seguida de la concentración de 150 ppm. Las NPs-ZnO tienen un efecto positivo en la germinación y parámetros morfométricos en maíz nativo rojo. El presente estudio

⁸³ Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, Tecnológico Nacional de México: CampusTuxtla Gutiérrez. *Autor por correspondencia: Sheila.rz@tuxtla.tecnm.mx



sugiere que las NPs-ZnO tienen un efecto positivo en la germinación y parámetros morfométricos en maíz nativo rojo.

Palabras clave: *Zea mays* L., fitonanopartículas, α -amilasas

Introducción

La nanotecnología es un campo en crecimiento con amplias aplicaciones en el campo de la agricultura. El uso de nanopartículas en el crecimiento de plantas y para modular su respuesta fisiológica es una práctica reciente (Mukherjee *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2011). El tamaño de las nanopartículas oscila entre 1-100 nm y debido a que tienen una alta relación superficie/volumen, tienen una amplia aplicación en la protección de plantas, la nutrición y el manejo de prácticas agrícolas (Auffan *et al.*, 2009; Ghormade *et al.*, 2011).

Recientemente diversas nanopartículas (NPs) han sido estudiadas destacando su poder antimicrobiano, anticancerígeno y recientemente como generador del crecimiento *in vivo* e *in vitro*, debido a que su tamaño microscópico le permite interactuar con los diferentes tejidos que conforman a una planta siendo transportados a través del xilema y/o floema llegando a todos los tejidos de la planta interaccionando con las células vegetales (Pérez-Labrada *et al.*, 2020). Las nanopartículas obtenidas por síntesis verde tienen gran relevancia en el sector agrícola por su función como fitoestimuladores o antimicrobianos para prevenir enfermedades (Yan and Chen, 2019). Estudios indican que las nanopartículas son una alternativa biotecnológica viable para el desarrollo fisiológico, así como estimuladores de la síntesis de metabolitos secundarios en plantas de interés agronómico (Acharya *et al.*, 2019; Sánchez-Rangel *et al.*, 2014).

El pretratamiento de semillas con metales de tamaño nanométrico proporciona una alternativa a la utilización de fertilizantes que contienen metales que son necesarios para el crecimiento de las plantas (Siddiqui and Al-Whaibi, 2014). Algunos estudios demostraron que el uso de NP para el tratamiento de semillas es más eficiente y tiene ventaja sobre el tratamiento tradicional que utiliza hormonas y fertilizantes en términos de rendimiento y calidad de la planta (Pereira *et al.*, 2017). La absorción, translocación y acumulación de nanopartículas revela que pueden penetrar a través de la cubierta de la



semilla y moverse a través de los tejidos conductores de las plantas (Prasad *et al.*, 2012; Khodakovskaya *et al.*, 2009).

Las nanopartículas de Zn se han utilizado en diversos experimentos en el área de la agricultura para comprender su efecto sobre el crecimiento, la germinación y varias otras propiedades y se han reportado resultados importantes (Subbaiah *et al.*, 2016; Prasad *et al.*, 2012; Mahajan *et al.*, 2011). El Zn es uno de los micronutrientes esenciales necesarios para el crecimiento óptimo de los cultivos, las plantas toman Zn en su forma divalente (Hafeez *et al.*, 2013); tiene un papel fundamental en la protección y mantenimiento de la estabilidad estructural de las membranas celulares y es utilizado para la síntesis de proteínas, la función de la membrana, la elongación celular y la tolerancia al estrés ambiental (Cakmak, 2000).

El maíz (*Zea mays* L.) constituye la base de la alimentación de la población mexicana, que lo consume principalmente en forma de tortilla. En México, el estado de Chiapas está entre los estados más importantes en la producción de maíz. Cerca del 90% de la superficie de maíz se siembra con maíces criollos de diferentes razas, colores, texturas y ciclos de cultivo (Fernández *et al.*, 2013). Los maíces nativos pigmentados (rojo, amarillo, morado y azul) han recibido una mayor atención desde una perspectiva nutracéutica, ya que se han encontrado fitoquímicos importantes en concentraciones considerables (fenólicos totales, antocianinas, ácido ferúlico y carotenoides) lo que los convierte en una alternativa para industria alimentaria, farmacéutica y de salud (Dyer and Taylor 2008; Žilić *et al.*, 2012).

El sistema de producción de semillas nativas en México sigue siendo artesanal motivando el desarrollo de tecnologías para mejorar la producción, por lo que, la aplicación de nuevos productos y tecnologías para mejorar la calidad fisiológica y sanitaria de las semillas de maíz nativos es un área de oportunidad, lo cual, permitirá que estas variedades sean aprovechadas en mayor escala. El reciente aprovechamiento de la nanotecnología en estas áreas ha permitido generar materiales a escala nanométrica, estimulando a los investigadores a seguir estudiando su posible aplicación en el área de la biotecnología, con un mayor impacto en la agricultura. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes concentraciones de fitonanopartículas de Zn (NPs-ZnO) sobre la germinación, parámetros morfométricos y actividad de α -amilasa en semillas de maíz nativo rojo.



Materiales y Métodos

Lugar de trabajo

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales, del TecNM-campus Tuxtla Gutiérrez, ubicado en Carretera Panamericana Km. 1080, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Material vegetal

Las semillas de maíz nativo rojo fueron colectadas en el rancho “Capricho divino” perteneciente al municipio de Suchiapa Chiapas, México; el cual, se ubica a los 16° 37' 30" LN y 93° 6' 0" LO, a una altitud de 500 m. El clima es cálido subhúmedo y lluvias periódicas; la temperatura media anual es de 24.4°C, con una precipitación de 956 mm anuales.

Tratamiento con Nanopartículas

Las fitonanopartículas de óxido de zinc, se prepararon utilizando extracto de *Moringa oleífera* de acuerdo con la metodología de Gutiérrez- Miceli *et al.* (2021) caracterizadas previamente. Las semillas se desinfectaron previamente con cloro comercial (Cloralex®) al 20% por 20 min. Posteriormente se enjuagaron 3 veces con agua destilada. Las nanopartículas se dispersaron en agua desionizada usando vibración ultrasónica (180 W. 40 kHz) durante 30 minutos antes de su uso. Las semillas fueron tratadas con diferentes concentraciones de NPs-ZnO (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) durante tres horas.

Germinación de semillas y parámetros morfométricos. Para la prueba de germinación se utilizó el método “entre papel”, de acuerdo con lo propuesto por Guillen *et al.* (2018). Se utilizaron 10 semillas y cuatro repeticiones, para ello, se colocaron las semillas en toallas de papel Anchor (Paper Company, St. Paul, Minnesota, USA) previamente humedecidas, después se enrollaron en forma de tacos, posteriormente se depositaron en bolsas de plástico; las bolsas se colocaron en un recipiente y se conservaron en una cámara bioclimática a 25°C en oscuridad por 7 días. Transcurrido los 7 días se calculó el porcentaje de germinación, se midió la longitud de brote y la raíz con una regla milimétrica graduada.

Actividad de α -amilasa

El extracto para la determinación de la actividad de α -amilasa se obtuvo de semillas germinadas de 3 días utilizando la metodología de Gugelminetti *et al.* (1995); fue macerado 1 g de muestra en tampón TRIS-HCl 0.1 M pH 7 el cual contenía 0.1 M de NaCl y 10 mM de CaCl₂. El homogeneizado resultante se centrifugó a 12.000 g durante 10 minutos a 4°C. Todos los sobrenadantes se recolectaron y almacenaron a -20°C hasta que se realizaron los ensayos enzimáticos. Para la determinación de la



actividad α -amilasa se utilizó como sustrato almidón (1% p/v). Para evaluar la actividad el extracto crudo se mantuvo a 70°C durante 15 minutos antes de iniciar el análisis enzimático. Al final de los períodos de reacción, los azúcares reductores libres se cuantificaron por el método del ácido dinitrosalicílico (DNS) utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm. La actividad se expresó en μmol maltosa/min/g.

Análisis estadístico

Para la evaluación del efecto de las NPs-ZnO en los parámetros morfométricos y actividad de α -amilasa se realizó un diseño experimental completamente al azar. La diferencia mínima significativa (DMS) de los tratamientos fue determinado al 95% con un nivel de confianza de 0.05, con el paquete estadístico de Stargraphic Centuryon XV.

Resultados y Discusión

Se observó que las diferentes concentraciones de NPs-ZnO tienen un efecto en la germinación de semillas de maíz nativo rojo (Cuadro 1) siendo la concentración de 150 ppm la de mayor porcentaje de germinación, mientras que, a concentraciones de 50 y 200 ppm no mostraron diferencia estadística significativa con respecto al control. El menor porcentaje de germinación se obtuvo en el tratamiento de 100 ppm. El Zn es un nutriente esencial que juega un papel importante en numerosos procesos fisiológicos en las plantas, sirviendo como cofactor para muchas enzimas y como motivo estructural clave en las proteínas reguladoras de la transcripción (Ishimaru *et al.*, 2011)

Cuadro 1. Efecto de diferentes concentraciones de NPs-ZnO sobre el porcentaje de germinación y actividad de α -amilasa en semillas de maíz rojo.

Conc. NPs-ZnO (ppm)	Germinación (%)	Actividad de α -amilasa (μmol maltosa/min/g)
0	93.33 \pm 0.25 ^{ab}	171.619 \pm 36.88 ^a
50	93.33 \pm 0.25 ^{ab}	104.81 \pm 18.80 ^c
100	86.66 \pm 0.34 ^b	125.02 \pm 19.02 ^{bc}
150	100 \pm 0 ^a	147.25 \pm 20.18 ^{ab}
200	93.33 \pm 0.25 ^{ab}	100.87 \pm 11.24 ^c
DMS ¹ (0.05)	0.127	41.56



Con respecto a la actividad de α -amilasa, se observó que el tratamiento control y la concentración de 150 ppm fueron las que presentaron las actividades más altas con 171.619 y 147.25 μmol maltosa/min/g, respectivamente (Cuadro 1). Durante la germinación el almidón se hidroliza para suministrar a las semillas los nutrientes y la energía necesarios. La α -amilasa es una enzima que juega un papel importante en el metabolismo de los carbohidratos. Con la ayuda de esta enzima, los carbohidratos de reserva se convierten en azúcar soluble mediante el proceso de hidrólisis, que es necesario para apoyar el metabolismo respiratorio activo durante la germinación de la semilla y el crecimiento respectivo de la plántula, hasta el inicio de la fotosíntesis en la planta (Kato-Noguchi y Macias, 2005).

La longitud de brote y raíz de semillas tratadas con las diferentes concentraciones de NPs-ZnO (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) se puede observar en la Figura 1. Las NPs-ZnO tienen un efecto positivo con respecto al control, tanto para la longitud de brote como para la longitud de raíz. Para la longitud de brote el mejor tratamiento fue el de 150 ppm y para longitud de raíz el de 200 ppm (Figura 1).

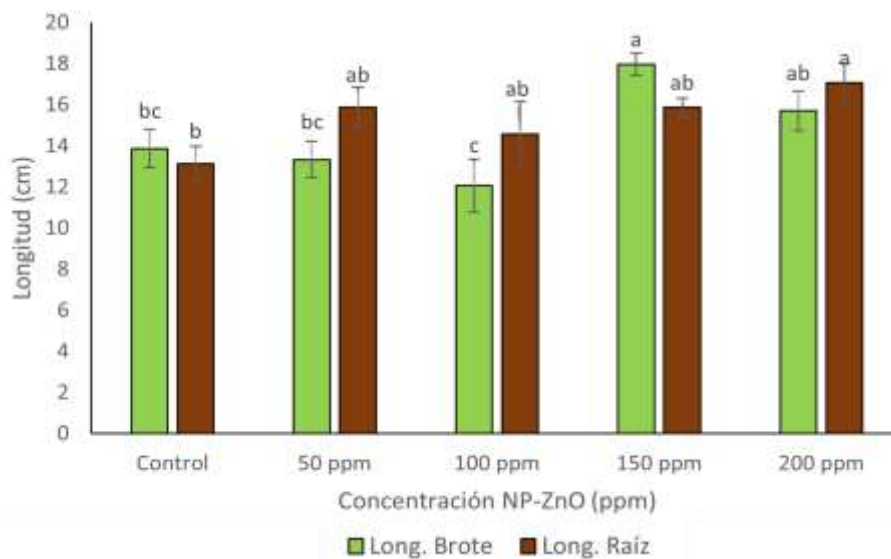


Figura 1. Efecto de las diferentes concentraciones de NP-ZnO sobre los parámetros morfométricos de longitud de brote y longitud de raíz a los 7 días después de la germinación.

Se ha reportado que las NPs-ZnO promueven diferentes efectos en diversas especies de plantas, la sensibilidad a las ZnO-NP varía mucho de una especie a otra, por ejemplo, en estudios en *Arachis hypogaea* el tratamiento de semillas con una alta concentración de NPs-ZnO (1000 ppm) incrementa el porcentaje de germinación además de estimular el crecimiento de raíces y tallos en esta especie (Prasad



et al., 2012). En *Capsicum annuum* L., se encontró que el tratamiento de semillas con una concentración de 750 ppm de NPs-ZnO aumenta el porcentaje de germinación, la longitud de la raíz, así como la longitud del tallo (Afrayeem y Chaurasia 2017). Se ha encontrado que, a bajas concentraciones de NPs-ZnO en algunas especies vegetales tiene un efecto significativo, por ejemplo, en *Triticum aestivum* se demostró que, el tratamiento de semillas con una concentración de 50 ppm de NPs-ZnO tiene un efecto positivo en la germinación, número de raíces y crecimiento general de la planta (Awasthi *et al.*, 2017). En un estudio en maíz, se encontró que, una concentración de alrededor de 10 ppm incrementa la elongación del brote y raíz en comparación con concentraciones superiores a 400 ppm (Yang *et al.*, 2015).

Conclusiones

1. Las NPs-ZnO tienen un efecto positivo en la germinación y parámetros morfométricos en semillas de maíz rojo.
2. Concentraciones de 150 y 200 NPs-ZnO fueron las que estimularon un mayor porcentaje de germinación, así como mayor longitud de brote y raíz en maíz nativo rojo.
3. NPs-ZnO pueden ser aplicadas en futuros trabajos de fertilización y/o biofortificación en diferentes variedades de maíces nativos en México.

Literatura Citada

Acharya, P., G. K. Jayaprakasha, K. Crosby, J. Jifon and B. S. Patil. 2019. Green synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). ACS Sustain. Chem. Eng. 7:14580-14590.

Afrayeem, S. M. and A. Chaurasia. 2017. Effect of zinc oxide nanoparticles on seed germination and seed vigour in chilli (*Capsicum annuum* L.). J. Pharmacogn. Phytochem. 6:1564–1566.



- Auffan, M., J. Rose, J. Y. Bottero, G. V. Lowry, J. P. Jolivet and M. R. Wiesner. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nat. nanotechnol.* 4(10): 634–641.
- Awasthi. A., S. Bansal, L. K. Jangir, G. Awasthi, K. K. Awasthi, and K. Awasthi. 2017. Effect of ZnO nanoparticles on germination of *Triticum aestivum* seeds. *Macromol. Symp.* 376(1):1–5.
- Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytol.* 146:185-205.
- Dyer, G. A. and J. E. Taylor. 2008. A crop population perspective on maize seed systems in Mexico. *PNAS* 105(2):470–475.
- Fernández, S. R., L. A. Morales C., y A. Gálvez M. 2013. Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. *Rev. Fitotec. Mex.* 36:275-283.
- Ghormade, V., M. V. Deshpande and K. M. Paknikar. 2011. Perspectives for nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants. *Biotechnol adv.* 29(6):792-803.
- Gugelminetti, L., J. Yamaguchi, P. Perata and A. Alpi. 1995. amilolytic activities in cereal seeds under aerobic and anaerobic conditions. *Plant Physiol.* 109(1):1069-1076.
- Guillen, C. P, M. R. Velázquez, E. de la Cruz L., C. Márquez Q. y R. Osorio O. 2018. Germinación y vigor de semillas de poblaciones de maíz con diferente proporción de endospermo vítreo. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 34(2):108-117.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., M. Á. Oliva-Llaven, M. C. Luján-Hidalgo, M. C. Velázquez-Gamboa, D. González-Mendoza and Y. Sánchez-Roque. 2021. Zinc Oxide Phytonanoparticles' Effects on Yield and Mineral Contents in Fruits of Tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Cherry) under Field Conditions. *Sci. World J.* 2021: Article ID 5561930.



- Hafeez, B., Y. M. Khanif and M. Saleem. 2013. Role of Zinc in Plant Nutrition. *Am. J. Exp. Agric.* 3:374-391.
- Ishimaru, Y., K. Bashir and N. K. Nishizawa. 2011. Zn Uptake and Translocation in Rice Plants. *Plant Soil.* 6:1591-1593.
- Kato-Noguchi, H., and F. A. Macias. 2005. Effects of 6-methoxy-2-benzoxazolinone on the germination and α -amylase activity in lettuce seeds. *J. Plant Physiol.* 162(12):1304–1307.
- Khodakovskaya, M., E. Dervishi, M. Mahmood, Y. Xu, Z. Li, F. Watanabe and A. S. Biris. 2009. Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano.* 3:3221-3227.
- Mahajan, P., S. K. Dhoke, A. S. Khanna, and J. C. Tarafdar. 2011. Effect of Nano-ZnO Particle Suspension on Growth of Mung (*Vigna radiata*) and Gram (*Cicer arietinum*) Seedlings Using Plant Agar Method. *J. Nanotech.* 13(2):54-61.
- Mukherjee, A., J. R. Peralta-Videa, S. Bandyopadhyay, C. M. Rico, L. Zhao and J. L. Gardea-Torresdey. 2014. Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil. *Metallomics.* 6:32-138.
- Pereira, A. E. S., H. Sandoval I. E., S. A. Zavala B., H. C. Oliveira, P. Ledezma A. S., J. Romero *et al.* 2017. γ -Polyglutamic acid/chitosan nanoparticles for the plant growth regulator gibberellic acid: characterization and evaluation of biological activity. *Carbohydr. Polym.* 157:1862–1873.
- Pérez-Labrada, F., H. Hernández-Hernández, M. C. López-Pérez, S. González-Morales, A. Benavides-Mendoza and A. Juárez-Maldonado. 2020. Chapter 13 - Nanoparticles in plants: morphophysiological, biochemical, and molecular responses. p. 289-322. *In: Kumar Tripathi, D., D. Kumar Chauhan, S. Mohan Prasad, N. Ramawat, V. Pratap Singh, S. Sharma et al. (eds.). Plant Life Under Changing Environment. Academic Press.*



- Prasad, T. N. V. K.V., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, K. R. Reddy *et al.* 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *J. Plant Nutr.* 35:905-927.
- Sánchez-Rangel, J. C., J. Benavides and D. A. Jacobo-Velázquez. 2019. Abiotic stress based bioprocesses for the production of high value antioxidant phenolic compound in plants: An overview. *Rev Mex Ing Quim.* 13:49-61.
- Siddiqui, M. H. and M. H. Al-Whaibi. 2014. Role of nano-SiO₂ in germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* seeds Mill). *Saudi J. Biol. Sci.* 21(1):13–17.
- Subbaiah, L.V., T. Prasad, T. G. Krishna, P. Sudhakar, B. R. Reddy and T. Pradeep. 2016. Novel effects of nanoparticulate delivery of zinc on growth, productivity, and zinc biofortification in maize (*Zea mays* L.). *J. Agric. Food Chem.* 64(19):3778-3788.
- Yan, A. and Z. Chen. 2019. Impacts of silver nanoparticles on plants: A focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *Int. J. Mol. Sci.* 20:1003.
- Yang, Z., J. Chen, R. Dou, X. Gao, C. Mao, and L. Wang. 2015. Assessment of the phytotoxicity of metal oxide nanoparticles on two crop plants, maize (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 12:15100–15109.
- Zhang, Z., X. He, H. Zhang, Y. Ma, P. Zhang, Y. Ding *et al.* 2011. Uptake and distribution of ceria nanoparticles in cucumber plants. *Metallomics.* 3:816-822.
- Žilić, S., A. Serpen, G. L. Akilloğlu, V. Gökmen and J. Vanĉetović. 2012. Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays* L.) kernels. *J. Agric. Food Chem.* 60:1224–1231.



PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DEL CONTROL DEL CARBÓN DE LA ESPIGA EN EL VALLE DEL MEZQUITAL

Alejandra Vélez Izquierdo^{84*}, José Antonio Espinosa García⁸⁵ y René Gómez Mercado⁸⁵

Resumen

Con el objetivo de evaluar el cambio porcentual en la productividad y rentabilidad del uso de la tecnología de control integrado del carbón de la espiga de maíz (CCEdeM) en la región del Valle del Mezquital, Hidalgo, en comparación de quien no la usa, se aplicó un cuestionario a 53 productores de maíz en 10 municipios de esta Región. El tamaño de la muestra se determinó mediante diseño de Muestreo de Proporciones de Varianza Máxima. En el cuestionario se incluyeron preguntas en cuanto a realizar cuatro prácticas para el CCEdeM: i) mantener humedad en el suelo a la siembra, ii) sembrar en las fechas sugeridas, iii) sembrar híbridos o variedades tolerantes al CEdeM, iv) tratar la semilla con fungicida para proteger a la planta durante el ciclo. Con esta información se calcularon dos indicadores: 1) tasa de cambio de la productividad = $[(\text{rendimiento de los que usan la práctica}/\text{rendimiento de los que no la usan})-1]*100$; 2) tasa de cambio del ingreso neto, aplicando la misma fórmula, solo sustituyendo la variable rendimiento por el ingreso neto. Los resultados muestran que, los productores que aplican las prácticas de CCEdeM obtienen mayores rendimientos e ingresos netos, con tasas de cambio que fluctúan de 23.9% a 11.5% y de 28.1% a 91.9% respectivamente, dependiendo de la práctica que realizan. Se concluye que, al realizar las prácticas de control del carbón de la espiga logran mayores tasas de productividad y rentabilidad medida a través del ingreso neto.

Palabras clave: rendimientos, ganancia neta, tecnología agrícola, maíz y tasa de cambio

⁸⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. *Autor por correspondencia: velez.alejandra@inifap.gob.mx

⁸⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Sitio Experimental Hidalgo.



Introducción

El maíz (*Zea mays*) es una planta originaria de México, por tanto, es el cultivo más importante del país. En el año 2021, se sembraron un poco más de 8 millones de hectáreas, siendo el maíz para grano blanco el que ocupó el mayor porcentaje, con el 85%, le siguió el maíz forrajero en verde con el 7.5%, el maíz para grano amarillo con el 6.6% y el 0.5% restante es cultivada con variedades de maíz de color, pozolero y palomero (SIAP, 2022). El maíz tiene muchos usos, en México es la base para la alimentación de su población y también es usado como forraje para la alimentación de ganado en diferentes formas, tales como rastrojo, grano y ensilaje (Jurado *et al.*, 2014). El maíz en México se cultiva tanto en riego como en temporal, siendo esta última modalidad la que ocupa la mayor superficie, con el 78% (SIAP, 2022).

En el estado de Hidalgo, en el año 2021, se sembraron 518,641.6 ha de cultivos agrícolas; 133,129.4 ha de riego y 385,512.2 ha de temporal (SIAP, 2022). Los cultivos de mayor importancia tanto por superficie sembrada como por valor de producción fueron: maíz grano, cebada grano, alfalfa verde, frijol, café cereza, maguey pulquero y tomate rojo. El estado de Hidalgo está integrado por 84 municipios, 26 de estos municipios están ubicados en la Región conocida como Valle del Mezquital, que es la región de mayor extensión. A pesar de ser una zona semidesértica, en esta Región, la actividad agropecuaria es importante, dado que, el 61% de la población del Valle del Mezquital viven de la agricultura y la ganadería. Esto es posible porque existe una extensión agrícola con agua de riego, principalmente con aguas residuales de la Ciudad de México y donde el cultivo de maíz es el de mayor importancia, aunque, la actividad agropecuaria de la Región se desarrolla en pequeñas unidades de producción, con superficie promedio de 2.6 ha (INEGI, 2023).

En los años 2010 y 2011, en la Región del Valle del Mezquital se presentó un brote del carbón de la espiga de maíz, que es una enfermedad sistémica causada por el hongo *Sporisorium reilianum*, que afecta la espiga y mazorca del cultivo, ocasionando pérdidas a los productores (Bobadilla *et al.*, 2012). Debido a este problema presentado en el Valle, en el año 2012 y en respuesta para atender esta enfermedad, el INIFAP en coordinación con otras instituciones del sector, desarrollaron una tecnología para su control (Bobadilla *et al.*, 2012), que se aplicó desde el año 2012 y con lo cual se ha mantenido controlada dicha enfermedad, por lo que, se evalúa esta estrategia de control para conocer el impacto económico y productivo de su uso. El objetivo de este trabajo fue evaluar el cambio porcentual en la



productividad y rentabilidad del uso de la tecnología de control integrado del carbón de la espiga de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo, en comparación con quienes no la usan.

Materiales y Métodos

Revisión de información secundaria

Se realizó una revisión de información secundaria referente al soporte documental de la tecnología que se está evaluando, que en este caso, fueron las fichas tecnológicas que documentan desde la generación hasta la adopción de tecnologías en el INIFAP, documentos impresos y de divulgación como folletos para productores disponibles en la literatura, igualmente, se consultaron los informes técnicos de los proyectos de investigación desarrollados por el INIFAP para estudiar el comportamiento del carbón de la espiga en el Valle del Mezquital. Esta información se complementó con una entrevista al jefe del distrito de desarrollo rural de Mixquiahuala para conocer el comportamiento de la enfermedad en la Región.

Obtención de información primaria

Con el conocimiento de la información secundaria, se contactó al investigador que colaboró en la generación de la tecnología para obtener información acerca de su uso al año 2021, y de los usuarios de la tecnología en la Región. Una vez obtenida la información de los productores que aplican las recomendaciones para el control del carbón de la espiga del cultivo del maíz en el Valle del Mezquital, se diseñó un cuestionario que se aplicó a una muestra de productores de maíz en esta Región.

El cuestionario estuvo integrado por los siguientes apartados: i) Datos generales del productor; ii) Proceso de control del carbón de la espiga de maíz en el estado de Hidalgo en el año 2021; con 5 preguntas: 1. ¿Procura mantener con buen nivel de humedad el suelo en los primeros días después de haber nacido la planta hasta los sesenta días? 2. ¿Siembra en las fechas sugeridas de siembra para el valle del Mezquital?, 3. ¿Siembra híbridos o variedades tolerantes al carbón de la espiga de maíz, que estén validados en la región?, 4. ¿Trata o sabe que le vendieron semilla tratada con fungicida para proteger a la planta durante el ciclo?, 5. ¿Tuvo presencia del carbón de la espiga de maíz en el año 2021 o en años previos y cómo afectó el rendimiento?; iii) Costos de producción por ha; iv) Rendimientos obtenidos; v) Proceso de adopción de la tecnología.



El tamaño de la muestra se determinó mediante diseño de Muestreo de Proporciones de Varianza Máxima (Infante y Zarate, 1990), aplicando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N p(1 - q)}{(N - 1) \left(\frac{b}{Z_{1-\alpha}} \right)^2 + p(1 - q)}$$

Donde n es el tamaño de muestra; N es la población; Z es el nivel de confianza; β es el nivel de precisión; p es la probabilidad de que la muestra sea representativa y; q es la probabilidad de que la muestra no sea representativa, con una N de 9,324 productores de maíz, un nivel de confianza de 90% ($Z^2 = 1.65$), un nivel de precisión de 0.2. El tamaño de muestra n estimado fue 53 encuestas.

Estimación de indicadores

Para estimar el cambio en la productividad y la rentabilidad del uso de la tecnología para el control del carbón de la espiga se estimaron dos indicadores: “Tasa de cambio de la productividad obtenida por los productores de maíz encuestados que usan la tecnología con respecto de los productores que no la usan”, y “tasa de cambio en el ingreso neto de los productores de maíz encuestados que usan la tecnología evaluada con respecto de los productores que no la usan”, respectivamente.

Para estimar el primer indicador, que mide el cambio en la productividad, cuya ventaja competitiva está orientada al incremento de los rendimientos por unidad de superficie, respecto a las tecnologías tradicional (o sin control del carbón de la espiga), se aplicó la siguiente fórmula:

$$TCP = \left(\frac{R_{TINIFAP_t} - 1}{R_{TT_{t-1}}} \right) * 100$$

Donde:

TCP = Tasa de cambio de la productividad promedio.

$R_{TINIFAP_t}$ = Rendimiento de la tecnología INIFAP en el tiempo t .

$R_{TT_{t-1}}$ = Rendimiento de la tecnología testigo en el tiempo $t-1$.

Para estimar el indicador de rentabilidad se utilizó la siguiente fórmula:

$$TCINP = \left[\left(\frac{INP_{TINIFAP_t}}{INP_{TT_{t-1}}} \right) - 1 \right] * 100$$

Donde:

$TCINP$ = Tasa de cambio del ingreso neto porcentual.



$INP_{TINIFAP_t}$ = Ingreso neto porcentual de la tecnología INIFAP en el tiempo t.

$INP_{TT_{t-1}}$ = Ingreso neto porcentual de la tecnología testigo en el tiempo t-1.

Para obtener este indicador, se aplican las siguientes fórmulas (Borja *et al.*, 2020):

Ingreso bruto

$$IB (\$) = R * Pr_{producto}$$

Donde:

IB= ingreso bruto en pesos mexicanos.

R= Rendimiento expresado en kilogramos.

$Pr_{producto}$ = Precio del producto generado con la tecnología en \$/kg.

Ingreso neto

$$IN = IB - CTP$$

Donde:

IN= Ingreso neto en pesos mexicanos.

IB= Ingreso bruto en pesos mexicanos.

CTP= Costo total de producción del producto generado con la tecnología en \$/ha.

Ingreso neto porcentual

$$INP (\%) = \left(\frac{IN}{IB} \right) * 100$$

Donde:

INP= Ingreso neto porcentual.

$\left(\frac{IB}{IN} \right)$ = Cociente del ingreso bruto y el ingreso porcentual.

Resultados y Discusión

El estado de Hidalgo y el Valle del Mezquital

El estado de Hidalgo se ubica al norte 21°23'55'', al sur 19°35'52'' de latitud norte; al este 97°59'06'', al oeste 99°51'34'' de longitud oeste. Su superficie es de 20,905 km², que representan el 1.1% de la

superficie total del país. Limita al norte con San Luis Potosí, al noreste con Veracruz, al sureste con Puebla, al sur con Tlaxcala y el Estado de México, y al oeste con Querétaro. En el 2022, en el estado de Hidalgo se reportaron 223,260 unidades de producción agropecuaria, de las cuales 200,719 se reportan como activas en 513,4248 ha y 22,541 unidades de producción agropecuaria en descanso con 61,520 ha de superficie agrícola (INEGI, 2023). Las actividades pecuarias se desarrollaban en 104,892 unidades de producción y sólo en 2,372 unidades se reporta que realizan actividades forestales, información reportada en 2007 por el INEGI (INEGI, 2007).

Administrativamente el estado se divide en seis Distritos de Desarrollo: el DDR de Huejutla que lo integran ocho municipios; el DDR de Zacualtipán lo integran 13 municipios, el de Tulancingo conformado por 11 municipios; el de Pachuca con 19 municipios; el de Mixquiahuala con 22 municipios; y el de Huichapan con 11 municipios. También se divide en 84 municipios que integran 10 regiones económicas (Figura 1), cada una tiene rasgos geográficos distintos y elementos culturales que las hacen diferentes y únicas en el estado (Rodarte *et al.*, 2011).

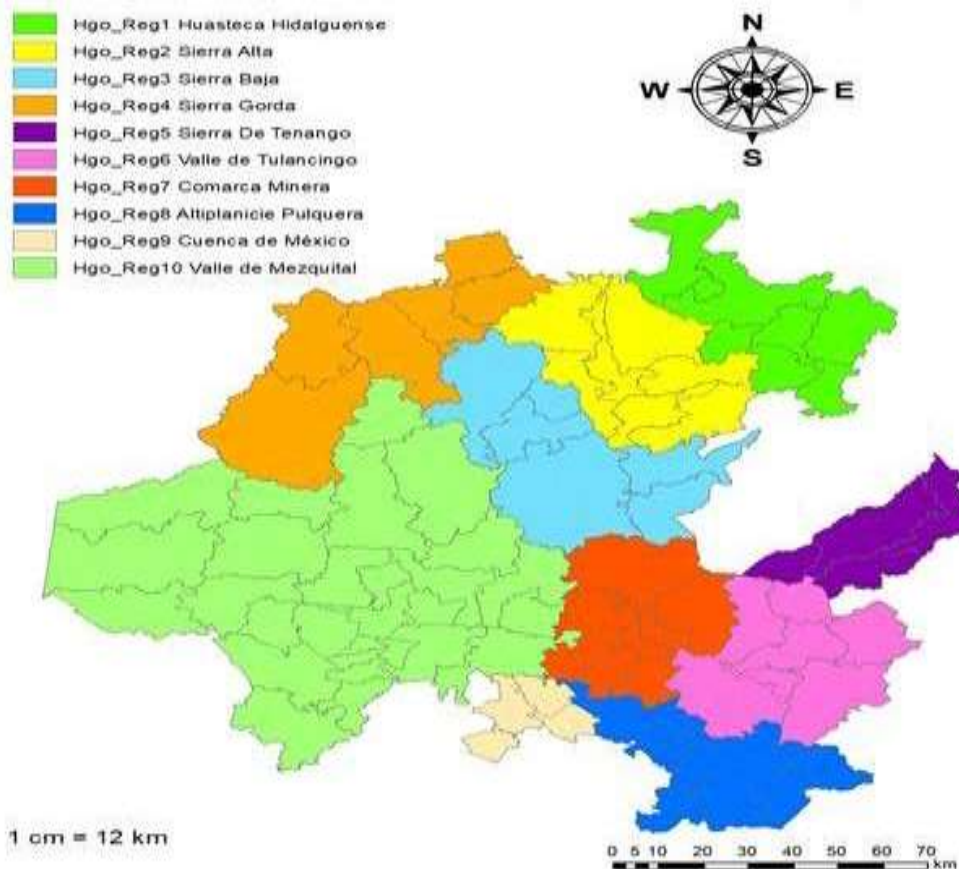


Figura 1. Regiones económicas por municipios del Estado de Hidalgo. Fuente: Tomada de Rodarte, 2011.

Una de las 10 regiones del estado de Hidalgo es el Valle del Mezquital, que está conformada por 28 municipios, es la región de mayor extensión en Hidalgo, se caracteriza por su ecosistema de clima seco, así como por sus manantiales y aguas termales. A pesar de ser una zona semidesértica, en el Valle del Mezquital la actividad agropecuaria es importante, donde el 61% de la población viven de la agricultura y la ganadería, dado que, existe una extensión agrícola con agua de riego, principalmente con aguas residuales de la Ciudad de México.

En el 2021, se sembraron en el estado de Hidalgo 210,343.5 ha de maíz, de las cuales 155,564.1 ha fueron de temporal y 54,779.4 ha de riego. En el Valle del Mezquital se sembraron en el mismo año 68,662 ha que representa el 32.6% de la superficie estatal, de esta superficie, el 58% fue de riego, comportamiento contrario al resto del estado en el cual predomina el régimen de temporal (SIAP, 2022). Sin embargo, ese porcentaje no es una constante en todos los municipios que integran el Valle del Mezquital, hay municipios donde predomina el área de riego, como es el caso Chapantongo, Francisco I. Madero, Ixmiquilpan, Mixquiahuala y Tezontepec. También hay municipios en donde predominan las áreas de temporal como lo es Chapantongo, Nopala, San Agustín Tlaxiaca y Santiago de Anaya (Figura 2).

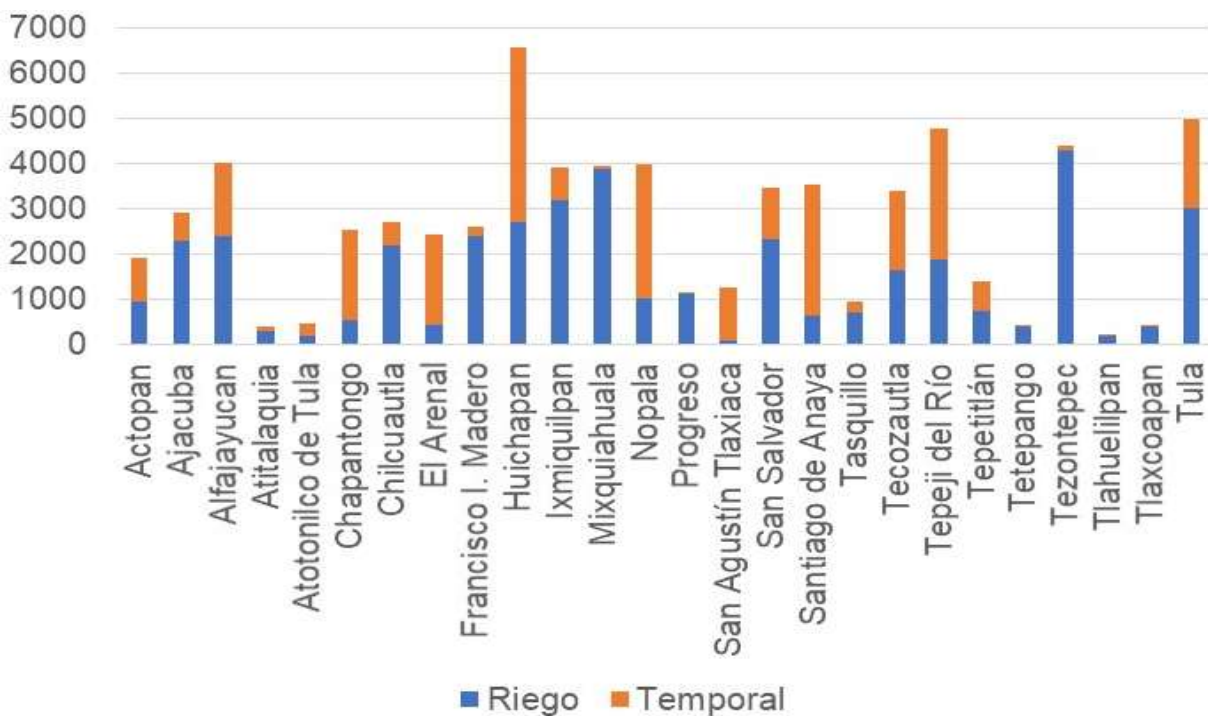


Figura 2. Superficie sembrada en el Valle del Mezquital en el 2021. Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, 2022.

En la Figura 3 se presenta la producción de maíz en los 26 municipios del Valle del Mezquital, como se puede observar, la mayor producción se genera en las áreas de riego, destacando tres municipios: Mixquiahuala, Tezontepec y Tula.

Los mayores rendimientos se presentan en los terrenos de riego, con un promedio de los 26 municipios de 9.4 t/ha, aunque, hay municipios en los cuales obtienen hasta 14 t/ha, como es el caso de Mixquiahuala, San Salvador, Tetepango y Tezontepec, en cambio hay un municipio que obtuvo solo 4 ton/ha. A pesar de ello, es un valor superior al expresado en la publicación Planeación Agrícola Nacional, 2017-2030, de 2.4 t/ha del promedio nacional (SAGARPA, 2018). En cambio, en los terrenos de temporal se obtienen en promedio 0.7 t/ha que es una cantidad menor al promedio nacional (SIAP, 2022).

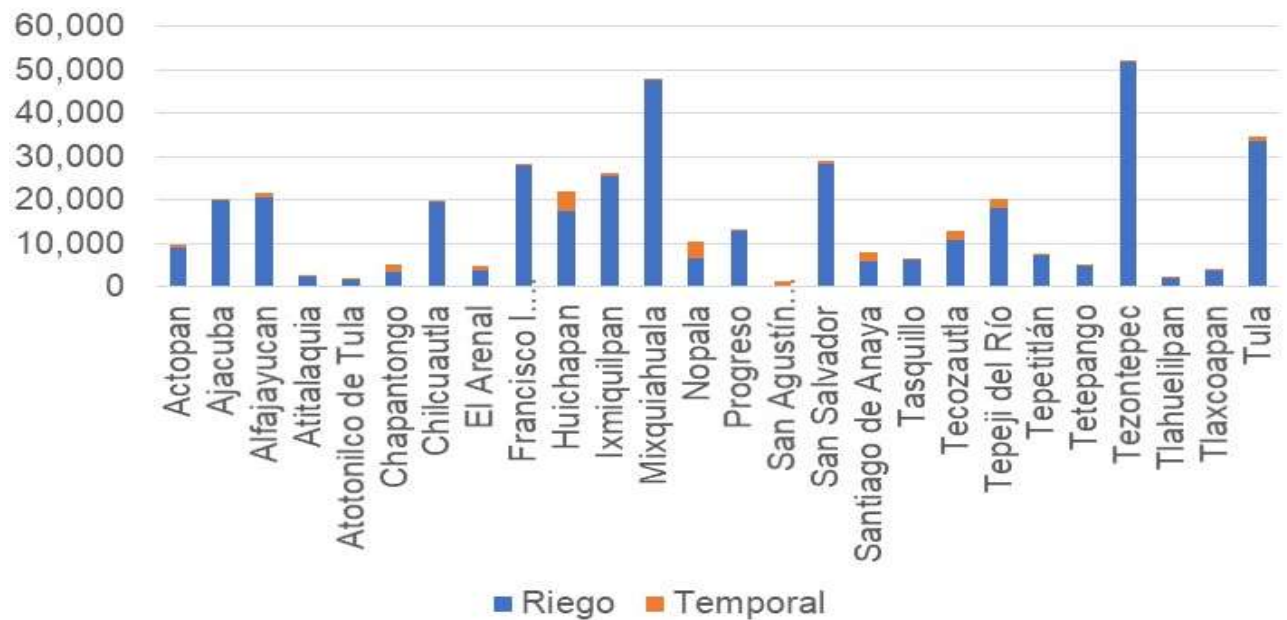


Figura 3. Producción de Maíz en el Valle del Mezquital en el 2021. Fuente: Elaboración propia con información del SIAP, 2022

Tecnología para el Control del carbón de la espiga en el Valle del Mezquital

El Carbón de la espiga de maíz es causada por el hongo *S. reilianum* y puede ocasionar graves pérdidas en el rendimiento, afectando severamente el ingreso de los productores (DGSV-CNRF, 2020). Aunque la infección ocurre en los primeros 10 a 20 días de nacida la planta, y en los primeros 10 a 15 centímetros de profundidad del suelo, los síntomas se presentan hasta el espigamiento y llenado de grano (Pérez, *et al.*, 2006). Las condiciones que favorecen la presencia de la enfermedad son: presencia



del hongo en el suelo, baja humedad en el ambiente y en el suelo, temperatura del suelo de 23-30 °C, periodos prolongados de sequía al inicio del ciclo y una variedad de maíz susceptible a la enfermedad (Navas *et al.*, 2008).

En el Valle del Mezquital, este problema fitosanitario resurgió en el año de 1998 al introducir a esta zona híbridos comerciales de maíz de diversas empresas semilleras nacionales y transnacionales de alto rendimiento, pero algunas de ellas con susceptibilidad a esta enfermedad afectando 16 hectáreas en dos municipios de esta región (DGSV-CNRF, 2020). En 2003, se detectaron más de 1,275 ha en 20 municipios del Valle del Mezquital, del 2004 al 2010, las organizaciones de productores no reportaron incidencia del Carbón de la espiga; sin embargo, en los años 2011 y 2012 resurge la incidencia y el Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Hidalgo (CESAVEH) reportó superficie afectada en 13 municipios del Valle del Mezquital, lo que mostró que la enfermedad y la distribución espacial del patógeno es cíclica, incrementándose considerablemente en la región (Mercado *et al.*, 2014).

Como respuesta a esta problemática, el INIFAP, SAGARPA, CESAVEH, SEDAGROH, DDR Mixquiahuala, SNICS, Empresas Semilleras, Empresas de productos agroquímicos, maquileros y organizaciones de productores conformaron un equipo de trabajo para dar solución a este problema fitosanitario que iba en aumento. Este equipo coordinado por el INIFAP, diseñó una tecnología para prevenir el carbón de la espiga que considera los siguientes pasos: mantener con buen nivel de humedad el suelo en los primeros días después de haber nacido la planta hasta los sesenta días; sembrar en las fechas de siembra sugeridas para cada variedad y región; sembrar híbridos tolerantes al carbón de la espiga de maíz, que estén validados en la región; incorporar enmiendas orgánicas; evitar suelos alcalinos o fertilizar con sulfato de amonio. El Control químico del carbón de la espiga de maíz, es a través de la siembra de híbridos que estén tratados con fungicida con el fin de proteger a la planta durante el ciclo (Pérez, *et al.*, 2006).

Características socioeconómicas de los productores de maíz en el Valle del Mezquital

Se aplicó un cuestionario a una muestra de 53 productores de trigo ubicados en los municipios de Alfajayucan, Chilcuautla, Huichapan, Ixmiquilpan, Mixquiahuala, San Salvador, Santiago de Anaya, Tasquillo, Tepetitlán y Tezontepec. Su edad promedio es de 50 años, el rango de edad de mayor frecuencia se ubica menor de 50 años, valores similares a los reportados por Damián *et al.* (2009). Siembran en promedio 3.8 ha, obtienen un rendimiento de 9.5 t, con un ingreso neto mayor a los \$40,000/ha (Cuadro 1). Con respecto al nivel educativo, predominan los productores con primaria concluida, seguidos en porcentaje con estudios de preparatoria, y sin estudios sólo el 6% (Figura 4).

Cuadro 1. Datos socioeconómicos de productores de maíz en el Valle del Mezquital.

	Edad del productor	Ha Sembradas	Rendimiento (ton/ha)	Ingreso Total (\$)	Costo Total (\$)	Ingreso Neto (\$)
N	53 productores					
Media	50.2	3.8	9.5	56,527	14,701	41,826
Desviación estándar	14.7	3.3	4.7	26,841	5,080	25,016
Mínimo	24	0.5	0.9	5,400	3,550	-9,700
Máximo	84	15	18.1	101,360	30,100	84,660

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de encuesta aplicada a productores.



Figura 4. Nivel de estudios de productores de maíz en el Valle del Mezquital, Hgo. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de encuesta aplicada a productores.

Al evaluar el impacto en los rendimientos de maíz, de las cuatro practicas recomendadas para el control del carbón de la espiga, la práctica que menos realizan los productores es la de tratar la semilla con fungicida, sin embargo, la práctica que presentó un mayor impacto en el rendimiento fue la de sembrar los híbridos o variedades tolerantes al carbón de la espiga de maíz que estén validados en la región, con un impacto en el rendimiento de más del 100% (Cuadro 2).



Cuadro 2. Cambio porcentual del rendimiento de maíz por el uso de prácticas de control del carbón de la espiga en el Valle del Mezquital.

Prácticas para el Control	No lo hizo		Si lo hizo	Cambio porcentual
	Porcentaje de productores	Rendimiento promedio	Rendimiento Promedio	
Procura mantener con buen nivel de humedad el suelo en los primeros días después de haber nacido la planta hasta los sesenta días	19	7.3	10.0	37.8
Siembra en las fechas sugeridas de siembra para el valle del Mezquital	19	7.2	10.0	38.9
Siembra híbridos o variedades tolerantes al carbón de la espiga de maíz, que estén validados en la región	26	5.2	11.0	111.5
Trata o sabe que le vendieron semilla tratada con fungicida con el fin de proteger a la planta durante el ciclo	36	8.7	10.8	23.9

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de encuesta aplicada a productores.

Cambio en el Beneficio Neto por el uso de tecnología del control del carbón de la espiga

En cuanto al cambio porcentual del ingreso neto derivado del uso de las cuatro practicas recomendadas, se observa en el Cuadro 3 que, la práctica de menor impacto fue la de tratar la semilla sembrada con fungicida con el fin de proteger a la planta durante el ciclo, con una tasa de cambio de 28%, este tema ha sido estudiado por Quezada *et al.* (2023), que evaluaron diferentes productos químicos para tratar a la semilla de maíz y sus efectos en la germinación de teliosporas y formación de basidiosporas que darán origen a la etapa infectiva, de esta evaluación realizada concluyen que cualquier fungicida es efectivo, por ello se considera que es una práctica efectiva.

Al igual que en los rendimientos, la práctica que más impacta en el ingreso neto es sembrar híbridos o variedades tolerantes al carbón de la espiga de maíz, y sobre todo que estén validados en la región, de ahí la importancia de los programas de mejoramiento genético de las instituciones de la investigación agrícola tanto públicas como privadas, que deben de generar nuevas variedades resistentes a esta



enfermedad, también, es necesario que el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), promueva los procesos de evaluación de estas nuevas semillas, para garantizar que en cada región se siembren aquellas variedades o híbridos que estén validados.

Cuadro 3. Cambio porcentual del Ingreso Neto (IN) de los productores de maíz por el uso de prácticas de control del carbón de la espiga en el Valle del Mezquital en pesos mexicanos.

Prácticas para el Control	No lo hizo		Si lo hizo		Cambio porcentual
	Porcentaje de productores	IN Promedio	IN Promedio	IN Promedio	
Procura mantener con buen nivel de humedad el suelo en los primeros días después de haber nacido la planta hasta los sesenta días	19	32,748	43,937	34.2	
Siembra en las fechas sugeridas de siembra para el valle del Mezquital	19	32,390	44,021	35.9	
Siembra híbridos o variedades tolerantes al carbón de la espiga de maíz, que estén validados en la región	26	24,953	47,883	91.9	
Trata o sabe que le vendieron semilla tratada con fungicida con el fin de proteger a la planta durante el ciclo	36	38,000	48,674	28.1	

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de encuesta aplicada a productores.

Conclusiones

1. A pesar de que se ha implementado una campaña para el control del carbón de la espiga de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo, aún hay presencia de esta enfermedad en el 9% de los productores encuestados.
2. Los productores que realizan las cuatro prácticas de control del carbón de la espiga aplicadas al cultivo de maíz en el Valle del Mezquital, Hidalgo incrementan su productividad e ingreso neto en comparación con quienes no lo hacen, siendo el uso de híbridos o variedades tolerantes al carbón de



la espiga de maíz, que estén validados en la región, la practica con mayor tasa de cambio, tanto de la productividad como del ingreso neto, con valores de 111.5 y 91.9% respectivamente.

Literatura Citada

Bobadilla, M. M., J. P. Pérez C., Y. Mercado F., E. Martínez R. y K. Olvera O. 2012. Carbón de la espiga de maíz en el Estado de Hidalgo. Folleto para Productores N° 4. INIFAP – CIRCE – S.E. Hidalgo. 20 p.

Borja B. M., V. Cuevas R. y A. Vélez I. 2020. Impacto económico de la adopción de tecnología para la producción de frijol en condiciones de temporal en el norte centro de México. 2020. Ciencia UAT. 14(2):104-116.

Damián, M., B. Ramírez, F. Parra, J. Paredes, A. Gil, J. López y L. Cruz. 2009. Estrategias de reproducción social de los productores de maíz de Tlaxcala. estud. Soc. Rev. Aliment. Contemp. Desarro. Reg. 17(34):112-146.

DGSV-CNRF. 2020. *Sporisorium reilianum* f. sp. zae. Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica. Tecámac, Estado de México, 16 p.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/601974/Carb_n_de_la_espiga.pdf.
[Consultado el 26 de junio de 2023].

INEGI. 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007.
<https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>. [Consultado el 26 de junio de 2023].

INEGI. 2023. Censo Agropecuario 2022. CENSO 2022 Agropecuario Resultados oportunos del estado de Hidalgo.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/cagf/2022/doc/CA2022_ROHGO.pdf
[Consultado el 14 de julio de 2023].



- Infante, G. S. y G. Zarate de L. P. 1990. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa España. 642 p.
- Jurado, G. P., C. R. Lara M. y R. A. Saucedo T. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. Folleto técnico N° 53. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Sitio Experimental La Campana. Aldama, Chih, México. 34 p.
- Mercado, F. Y., O. Cárdenas Á., V. Rojas O., J. P. Pérez C., G. Leyva M. and A. Anducho R. 2014. Application of *Bacillus subtilis* in the biological control of the phytopathogenic fungus *Sporisorium reilianum*. Biol. Control 76:36-40.
- Navas, C. J. A., B. Landa B., J. Mercado B., J. L. Trapero C., D. Rodríguez J. and R. M. Jiménez D. 2008. Spatiotemporal analysis of spread of infections by *Verticillium dahliae* pathotypes within a high tree density olive orchard in southern Spain. Phytopathology 98:167-180.
- Pérez, C. J. P., M. Bobadilla M., G. Velásquez C., M. G. Zacatenco A. y A. Espinoza C. 2006. Logros y aportaciones de la investigación en maíz de riego en el Valle del Mezquital, Hidalgo. p. 55-65. In: Memorias de veinte años de investigación y desarrollo tecnológico. Campo Exptl. Pachuca, Hidalgo, INIFAP, Pachuca, México.
- Quezada, S. A., M. Moreno V., C. De León, C. Nava D., A.M. Hernández A. y G. Márquez L. 2023. Sensibilidad del carbón de la espiga del maíz a diferentes fungicidas. CIENCIA ergo-sum 30(2):e200
- Rodarte, G. R., M. Gutiérrez V. y E. Galindo, E. 2011. Hidalgo, Desarrollo y Regionalización: Dos estudios para el desarrollo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades. Pachuca, Hgo. 122 p.
- SAGARPA. 2018. Planeación agrícola nacional 2017-2030, maíz grano blanco y amarillo mexicano. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256429/B_sico-Ma_z_Grano_Blanco_y_Amarillo.pdf. [Consultado el 26 de junio de 2023].



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Producción agrícola: Cierre de la producción agrícola (1980-2022). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [Consultado en febrero de 2023].



EVALUACIÓN DE INÓCULOS Y ABONOS ORGÁNICOS EN EL CULTIVO DE CACAO

Cesiah Cambambia Mendoza^{86*}, Anastacio Nanco Ortiz⁸⁶, Tania Romero Figueiras⁸⁷ y Fernando A. Gómez Díaz⁸⁷

Resumen

Para mejorar el desarrollo vegetativo de los cultivos desde la germinación hasta el proceso de producción en vivero en la actualidad se hace uso de mejoradores de suelo tales como *Trichoderma* y micorrizas, a través de la inoculación de las semillas, que funcionan como reguladores de crecimiento. Por lo tanto, con el objetivo de evaluar los inóculos de *Trichoderma* y micorriza, durante el proceso de germinación de semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), así como la respuesta de los abonos orgánicos en el desarrollo de la planta en etapa de vivero. Para identificar cual es su efecto en la longitud de la raíz pivotante, de la altura y diámetro de tallo de la planta, se establecieron siete diferentes tratamientos y tres repeticiones bajo el modelo matemático ($y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$), con siete tratamientos los cuales consistieron en T1= *Trichoderma* + guano de murciélago, T2= *Trichoderma* + Nutri humus; T3= *Trichoderma* + Root Grow; T4= Micorriza + Guano de murciélago; T5= Micorriza + Nutri humus; T6= Micorriza + Root Grow; y T7= Testigo. La investigación se llevó a cabo durante el mes de enero-junio del 2023, en la localidad de Atoyaquillo, Municipio Amatlán de los Reyes, Veracruz. Se estableció en un vivero de plantas de cacao, dónde se evaluó el porcentaje de germinación de semilla inoculada con *Trichoderma* y micorriza, se aplicaron abonos orgánicos en la etapa de vivero, reportando resultados del 100% de emergencia con micorriza y en el 93.33% en *Trichoderma*, con una diferencia de 16.67% con respecto al testigo, demostrando que la inoculación mejora en más del 90% del brote, garantizando mayor sobrevivencia de las plantas. Los resultados de los análisis estadísticos en la longitud de la raíz pivotante, altura de la planta y diámetro del tallo, después de la aplicación de abonos orgánicos hasta la última evaluación, reportaron una diferencia significativa de $p=0.0012$ en longitud de raíz pivotante, $p=0.0000$ en altura de la planta y $p=0.0003$ en diámetro del tallo, siendo el T4 y T5 los más sobresalientes con respecto al testigo y a los demás tratamientos.

⁸⁶ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. *Autor por correspondencia: 20203a101035@utc.edu.mx; anastacio.nanco@utc.edu.mx

⁸⁷ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz tania.romero@utc.edu.mx, fernando.gomez@utc.edu.mx



Palabras claves: reguladores, efectos, *Trichoderma*, germinación

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales productos consumidos a nivel mundial. Al ser un producto industrializado, adquiere un valor agregado del 2.65 del precio del grano a manteca (CEDRSSA, 2020). La producción a nivel internacional es de 4.84 millones de t/año, donde hay participación de 5.5 millones de productores (Cardeño y Dilas, 2022). En cuanto a la producción mundial del cacao, los países que más se destacan por tener altos volúmenes de producción son Costa de Marfil 45%, Ghana 18% y Ecuador con el 7%. El cacao es un cultivo con una alta importancia cultural y económica, principalmente para la producción de chocolate, alimentos, bebidas y tabaco debido a ello la industria chocolatera creció el 5% y en el primer semestre del 2020 solo reporto un incremento del 1%. Actualmente México ocupa el onceavo lugar a nivel mundial con una producción de 29,457 t/año en una superficie de 59,655 ha, donde laboran 40 mil familias productoras (Silva y Roma, 2023). Los tres principales estados productores de cacao en México son Tabasco, que aporta el 68.59% del volumen de producción nacional con 18,927.53 toneladas cosechadas en una superficie de 40,923 mil hectáreas; Chiapas con el 30.97% del volumen 9,869.96 toneladas en una superficie de 18,476 hectáreas y Guerrero con un volumen nacional de 284.52 toneladas en una superficie de 256 hectáreas, con una aportación del 0.42%. Hoy en día son pocos los estados productores, pero debido a sus climas y tipo de suelos de Veracruz y Nayarit, tiene gran potencial ya que para cubrir la demanda interna actualmente se necesitan cerca de 120 mil toneladas.

En los últimos años las exportaciones de cacao han sido de 621 toneladas, de las cuales el 79% se destinan a Bélgica, y a Norteamérica a empresas de chocolate gourmet que buscan el cacao mexicano por su fino aroma que lo hace diferente a otros (Borja *et al.*, 2021). México tiene un déficit de producción por lo que, para satisfacer la demanda interna se importa cacao de Ecuador, Costa de Marfil, República Dominicana, Colombia y Ghana, entre otros países ya que el cacao se obtiene de una variedad “criolla”, es decir que solo se encuentra en nuestro país, y en el resto del mundo entre el 75 y 80% del volumen de producción se obtiene de la variedad forastero que se caracteriza por un aroma y sabor muy ligero y el trinitario al igual que el criollo de un aroma notable, pero aun así este último lo supera en calidad. El cacao es un árbol del bosque tropical, las condiciones edafoclimáticas favorables



para el cultivo de cacao son suelos francos, con un pH de 6 a 7, y una profundidad de entre 80 a 150 cm y ricos en materia orgánica con una temperatura mínima para su desarrollo de 22°C y una máxima de 28°C pertenece a la familia *Malvaceae* perennifolio, de 4 a 7 m de altura con hojas grandes, alternas, colgantes, elípticas y cuelgan de un pecíolo es una especie cauliflora, es decir, las flores aparecen insertadas sobre el tronco o las viejas ramificaciones (Beni, 2015).

Cano (2011) indica que los principales beneficios que las plantas de cacao obtienen de las micorrizas y *Trichoderma*, son el incremento en la adquisición de nutrientes de baja movilidad y disponibilidad como el fósforo además actúan como estimulador del crecimiento. Pérez y Montes (2011), señalan que las micorrizas vesícula orbiculares son hongos benéficos que realizan simbiosis con las raíces de las plantas y mejoran su desarrollo en el crecimiento en la etapa de germinación de la siembra en vivero estas sustancias, actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de éstas y así, aceleran su reproducción celular, logrando que las plantas alcancen un desarrollo tres veces más rápido que aquellas plantas que no hayan sido tratadas con dicho microorganismo (Lucas, 2016). Sin embargo, los últimos estudios han demostrado, que el beneficio es más amplio y complejo, indicando que las plantas micorrizadas pueden tolerar ambientes adversos, bióticos y abióticos, las cepas de *Trichoderma* germinan y desarrollan un micelio óptimo y necesario para actuar frente a los patógenos, que estén presentes en el suelo o que pudieran llegar aparecer (Dorado, 2019).

La distribución y función de los elementos minerales en la planta de cacao al formar la estructura vegetal se lleva a cabo por los nutrientes absorbidos que son destinados a desarrollar y consolidar sus diferentes partes vegetativas, como raíces, tronco, ramas y hojas. Rodríguez (2019), señala que los inóculos ayudan a mejorar la absorción de nutrientes de mayor consumo, como N, Ca, K, P y Mg, logrando incrementa el desarrollo en la etapa de vivero, en los primeros cinco años de la siembra hasta alcanzar el pleno desarrollo vegetativo; a partir de esta etapa se transloca los nutrientes para la floración y fructificación de la planta. Debido a su importancia se realiza el presente trabajo teniendo como objetivo la evaluación de los inóculos *Trichoderma* y micorriza, durante el proceso de germinación de semillas de cacao, así como la respuesta de los abonos orgánicos en el desarrollo de la planta en etapa de vivero, para identificar cual la diferencia de la longitud de la raíz pivotante, de la altura y diámetro de tallo de la planta.



Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en el Municipio de Amatlán de los Reyes, en la zona central del estado de Veracruz en una de las zonas de mayor relieve del estado por lo que recibe el nombre de Región Altas Montañas, sus coordenadas geográficas son 18° 46' - 18° 58'.

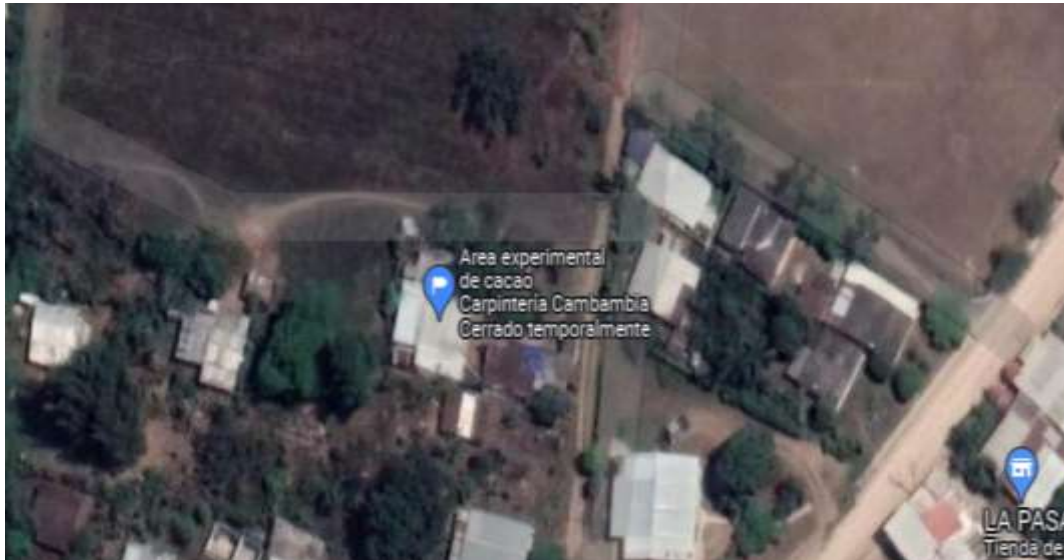


Figura 1. Micro localización de un vivero experimental de cacao en el municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

Material y equipo para el estudio

Para el desarrollo del trabajo de investigación en cacao (*Theobroma cacao* L.), se contemplaron los siguientes materiales, equipo e insumos; flexómetro, pala, 90 bolsas negras de 15 cm x 30 cm, dosificadores de 50 ml, separadores de madera; bitácoras de control de mediciones, formato de registro de las actividades de campo, Inóculos micorrícicos y *Trichoderma*, abonos orgánicos Root Growth, Nutri Humus y Guano de murciélago y sustrato aserrín 50% y 50% suelo.

Para desarrollar el trabajo de investigación se elaboró el diseño experimental completamente al azar bajo el siguiente modelo estadístico: $y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

$i = 1, \dots,$

$j = 1, \dots,$

μ = media general

τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento



β_j = efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} = error experimental en la unidad j del tratamiento i

Descripción de tratamiento

T1= *Trichoderma* + Guano de murciélago

T2= *Trichoderma* + Nutri humus

T3= *Trichoderma* + Root Grow

T4=Micorrizas + Guano de murciélago

T5=Micorrizas + Nutri humus

T6=Micorrizas + Root Grow

T7=Testigo

Resultados y Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos, el inóculo con mayor efecto en la etapa de germinación fue de micorrizas con el 100%, de semilla germinadas, mostrando una emergencia de forma homogénea a los ocho días, así como en cuanto tamaño de planta, pigmentación de hoja y crecimiento uniforme; respecto al tratamiento *Trichoderma* los resultados fueron menos favorables con el 93.33% de semilla germinada (Cuadro 1), con una variación del 16.67% con respecto al testigo, ya que presento presencia de problemas fungosos impidiendo el crecimiento, lo que interfirió en la planta en no extender sus cotiledones por completo y al mismo tiempo impidió la absorción de la luz del sol de forma regular. Por lo tanto, el *Trichoderma* y la micorriza ayudan a disminuir los problemas patógenos como lo indica Dorado (2019).

Cuadro 1. Porcentaje de germinación de semilla de cacao inoculada con *Trichoderma* y micorriza, en el Municipio de Amatlán de los Reyes, Veracruz.

Tratamiento	Semillas sembradas (%)	Semillas germinadas (%)
Micorrizas	100	100.00
<i>Trichoderma</i>	100	93.33
Testigo	100	83.33



En la evaluación comparativa del crecimiento de la longitud de raíz pivotante del primer muestreo al último se reporta una diferencia de 3.51 cm de la media, 5.5 de la mínima y 8.2 de máxima (Figura 2), con una desviación estándar 0.408 cm., siendo el tratamiento cinco el que reportó mayor longitud con inóculo micorrizas + Nutri Humus, seguido del T4 con Guano de murciélago + micorrizas, respecto a los demás tratamientos.

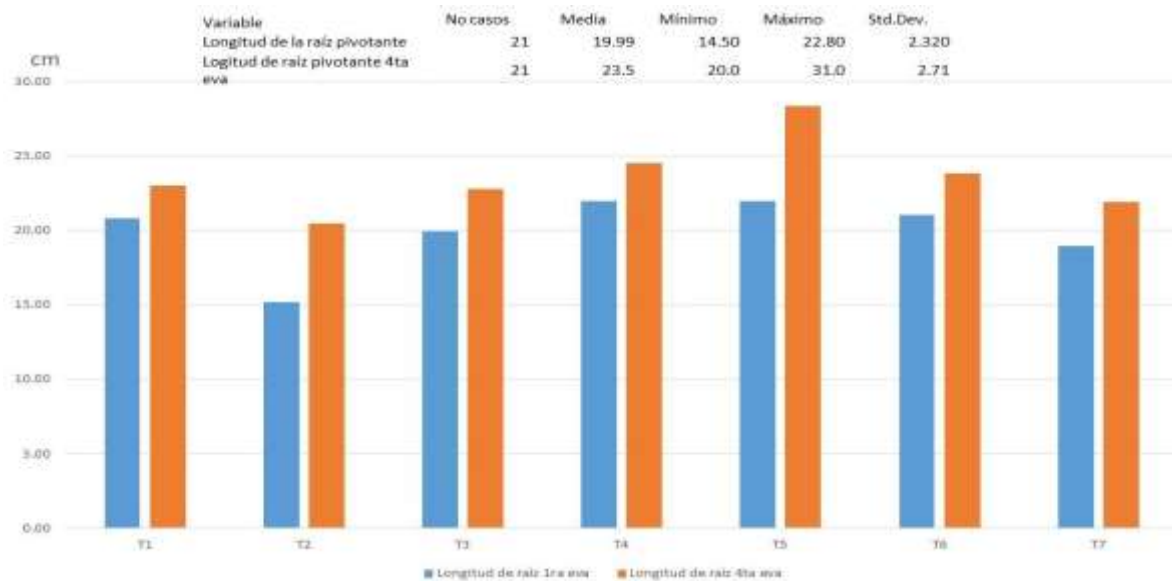


Figura 2. Longitud (cm) de la raíz pivotante de cacao bajo diferentes tratamientos de enraizamiento.

En la comparación diferencias de medias en la altura se reporta 3.7cm, en la mínima 2.1 cm de y máxima 5.9 cm y una desviación estándar de 1.49 cm. Reportando el T5 una altura máxima de 33.5 cm entre todos los tratamientos (Figura 3) y una mínima 23.5 el T3 cm.

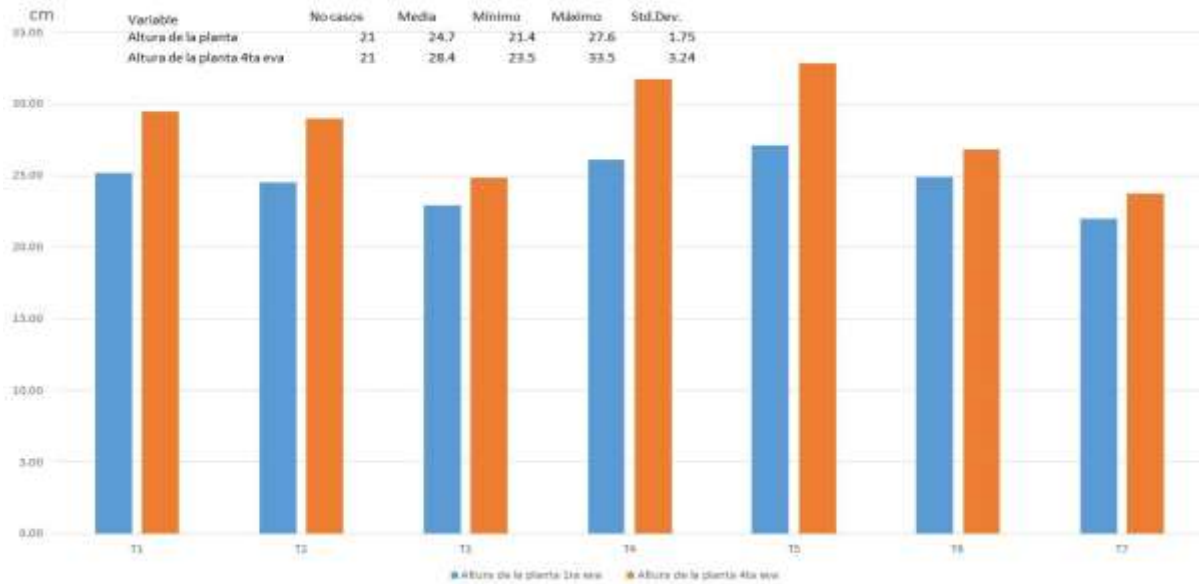


Figura 3. Altura (cm) de planta de cacao cuya semilla fue sometida a diferentes tratamientos de enraizamiento.

La comparación entre el muestro uno, respecto al cuatro reportan una diferencia en la media de 1.4 mm, con una mínima de 0.4 mm y la máxima de 3 mm, con una desviación estándar de 0.88mm, siendo el T5 el de mayor diámetro de tallo respecto a los demás tratamientos (Figura 4).

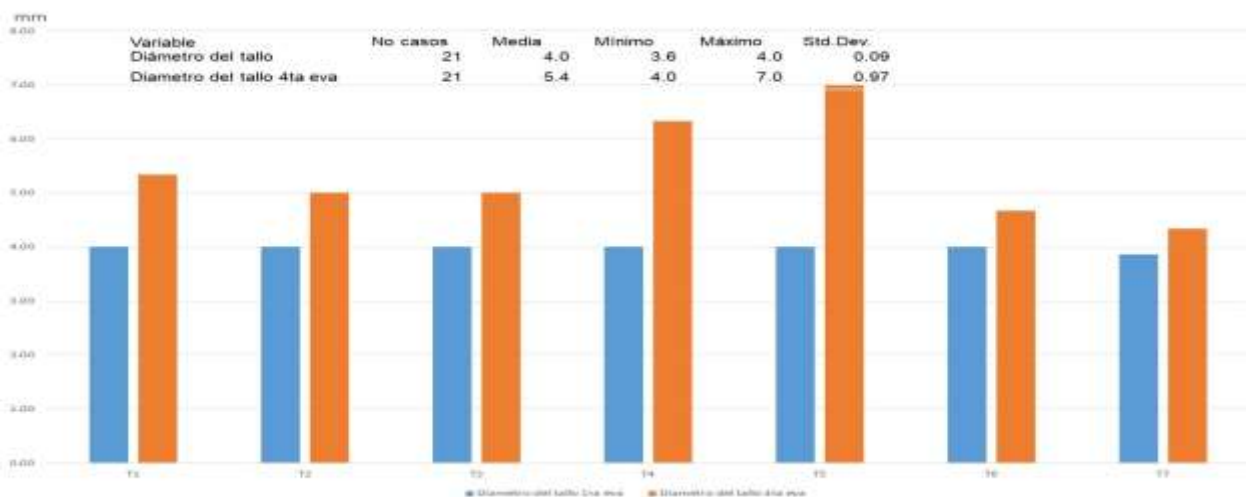


Figura 4. Diámetro de tallo (mm) de cacao cuya semilla fue sometida a diferentes tratamientos de enraizamiento.



La relación de la longitud de la raíz pivotante, entre los tratamientos reportan una diferencia significativa ($p=0.0012$), siendo el T5 y T4 los de mayor tamaño (Figura 5). En comparación de medias en dos grupos homogéneos con la Prueba de Tukey se muestra diferencias estadísticas entre la media, siendo el T5 la más alta y T2 reportó la más baja (Cuadro 2).

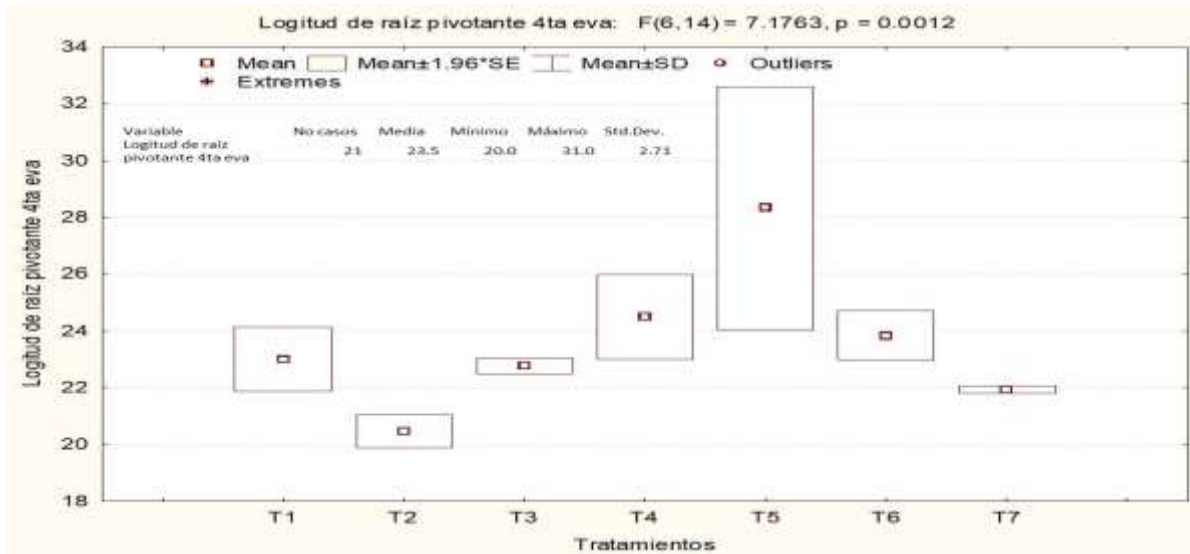


Figura 5. Comparación de medias de la longitud de raíz pivotante de plantas de cacao tratadas de diferente manera para su desarrollo en vivero.

Cuadro 2. Prueba Tukey HSD; variable Longitud de raíz pivotante 4ta evaluación Grupos homogéneos, alfa = .05000, Error: Entre MS = 2.5710, df = 14.000.

Tratamientos	Longitud de la raíz pivotante	
	Mean	
T2	20.47	a
T7	21.93	a
T3	22.77	a
T1	23.00	a
T6	23.83	a
T4	24.50	a b
T5	28.33	b



La relación de la altura de la planta, entre los tratamientos reportan una diferencia significativa ($p=0.0000$), siendo el T5 y T4 los de mayor tamaño (Figura 6). En la comparación de medias en cuatro grupos homogéneos con la Prueba de Tukey se muestran diferencias estadísticas entre la media, siendo el T5 la más alta y el T7 la más baja (Cuadro 3). El crecimiento de la planta tiene relación a lo que indica Pérez y Montes (2011), al favorecer la asimilación de nutrientes, para el mejor desarrollo.

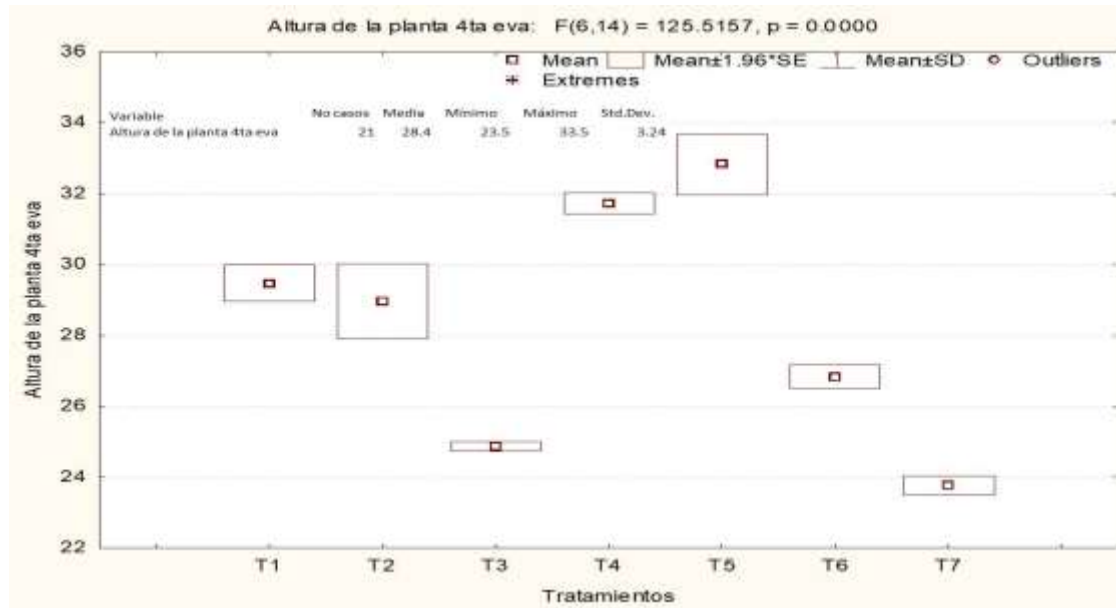


Figura 6. Comparación de medias de altura de plantas de cacao con diferentes tratamientos para su desarrollo en vivero.

Cuadro 3. Altura de planta de cacao sometida a diferentes tratamientos para su desarrollo en vivero en un cuarto muestreo.

Tratamientos	Altura de la planta (cm)	1	2	3	4
T7	23.77	a			
T3	24.87	a			
T6	26.83				D
T2	28.97		b		
T1	29.47		b		
T4	31.73			b	
T5	32.83			b	

Letras diferentes denotan diferencias significativas, Tukey HSD ($\alpha=0.05$); Error: Entre MS = 0.27333, $df = 14.000$.



En la comparación del diámetro de la planta, entre los tratamientos reportan una diferencia significativa ($p=0.00003$), siendo el T5 y T4 los de mayor tamaño (Figura 7). En la comparación de medias en grupos tres homogéneos con la Prueba de Tukey se muestra diferencias estadísticas entre la media, siendo el T5 la más alta y el T7 la más baja (Cuadro 4).

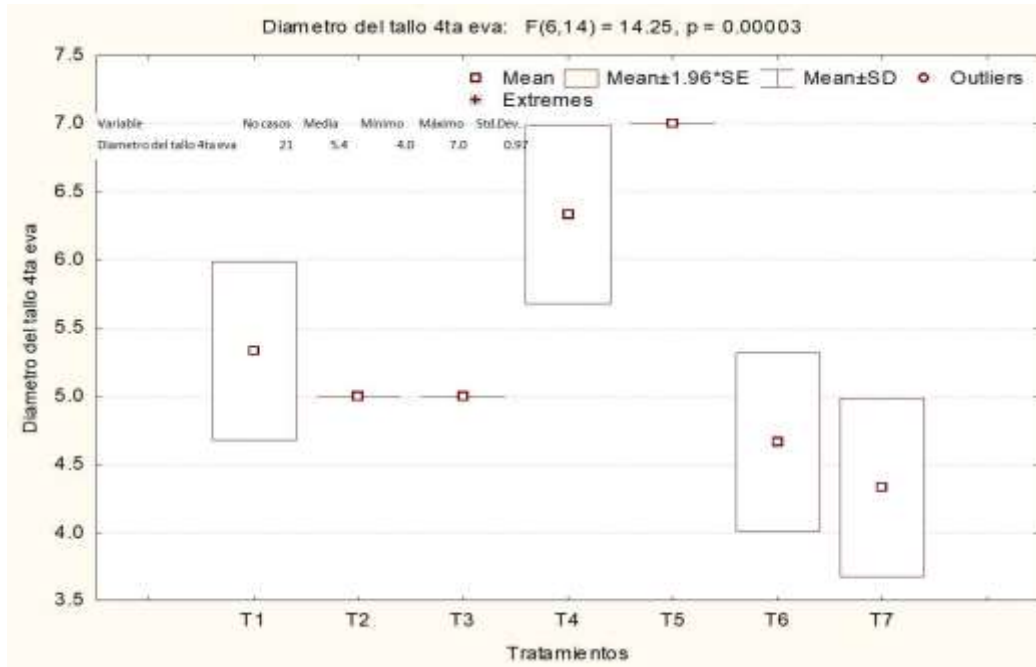


Figura 7. Comparación de medias de diámetro de tallo de plantas de cacao con diferentes tratamientos para su desarrollo en vivero.

Cuadro 4. Prueba Tukey HSD; variable Diámetro del tallo 4ta evaluación. Grupos homogéneos, alfa = .05000; Error: Entre MS = .19048, df= 14.000.

Tratamientos	Diámetro del tallo (mm)		
	1	2	3
T7	4.33	a	
T6	4.67	a	
T3	5.00	a	
T2	5.00	a	
T1	5.33	ab	ab
T4	6.33	bc	bc
T5	7.00		c



Conclusiones

La inoculación de *Trichoderma* y micorriza en semillas de cacao (*Theobroma cacao* L), favorece el porcentaje de germinación, con una diferencia de 16.7% entre ambos inóculos, así mismo el uso de nutri humus con micorriza y con guano de murciélago aplicado en las plantas en maceta benefician el desarrollo de mayor longitud de la raíz pivotante, mayor altura y diámetro de la planta, lo que demuestra que la combinación de inóculos con los abonos orgánicos, benefician el crecimiento de las plantas, demostrando que la utilización de abonos de fuentes orgánicas mejorando diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, que también funcionan como control biológico de plagas y enfermedades, por lo tanto el principal papel de microorganismos es beneficiar la absorción de nutrientes, ocasionando el desarrollo radicular, lo que demuestra que los microorganismos pueden ayudar a mejorar las prácticas de producción de los cultivos de cacao.

Agradecimientos

El agradecimiento total a la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz por el apoyo, a los profesores del programa ASP, en particular al Ing. Anastacio Nanco Ortiz como asesor industrial y a la M.C. Tania Romero Figueiras como asesora de proyecto. Al productor, Agustín Cambambia Hernández por la facilidad de proporcionar su vivero para el ensayo y apoyo durante el desarrollo del mismo, al INIFAP por la oportunidad que nos brinda al participar en la presentación del presente trabajo.

Literatura Citada

- Beni, M. (Ed.). 2015. De los descubrimientos a las taxonomías: la botánica y la zoología en la lengua española del Renacimiento a la Ilustración. Vol. 1. Universitas Studiorum.
- Borja Abad, K. L., H. Vite Cevallos, V. J. Garzón Montealegre y H. Carvajal Romero. 2021. Análisis de las exportaciones del cacao ecuatoriano en grano en el periodo 2008 al 2018. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas 4(S1):147-155.



- Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 14(2):15-31.
- Cardeño, P. E. y J. O. Dilas J. 2022. Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. 2(1):10-13
- CEDRSSA, 2020. Industria del Cacao en México, Centro del Cacao en México, Palacio Legislativo de San Lázaro Cámara de Diputados LXIV Legislativa. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/9/71Industria%20del%20cacao%20en%20M%C3%A9xico.pdf>
- Dorado Gutiérrez, E. B. 2019. Evaluación de complejos micorrízicos asociados al cultivo de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*). Tesis de licenciatura. UTB. Babahoyo.
- Lucas. L. J. A. 2016. Efectos de la asociación Micorrizas más *Trichoderma* sobre el crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) en viveros, en la zona de Babahoyo. Tesis de licenciatura. UTB. Babahoyo.
- Pérez, A., R. J. y D. Montes. 2011. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA 3(2):366-385.
- Rodríguez C, P. I. 2019. Estudio de la fertilización edáfica en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la hacienda San José, cantón Babahoyo. Tesis de licenciatura. UTB. Babahoyo.
- Silva R. E. y R. A. Roma. 2023. Producción de cacao a nivel nacional ha disminuido: investigadores. <https://www.uv.mx/citro/banner/produccion-de-cacao-a-nivel-nacional-ha-disminuido-investigadores/> [consultado el 1 de julio del 2023].



MÉTODO DE INOCULACIÓN DE ESPORAS DE *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. EN PLANTAS DE CAFÉ BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Maricela Santiago Santiago⁸⁸, Nadia Martínez Barrientos⁸⁸, Jonathan Saynes Vázquez⁸⁹, César Josué Chiquito Contreras⁸⁹
y Roberto Gregorio Chiquito Contreras^{88, 89*}

Resumen

En México, la roya del cafeto es clasificada como una enfermedad de gran importancia económica para este cultivo. Ésta es causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., que infecta las hojas y provoca su caída prematura, y el debilitamiento de las plantas. Las plantas enfermas reducen el rendimiento del café hasta en un 60%. El control de *H. vastatrix*, se realiza por diversos métodos, pero no eliminan la enfermedad. Los estudios para evaluar nuevos métodos o tecnologías de control y erradicación de la roya del café, se ve limitado por las características biotróficas de *H. vastatrix*, que impiden realizar investigaciones durante todo el año. Por ello, el objetivo de esta investigación fue establecer un método de inoculación de *H. vastatrix*, que permita mantener la viabilidad de las esporas bajo condiciones *in vivo* en invernadero para realizar estudios de la roya del café en cualquier época del año. La investigación se realizó en dos etapas. En la primera, se colectaron urediniosporas del hongo *H. vastatrix* de una finca cafetalera. Después, se evaluaron tres métodos de inoculación: por contacto, por aspersión y por lesión o herida; además de dos variedades de café: typica y geisha. Las plantas inoculadas fueron incubadas bajo condiciones de oscuridad. En la segunda etapa, se realizó el monitoreo de los síntomas de la enfermedad de roya del café, se evaluó severidad e incidencia durante 120 días. En las plantas de café variedad typica se obtuvo mayor incidencia de roya (37%) cuando las urediniosporas fueron inoculadas a través de una herida o lesión. En cambio, en la variedad geisha el mayor porcentaje de incidencia de la enfermedad se registró cuando la inoculación se realizó por aspersión (17.1%). En ambas variedades, typica y geisha, se obtuvo la mayor severidad de roya cuando las urediniosporas fueron inoculadas por contacto.

⁸⁸ Posgrado en Ciencias Agropecuarias. *Autor por correspondencia: rchiquito@uv.mx

⁸⁹ Facultad de Ciencias Agrícolas-Campus Xalapa, Universidad Veracruzana; Zona Universitaria C.P. 91090, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México.



Palabras clave: Incidencia, roya del café, severidad

Introducción

El café es un valioso producto de exportación agrícola, el segundo producto básico más comercializado en el mundo, después del petróleo y sus derivados (Toledo y Moguel, 2012; Torres *et al.*, 2020). Se cultiva en más de 85 países y cubre más de 10.2 millones de hectáreas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo; principalmente, África, Asia y América Latina (Wubshet, 2021). Se han reportado más de 100 especies del género *Coffea*, pero dos se producen de forma comercial: *C. arabica* L. (café arábico) y *C. canephora* (café robusto). El primero representa el 70% de la producción mundial de café (Kufa, 2010; Toledo y Moguel, 2012; Krishnan, 2017), pero la superficie cultivada ha disminuido por problemas ambientales, deforestación, degradación del suelo, y la incidencia de plagas y enfermedades (Krishnan, 2017). Dentro de las principales enfermedades, destaca la roya del café también llamada roya amarilla o roya anaranjada del café.

La roya es la principal enfermedad para este cultivo, causada por el hongo biotrófico *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., ataca principalmente a las hojas, las ramas y los frutos del café (Barka *et al.*, 2017). Este hongo es un parásito obligado (Mohammednur y Yesuf, 2021) que se dispersa por urediniosporas infectando a las hojas de la planta por aire y por gotas de lluvia. Una vez en la hoja, las urediniosporas germinan y entran por las estomas de las hojas mediante hifas germinativas, iniciando así el proceso de infección (Avelino y Rivas, 2013; Talhinhos *et al.*, 2017; García-Pérez *et al.*, 2021). La liberación de las uredosporas de *H. vastatrix* solamente es posible en presencia de agua libre. Una vez separadas pueden viajar de formas distintas, a pequeñas distancias a través de las salpicaduras provocadas por las lluvias, por insectos y personas, y a grandes distancias por el viento. La forma de dispersión en mayor grado es por el viento, en seco; y a menor grado por el agua (Avelino y Rivas, 2013). El cambio climático es de suma importancia en la actualidad para el brote de la roya en México y el mundo. Debido a los cambios de temperatura derivadas por este fenómeno, las áreas cafetaleras presentan temperaturas entre 22 y 23°C, que es el óptimo para el desarrollo de la enfermedad. Esta condición favorece el proceso de germinación de la espora, la penetración a los tejidos y colonización de la hoja. La roya es la enfermedad más devastadora para el cultivo del café. Los daños que causan en las plantas de cafeto son la caída prematura de las hojas, propicia la reducción de la fotosíntesis y el debilitamiento



de plantas enfermas, y en infecciones severas puede ocasionar la muerte de la planta (Carré-Missio *et al.*, 2014). Por ello se han desarrollado diversas alternativas y tecnologías para su control. Los métodos de control con prácticas culturales incluyen las podas y el manejo adecuado de las sombras, que se recomienda realizarse a los árboles en períodos de postcosecha, sequía y de baja precipitación. El control genético se realiza generando variedades resistentes a la roya; el químico, se basa en el uso de fungicidas a base de cobre, principalmente de contacto (Ramírez-Rodríguez *et al.*, 2020). Finalmente, el control biológico de la enfermedad emplea extractos y microorganismos antagonistas contra el agente causal, *H. vastatrix* (Tannuri *et al.*, 2021).

El ciclo infectivo de la roya, empieza visualmente con los primeros síntomas de la enfermedad que aparecen en el envés de las hojas, por donde penetra el hongo. Las lesiones comienzan a notarse con pequeñas manchas amarillentas que con el tiempo se unen y producen las uredosporas con su color anaranjado. En el haz de las hojas comienzan a notarse manchas cloróticas que con el tiempo se vuelven necróticas, el área afectada por una sola infección tiene un diámetro de 3 mm aproximadamente. Y puede llegar a aumentar a un tamaño de 2 cm, con un mayor tamaño tiende a unirse con otras infecciones y se forma una lesión que a veces abarca gran parte de la superficie foliar (Barquero-Miranda, 2013; Lu *et al.*, 2022). Los métodos de control ayudan a combatir la enfermedad de la roya del café, pero no eliminan esta enfermedad. Es así que actualizar la información existente acerca de los diversos factores que afectan los períodos de incubación y generación de *H. vastatrix* en plantas de café en condiciones de invernadero y su ciclo de vida se hace necesario para poder realizar la investigación de su control en la época del desarrollo más rápido y frecuente. Esta investigación tiene como objetivo establecer un método de inoculación de *H. vastatrix*, que permita mantener la viabilidad de las esporas bajo condiciones *in vivo* en invernadero para realizar estudios de la roya del café en cualquier época del año.

Materiales y Métodos

Localización geográfica

La investigación se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Campus Xalapa; ubicada en Zona Universitaria C.P. 91090, Xalapa-Enríquez, Veracruz, México. Localizado geográficamente a 19° 30' 57.5" N y 96° 55' 5.5" W, a 1420 m de altitud. Las



uredosporas de roya del café fueron recolectadas de plantas de café var. bourbon infectados con roya anaranjada, localizadas en una finca ubicada en el municipio de Xico, Veracruz; coordenadas 19° 24' 30.1" N y 96° 59' 20.5" W.

Material vegetal

Se utilizaron 16 plantas de la variedad Typica y 16 plantas de la variedad Geisha. Las plantas se adquirieron de viveros cafetaleros de San Marcos de León y Estanzuela pertenecientes a los municipios de Xico y Emiliano Zapata, ambos en el estado de Veracruz.

Colecta de esporas de roya del café

Para la colecta de esporas se utilizó una hielera de plástico y poliuretano, para mantener la temperatura y humedad; algodón, agua esterilizada y bisturí. La búsqueda de esporas se realizó en cada planta de la finca, se marcaron un total de 30 plantas infectadas en seis puntos diferentes de la finca. Se cortaron diez hojas con esporas por cada planta y se guardaron en la hielera, remojando la parte del haz para mantenerlas frescas.

Método de inoculación de roya

Para la inoculación se utilizaron tres métodos: por contacto (T1), aspersión (T2) y herida (T3). Se eligieron al azar cuatro pares de hojas de cada planta de café. El método de inoculación por contacto se realizó tallando las hojas enfermas con las hojas sanas de las plantas experimentales. Para el método de aspersión, se preparó una suspensión de uredosporas con agua destilada y Tween 20 (10^6 esporas/mL), las hojas seleccionadas fueron asperjadas. El método de herida se llevó a cabo haciéndole una pequeña lesión a las hojas, utilizando también el tallado con las hojas enfermas y dejando ambas en contacto durante 48 horas (Cabral *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2020).

Incubación del hongo *Hemileia vastatrix*

Las plantas ya infectadas se incubaron en una incubadora con medidas de 1.78 x 75 cm. En condiciones de oscuridad durante 5 h, con temperatura de $22\pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad de $90\pm 5\%$ (Rivillas *et al.*, 2011).

Monitoreo

El monitoreo se realizó diariamente durante 120 días que duró el experimento, para el mantenimiento de la humedad y la temperatura adecuada, al igual que el riego por aspersión se utilizó un aspersor de polipropeno y acero inoxidable de 1.2 L con medidas de 7 x 11 x 29 cm. Para evaluar la severidad de roya en hoja se utilizó una escala diagramática propuesta por SENASICA (2016) (Figura 1), y la ecuación 1. La incidencia se calculó utilizando la ecuación 2.

$$\text{Severidad} = \frac{\text{Superficie (área) de tejido enfermo}}{\text{Área total (sana + enferma)}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{No. de hojas muestreadas con síntomas}}{\text{Total de hojas muestreadas}} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$



Clase	0	1	2	3	4	5	6
Severidad	(0%)	Puntos cloróticos	(2%)	(7%)	(20%)	(45%)	(≥70%)

Figura 1. Escala diagramática para evaluar severidad de roya en hojas de café. Fuente: SENASICA, (2016).

Diseño experimental y análisis estadístico

Para esta investigación se realizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y diez repeticiones de cada uno. Donde T1= inoculación por contacto, T2= inoculación por aspersión, T3= inoculación por herida y T0= plantas sin inocular. Las variables de respuesta fueron: severidad de roya en hoja e incidencia de roya por planta. Para el análisis estadístico se realizó un Análisis de Varianza de una vía y una comparación de medias de Tukey con un $\alpha = 0.05$.

Resultados y Discusión

Incidencia de roya del café

En la Figura 2 y 3 se presentan las respuestas de los diferentes métodos de inoculación de uredosporas de *H. vastatrix* sobre la incidencia de roya en plantas sanas de café var. típica y geisha. Los valores de incidencia de roya del café fueron: 32.9 (T1), 28.1 (T2), 37 (T3) y 0% (T0) en plantas de café variedad típica (Figura 2a). Para el caso de la variedad geisha, las plantas mostraron valores de incidencia de roya del 13.4, 17.1, 7.9 y 0% para los tratamientos T1, T2, T3 y T0, respectivamente (Figura 2b). En



las plantas típica se obtuvo mayor incidencia de roya (37%) cuando las uredinosporas fueron inoculadas a través de una herida o lesión. En cambio, en la variedad geisha el mayor porcentaje de incidencia de la enfermedad se registró cuando la inoculación se realizó por aspersión (17.1%). Los porcentajes más altos de incidencia lo registraron las plantas de variedad típica, esto se debe principalmente a su susceptibilidad al patógeno *H. vastatrix*.

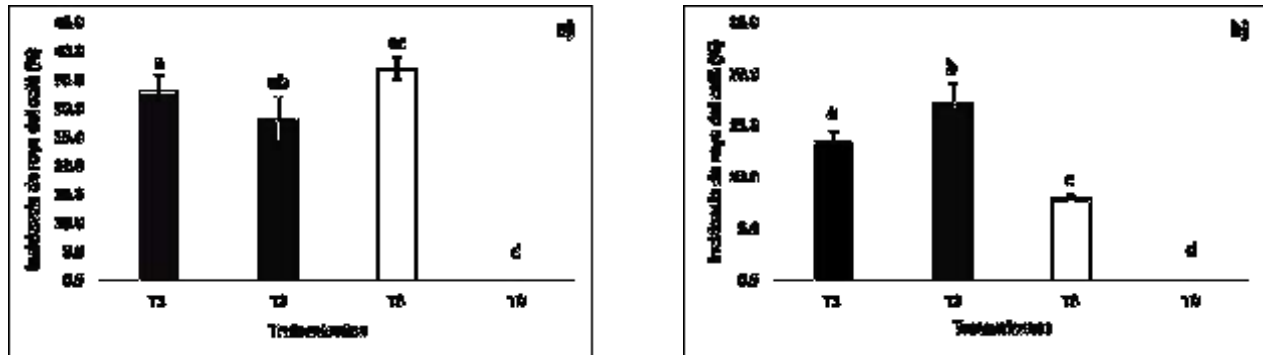


Figura 2. Respuesta de los diferentes métodos de inoculación de *H. vastatrix* en la incidencia de roya del café en plantas variedad: a) típica y b) geisha; después de 114 días. T1= contacto; T2= aspersión; T3= herida y T0= testigo. Barras representan el promedio de los tratamientos. Líneas verticales en la parte superior representan la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Prueba de Tukey $\alpha = 0.05$.

El progreso de la enfermedad durante el tiempo se puede observar en la Figura 3. Para la variedad típica los primeros síntomas se observan durante los primeros 20 días; posteriormente, la enfermedad empieza a aumentar.

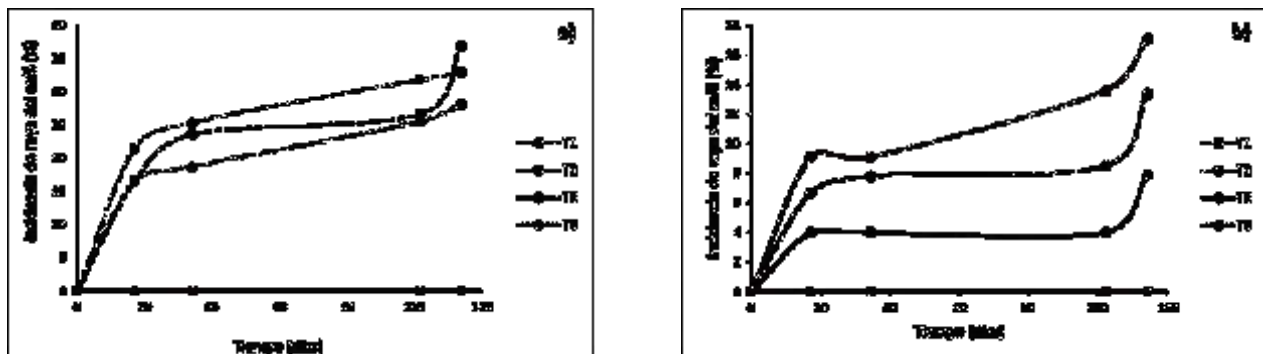


Figura 3. Respuesta en el tiempo de los diferentes métodos de inoculación de *H. vastatrix* en la incidencia de roya del café en plantas variedad: a) típica y b) geisha. T1= contacto; T2= aspersión; T3= herida y T0= testigo.



En el tratamiento T3, después de 100 días de monitoreo, la incidencia aumentó de forma rápida, donde posiblemente desarrollaría una tendencia exponencial. La incidencia de roya en las plantas aumentará rápidamente después de los 120 días, cuando la inoculación de esporas de roya es a través de una herida o lesión. El desarrollo de una enfermedad está en función de la existencia de inóculo, tejido hospedante y condiciones favorables (Avelino y Rivas, 2013; Talhinhos *et al.*, 2017), esto pudiera explicar la forma de expresión de la enfermedad en ambas variedades. Para el caso de la roya del café, la enfermedad se presenta con mayor incidencia cuando se tiene agua disponible, esta condición favorece el crecimiento de los tubos germinativos del hongo *H. vastatrix* (Rivillas *et al.*, 2011; Talhinhos *et al.*, 2017).

Severidad de roya del café

Las respuestas de los diferentes métodos de inoculación de *Hemileia vastatrix* sobre la severidad de roya en plantas sanas de café var. typica y geisha, se presentan en las Figuras 4 y 5. Los valores de severidad de roya del café en hojas fueron: 6 (T1), 4.5 (T2), 3.2 (T3) y 0% (T0) en plantas de café variedad typica (Figura 4a). En plantas variedad geisha, las plantas mostraron valores de severidad de roya en hojas de café del 4.5, 2, 2 y 0% para los tratamientos T1, T2, T3 y T0, respectivamente (Figura 4b). En las plantas de café variedad typica se obtuvo mayor severidad de roya (6%) cuando las uredinosporas fueron inoculadas a través del contacto. Para la variedad geisha el mayor porcentaje de severidad de la enfermedad se registró con el mismo método de inoculación (T1, por contacto). Los porcentajes más altos de severidad lo registraron las plantas de variedad 'typica'.

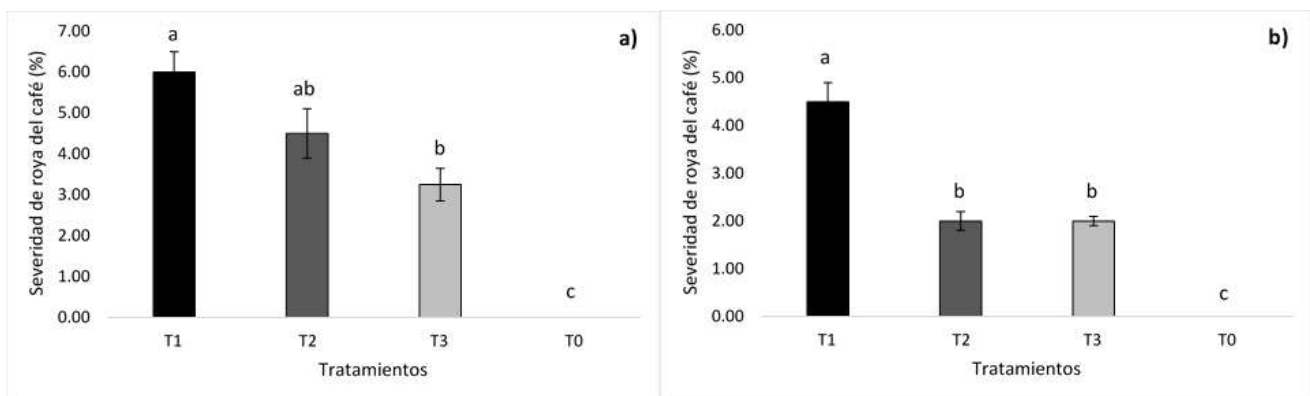


Figura 4. Respuesta de los diferentes métodos de inoculación de *H. vastatrix* en la severidad de roya del café en plantas variedad: a) typica y b) geisha; después de 114 días. T1= contacto; T2= aspersión; T3= herida y T0= testigo. Barras representan el promedio de los tratamientos. Líneas verticales en la parte superior representan la desviación estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Prueba de Tukey $\alpha = 0.05$.

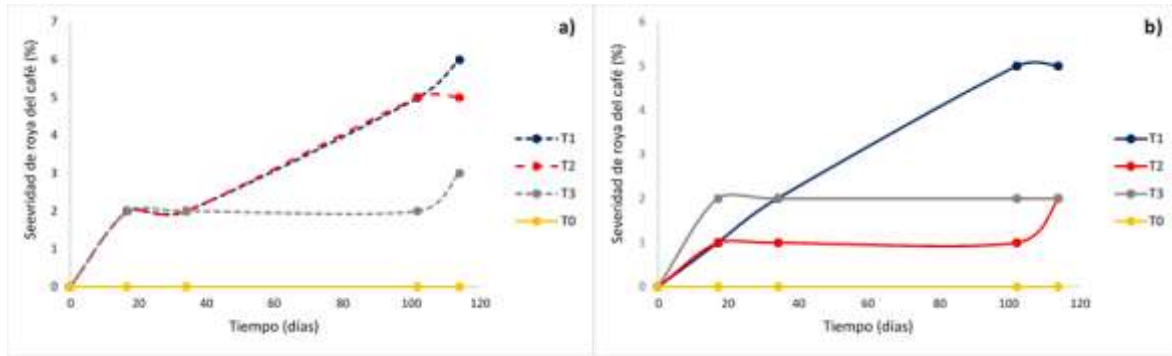


Figura 5. Respuesta en el tiempo de los diferentes métodos de inoculación de *H. vastatrix* en la severidad de roya del café en plantas variedad: a) típica y b) geisha. T1= contacto; T2= aspersión; T3= herida y T0= testigo.

El comportamiento de la severidad de roya en las dos variedades de café estudiadas presentó tendencias diferentes. Los métodos de inoculación por contacto y herida siguen una tendencia o comportamiento que aumenta de forma lineal (Figura 5a). Sin embargo, para el T3, las plantas empiezan a presentar un aumento de la severidad hasta después de 100 días de experimento.

Hasta el momento no se han encontrado reportes de investigaciones similares, por lo que estos datos servirán como punto de referencia para otros estudios. Además, el conocimiento generado en este estudio puede tener diversas utilidades prácticas como recomendaciones para futuras investigaciones, recomendaciones en prácticas agronómicas, por ejemplo, variedad a seleccionar; tipo, dosis y frecuencia de aplicación de fungicidas.

Conclusiones

1. A pesar de las características biotróficas de *Hemileia vastatrix* fue posible realizar su inoculación bajo condiciones de invernadero en plantas sanas de café. Plantas de café variedad típica presentan valores altos de incidencia y severidad de roya bajo condiciones de invernadero. 3. Plantas de café variedad geisha pueden desarrollar la enfermedad de roya del café bajo condiciones de invernadero, aunque son variedades resistentes.



Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca No. 791307 para la realización de estudios de posgrado.

Literatura Citada

- Avelino, J. y G. Rivas. 2013. La roya anaranjada del cafeto. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036> [Consultado el 10 de junio de 2023].
- Barka, G. D., E. T. Caixeta, R. F. de Almeida, S. M. Alvarenga, y L. Zambolim. 2017. Differential expression of molecular rust resistance components have distinctive profiles in *Coffea arabica*-*Hemileia vastatrix* interactions. *European Journal of Plant Pathology* (149):543-561.
- Barquero-Miranda, M. 2013. Recomendaciones para el combate de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk et Br.). Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE), San José (Costa Rica). https://www.researchgate.net/publication/281625030_Recomendaciones_para_el_combate_de_la_roya_del_cafeto [Consultado el 25 de mayo de 2023].
- Cabral, P. G. C., E. M. Zambolim, L. Zambolim, T. P. Lelis, A. S. Capucho y E. T. Caixeta. 2009. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. *Australasian Plant Disease Notes* 4(1):129-130.
- Carré-Missio, V., F. A. Rodrigues, D. A. Schurt, R. S. Resende, N. F. A. Souza, D. C. Rezende, *et al.* 2014. Effect of foliar-applied potassium silicate on coffee leaf infection by *Hemileia vastatrix*. *Annals of Applied Biology* (164):396-403.
- García-Pérez, J.A., E. Alarcón-Gutiérrez y P. Viayne Del R. 2021. Extractos acuosos de plantas como inhibidores de la germinación de urediniosporas de *Hemileia vastatrix*; la roya anaranjada del café. *AyTBUAP* (6):45-60.



- Krishnan, S. 2017. Sustainable coffee production. *In: Oxford research encyclopedia of environmental science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.224> [Consultado el 20 de mayo de2023].
- Kufa, T. 2010. Environmental sustainability and coffee diversity in Africa. p. 26-28. *In: ICO world coffee conference*.
- Lu, L., S. Tibpromma, S. C. Karunarathna, R. S. Jayawardena, S. Lumyong, J. Xu y K. D. Hyde. 2022. Comprehensive review of fungi on coffee. *Pathogens* 11:411.
- Mohammednur, T. y N. Yesuf. 2021. Review on coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) and its management in Ethiopia. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology* (8):05-13.
- Ramírez-Rodríguez, R.F., E. Castañeda-Hidalgo, C. Robles, G. M. Santiago-Martínez, M. I. Pérez-León y S. Lozano-Trejo. 2020. Effectiveness of biofungicides for the control of rust in coffee seedlings. *REMEXCA* (11):1403-1412.
- Rivillas, O. C. A, G. C. Serna, A. M. Cristancho y B. A. Gaitán. 2011. La roya del cafeto en Colombia. Impacto, manejo y costos de control. CENICAFÉ, Caldas, Colombia. 53 p.
- Rodrigues, S.C.A., S. M. Chalfoun, R. M. L. Vilela, A. C. Lima, S. W. Douglas, M. M. Lamounier, *et al.* 2020. Chemical characterization and determination of *in vivo* and *in vitro* antifungal activity of essential oils from four *Eucalyptus* species against the *Hemileia vastatrix* Berk and Br fungus, the agent of coffee leaf rust. *Australian Journal of Crop Science* 14(9):1379-1384.



SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2016. Roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Ficha Técnica No. 40. Dirección General de Sanidad Vegetal. México. 23p. <https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya%20cafeto/Fichas%20tecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20de%20Roya%20del%20cafeto.pdf> [Consultado el 20 de octubre de 2022].

Talhinhas, P., D. Batista, I. Diniz, A. Vieira, D. N. Silva, A. Loureiro, *et al.* 2017. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. *Molecular Plant Pathology* 18(8):1039-1051.

Tannuri, L.A.R., E. A. Lopes, W. R. Macedo y E. J. Canedo. 2021. Exogenous application of salicylic acid to control coffee rust. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 43:e54495.

Toledo, V.M. y P. Moguel. 2012. Coffee and sustainability: the multiple values of traditional shaded coffee. *Journal of Sustainable Agriculture* 36:353-377.

Torres, C.N.E., E. M. Melchor-Martínez, S. J. S. Ochoa, R. A. Ramírez-Mendoza, R. Parra-Saldívar y H. M. N. Iqbal. 2020. Impact of climate change and early development of coffee rust – An overview of control strategies to preserve organic cultivars in Mexico. *Science of The Total Environment* 738:140225.

Wubshet, H.Z. 2021. Coffee pathology research in Ethiopia: A review. *International Journal of Plant Pathology and Microbiology* 1: 31-34.



ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE EXTRACTOS DE *Larrea tridentata*, SOBRE *Trichoderma harzianum*

Claudia Lorena Fernández López^{90*}, Juan Díaz Vela⁹⁰, Gregorio Hernández Salinas⁹¹ y Raúl Sampieri Cabrera⁹²

Resumen

Las plantas son un reservorio de metabolitos secundarios con diversas funciones como el control de algunas plagas. Una de las plantas con mayor efectividad para el tratamiento de plagas que se ha estudiado recientemente es *Larrea tridentata*, también conocida como gobernadora, la cual es una planta que inhibe la germinación de esporas y el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos debido a su alto contenido de sustancias bioactivas o con actividad fitoquímica. Para emplear plantas como control de plagas, generalmente se realizan diferentes tipos de extractos como los alcohólicos los que se caracterizan por presentar compuestos fenólicos, flavonoides, saponinas y chalconas. Por otra parte, el uso de *Trichoderma harzianum* es una alternativa que se recomienda para la prevención de enfermedades en suelo, este microorganismo es un hongo anaeróbico con tolerancia a temperaturas de hasta 38°C y cuya activación se da con la presencia de humedad del suelo. El combinar productos en una sola aplicación facilita el manejo de los cultivos; sin embargo, se desconoce la interacción que resulta de estas dos alternativas de control fitosanitario. Es por ello, que este trabajo tiene como objetivo evaluar la actividad inhibitoria de diversos extractos alcohólicos e hidroalcohólicos de *Larrea tridentata* sobre el crecimiento de *Trichoderma harzianum* para conocer su posible interacción en plantas. Para ello se realizaron extractos alcohólicos, a tres concentraciones diferentes y con tres testigos, agua, etanol y metanol puros. Para evaluar la inhibición *in vitro*, se utilizó la técnica de difusión en disco de los extractos obtenidos y sus testigos (disolventes y agua), sobre placas inoculadas con *Trichoderma harzianum*., estas se realizaron por triplicado para cada extracto preparado, utilizando dos alícuotas y con lecturas a dos tiempos de incubación. La actividad antifúngica del extracto más efectivo fue el extracto hidroalcohólico en 70:30, comprobándose que *Larrea tridentata* si inhibe el

⁹⁰ Interdisciplinaria de Biotecnología-IPN

⁹¹ Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-IPN. *Autor de correspondencia: crisjm_99@yahoo.com Unidad Profesional

⁹²



crecimiento de este hongo por lo que se sugiere que estos tratamientos como preventivos sanitarios en plantas, no deben utilizarse juntos.

Palabras clave: Gobernadora, Actividad inhibitoria, Compuestos fenólicos, Saponinas, Flavonoides

Introducción

Una de las plantas con mayor efectividad para el tratamiento de las plagas es *Larrea tridentata* (gobernadora), una planta de origen americano de abundante producción agrícola. La gobernadora, es un arbusto perteneciente a la familia Zygophyllaceae, de porte erecto, ramificado desde la base, perennifolio, de 0.6 a 3 m de altura (Moreno-Limón *et al.*, 2011). Su edad puede exceder los 100 años y se determina por el tamaño de la corona radicular. El tamaño de la planta varía de 0.5 a 4 m en altura dependiendo de la lluvia y la altura varía de acuerdo a su raza. Las flores son amarillas, usualmente aparecen al final del invierno o a principios de la primavera, pero pueden florecer en cualquier momento después de una lluvia; las hojas son pequeñas, de una coloración verde oscuro a verde amarillento, opuestas con dos vertientes asimétricas que miden 1 cm de largo, son brillantes con un grueso revestimiento resinoso secretado por un glandular, (Lira-Saldívar, 2003).

Larrea tridentata se distribuye abundantemente en el norte del país, de la Península de Baja California a Tamaulipas e Hidalgo en altitudes que van en el rango de 400 a 1800 m. La gobernadora crece en los sitios más secos de México, en terrenos planos, laderas, lomeríos bajos, originados de materiales geológicos del cretácico superior e inferior, y en planicies aluviales. Su importancia crece al descubrir diferentes propiedades y aplicaciones en la industria de agroquímicos y farmacéutica, además, desprende un olor penetrante y tiene un sabor amargo.

Es una planta perenne, reteniendo la mayor parte de sus hojas a través de la sequía; sin embargo, a periodos extremos se congela. Numerosos estudios han demostrado que los extractos de gobernadora tienen acción antifúngica bajo condiciones *in vitro* en al menos 17 hongos fitopatógenos de importancia económica.

El efecto de *Larrea tridentata* inhibe la germinación de esporas y crecimiento micelial de hongos fitopatógenos debido a su alto contenido fitoquímico que contiene resinas y ácidos orgánicos con acción antifúngica, insecticida y repelente (Lira-Saldívar, 2003). Las hojas contienen una espesa resina



que se comporta como un antitranspirante debido a que forma una barrera que disminuye la transpiración. Los metabolitos secundarios de la resina (entre los que destacan fenoles, lignanos y flavonoides), son defensas bioquímicas para repeler la agresión de animales herbívoros, hongos y otros microorganismos, ya que no se conocen plagas, enfermedades o animales que ataquen esta planta.

El arbusto de creosota (*Larrea*) se ha utilizado en la medicina tradicional para tratar más de 50 enfermedades. Los usos más comunes se asocian a enfermedades de origen renal y ginecológico. La planta se utiliza como extracto líquido acuoso o alcohólico de hojas y ramitas; además, está disponible en cápsulas y comprimidos para uso oral, mientras que pueden utilizarse hojas y ramas para cataplasma y fomento. Históricamente, los extractos acuosos del arbusto de creosota han sido utilizados por los curanderos nativos de la región suroeste de América del Norte, y es comúnmente denominado té de chaparral.

En México se reporta que una infusión de las hojas disuelve la vesícula biliar y los cálculos renales cuando el té se consume durante todo el día, entre diversas enfermedades relacionadas con células cancerígenas, sobre las cuales se han reportado efectos anticancerígenos por acción de fitoestrógenos, dentro de los cuales se encuentran los flavonoides, isoflavonoides, entre otros, los cuales han sido extraídos de las hojas de esta planta (Martins *et al.*, 2012).

Es utilizada también en enfermedades del hígado, para el dolor renal y la cistitis, se usa como un diurético y para el tratamiento de infecciones del tracto urinario y enfermedades venéreas. Además de haber reportado efecto citotóxico y con actividad antibacteriana contra bacterias Gram positivas como *M. tuberculosis* (Núñez-Mojica *et al.*, 2021).

Un estudio sobre el efecto fungicida de la resina de gobernadora reporta, que, al utilizar extractos crudos de cloroformo y etanol, los hongos *Rhizoctonia solani* Kühn, *Pythium* sp. Pringsh. y *Rhizopus nigricans* Ehrenb, fueron controlados *in vitro*, tanto con el extracto metanólico como con el clorofórmico (Lira-Saldívar, 2003).

Por otra parte, la *Trichoderma* es un hongo aeróbico, con capacidad para resistir un amplio intervalo de temperaturas, así, por ejemplo, McBeath y Adelman (1991), aislaron una cepa en suelo de Alaska, con crecimiento a 4°C y que toleró hasta 33°C. La relación entre la temperatura y el desarrollo de *Trichoderma*, al parecer depende de la especie y del propio aislamiento. Se conoce que *T. pseudokoningii* y *Trichoderma saturnisporum* Hammill toleran de 40 a 41°C, las especies *T. koningii* y *T. hamatum*: 35°C y *T. viride* y *T. polysporum*: 31°C, mientras *T. harzianum* hasta 38°C (Danielson y Davey, 1973). Para esta última, en algunos aislamientos la temperatura óptima para el crecimiento fue



de 20°C (Knudsen y Bin, 1990), aunque de manera general esta varía entre 25 y 30°C (Rodríguez y Arcia, 1993^a). Sin embargo, a 30°C, la actividad antagonista de esta especie fue casi nula (Rodríguez y Arcia, 1993^b). Todo lo cual constituyen evidencias de que la temperatura óptima para el crecimiento no necesariamente coincide con la de su actividad antagonista, y que existe estrecha relación entre aislamiento, antagonismo y temperatura.

La luz y su espectro influyen en el desarrollo de *Trichoderma*, fundamentalmente sobre la esporulación. Las colonias del hongo que se desarrollan bajo condiciones de luz alterna son blancas y algodonosas al inicio y después zonadas concéntricas, alternando una banda delgada hialina con otra ancha de color verde oscuro, mientras que bajo la luz continua fueron uniformemente de color verde oscuro (Wells *et al.*, 1972). La luz influye, además, en la producción de metabolitos secundarios (Purschwitz *et al.*, 2006).

Las especies de *Trichoderma* no son exigentes con relación al pH del sustrato. Pueden crecer en suelos con pH desde 5.5 a 8.5, aunque los valores óptimos se encuentran entre 5.5-6.5, es decir, en un ambiente ligeramente ácido. El desarrollo de *Trichoderma* se activa con la presencia de humedad, con óptimo de 60% de la capacidad de retención de humedad del suelo. A porcentajes mayores de saturación, la colonización y sobrevivencia disminuye por baja disponibilidad de oxígeno. Los aislamientos de *Trichoderma* ayudan a la descomposición de materia orgánica, además de los hongos a los cuales degrada. Se encuentran en suelos con abundante materia orgánica y por su relación con esta, está ubicado en el grupo de hongos hipogeos, lignolícolas y predadores (Villegas, 2005).

Recientemente la SADER en sus programas de tratamientos agroecológicos ha propuesto el uso de extractos de gobernadora, como una alternativa preventiva, en el combate de plagas, al igual que el uso de microorganismos de montaña y/o microorganismos específicos, entre los que se encuentran cultivos o productos a base de *Trichoderma* ssp. Es por ello, que este trabajo tiene como objetivo evaluar la actividad inhibitoria de diversos extractos alcohólicos e hidroalcohólicos de *Larrea tridentata* sobre el crecimiento de *Trichoderma harzianum* para conocer su posible interacción en plantas.



Materiales y Métodos

Preparación de extractos de *Larrea tridentata*

Se recolectaron ramas de la planta de gobernadora de zonas secas aledañas a Veracruz. Se pesaron 500 g de hojas frescas de la planta, las muestras fueron llevadas al laboratorio donde se analizaron, pesaron y lavaron con agua destilada, posteriormente se dejaron 24 h extendidas sobre papel de estraza para reducir la humedad. Al día siguiente se secaron en una estufa a 60°C por 48 h. Una vez transcurrido ese tiempo, las hojas fueron pesadas, trituradas y tamizadas, luego se mantuvieron en maceración durante 8 días en 300 mL de soluciones hidroalcohólicas (etanol-agua) a concentraciones de 30:70, 50:50 y 70:30 respectivamente, y en soluciones de etanol y metanol concentrado, las muestras permanecieron almacenadas en recipientes de vidrio tapados con papel aluminio para evitar el contacto con la luz, modificado de (Martins *et al.*, 2012). Los extractos se realizaron por triplicado, conservando a una temperatura de 25°C. Después del tiempo de maceración, los extractos fueron filtrados y almacenados en frascos de plástico estériles (previamente rotulados y cubiertos de la luz), en refrigeración a una temperatura de 4°C.

Caracterización de los extractos de *Larrea tridentata*

Determinación de Fenoles

Los compuestos fenólicos se determinaron con el método descrito por Singleton *et al.* (1999). El reactivo “Folin-Ciocalteu” es una mezcla de ácido fosfowolfrámico y fosfomolibdico con una intensa coloración amarilla. Estos compuestos se reducen al interaccionar con los compuestos fenólicos para dar óxido de wolframio y molibdeno de color azul que se puede medir con un espectrofotómetro. La concentración de compuestos fenólicos se refiere a la equivalente de ácido gálico con la misma actividad que la muestra.

Se preparó una mezcla de reacción por triplicado de la siguiente manera: 250 µL de extracto + 250 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (FD 1-4) + 2 mL de Carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 2% p/v. Además de la mezcla anterior, se generó un blanco que contenía: 250 µL de metanol (CH₃OH) al 80% v/v + 250 µL de reactivo Folin-Ciocalteu (FD 1-4) + 2 mL de Carbonato de sodio (Na₂CO₃) al 2% p/v.

Posteriormente, las muestras se dejaron reposar por una hora en oscuridad y al terminar el tiempo señalado se leyeron las absorbancias a 765 nm. Se realizó una curva estándar, para el cálculo de las concentraciones de compuestos fenólicos.



Determinación de flavonoides

Se realizó una modificación en la prueba de Salkowski para la determinación cualitativa de flavonoides, agregando 500µL de la muestra en 1mL de cloroformo y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado.

La prueba se considera positiva por la presencia de coloraciones amarillas, para flavonas si se observan coloraciones naranja-guinda, para chalconas coloraciones rojo-azuloso y la presencia de quinonas se detecta con coloraciones rojo-púrpura.

Determinación de saponinas

Para determinar saponinas se realizó una modificación en la prueba de Salkowski, tomando 1 mL del extracto de *Larrea tridentata*, añadiendo 2 mL de cloroformo y 2 mL de ácido sulfúrico. Una reacción anaranjada indica reacción positiva.

Pruebas *in vitro* de extractos de *L. tridentata* con *Trichoderma harzianum*

Inicialmente se prepararon cajas con medio PDA por triplicado para cada extracto. Después se colocaron 2 mL de solución salina (NaCl) a una caja Petri que contenía *Trichoderma*, la solución de esporas se recuperó poniendo 1 mL en 2 microtubos dejando reposar durante 5 minutos. Luego se tomaron 100 µL de la solución de esporas y se colocaron en cada una de las 15 cajas. Para la expansión de la muestra depositada se utilizó una varilla acodada de vidrio. Posteriormente, fueron colocados 4 acrodiscos que contenían 20 y 50 µL de cada uno de los extractos y un testigo, esto con el fin de observar un halo de inhibición alrededor de los acrodiscos, y finalmente ser incubados durante 24 h. Con respecto a los testigos, se evaluaron de forma individual, los solventes, etanol y metanol, concentrados; así como agua destilada. Todos los ensayos se realizaron por triplicado al evaluar el efecto de los extractos con solventes puros.

Resultados y Discusión

Caracterización de extractos de *Larrea tridentata*

Compuestos fenólicos

La determinación de fenoles se desarrolló mediante la técnica de Foulín-Ciocalteu, para lo cual se generó una curva estándar, cuya ecuación obtenida fue $Y=1.8313x+0.1608$, con una $R^2 = 0.997$. Con esta curva se obtuvieron los siguientes resultados para los extractos hidroalcohólicos (etanol-agua) en



proporciones 70:30, 154.644 mg/L; para el extracto etanol:agua (50:50), de 350.4068 mg/L; y para los extractos etanol:agua (30:70), fue de 350.4068 mg/L. Quedando en un rango de 150-350 mg/L. Martins *et al.* (2012) reporta una concentración máxima de fenoles totales de 263.60 ± 25.78 mg GAE/g en extractos metanólicos al 90% (v/v) de *L. tridentata*, por lo que en este trabajo se obtuvieron resultados superiores al utilizar la relación etanol:agua (30:70), por lo que este proceso para la extracción de fenoles puede ser atractivo de acuerdo a sus propiedades antioxidantes y antifúngicas.

Flavonoides y saponinas

Con lo establecido por el método de Salkowski para la determinación de flavonoides, las pruebas para *Larrea tridentata* se considera positiva en el extracto 3, donde se presentó una coloración amarilla-naranja, y el extracto 5 mostró una reacción positiva en saponinas por la coloración naranja que presentó. La coloración roja y púrpura se debe a la presencia de chalconas y quinonas, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Determinación de flavonoides y saponinas en extractos de *Larrea tridentata*.

No. Tubo	Clave	Flavonoides	Saponinas
		Color	Color
1	[L.t MetOH]	Verde oscuro	Verde oscuro
2	[L.t EtOH]	Verde oscuro	Verde oscuro
3	L.t EtOH 50:50	Amarilla-naranja	Púrpura
4	L.t EtOH 70:30	Verde oscuro	Verde oscuro
5	L.t EtOH 30:70	Rojo-púrpura	Naranja
6	[MetOH]	Transparente	Transparente
7	[EtOH]	Transparente	Transparente
8	A.D.	Transparente	Transparente

*[L.t MetOH] Extracto de *Larrea tridentata* con Metanol concentrado, [L.t EtOH] Extracto de *Larrea tridentata* con etanol concentrado, L.t EtOH 50:50 Extracto de *Larrea tridentata* con etanol en concentración 50:50, L.t EtOH 70:30 Extracto de *Larrea tridentata* con etanol en concentración 70:30, L.t EtOH 30:70 Extracto de *Larrea tridentata* con etanol en concentración 30:70, [MetOH] Metanol concentrado, [EtOH] Etanol concentrado, A.D. Agua destilada.

Martins *et al.* (2012) realizaron extractos en *L. tridentata* con metanol al 90% (v/v) obteniendo concentraciones de flavonoides de 19.29 ± 0.79 mg QE/g peso seco, mientras que, en este experimento, aunque la determinación fue cualitativa, los resultados tienen relación al mostrar presencia de



flavonoides y saponinas, además de mostrar capacidad de extracción con etanol a diferentes concentraciones.

Actividad inhibitoria de extractos de *Larrea tridentata* sobre *Trichoderma harzianum*

Al evaluar la actividad inhibitoria de los extractos de *Larrea tridentata* sobre el crecimiento de *Trichoderma*, se presentó un efecto sobre la actividad inhibitoria de *Trichoderma* a las 24 y 96 h., observando mejor inhibición con la dosis de 20 µL. Algunos autores (Brinker, 1993; Lira-Saldivar, 2003) refieren que compuestos fitoquímicos de *L. tridentata* como los flavonoides, lignanos y el ácido nordihidroguaiarético (NDGA) pueden ser causantes de aportar a esta especie de planta efectos antifúngicos, ya que se ha demostrado el efecto sobre hongos de gran capacidad metabólica en géneros como *Fusarium* y *Aspergillus* (Montes-Belmont *et al.*, 2000). Peñuelas-Rubio *et al.* (2015) reportaron que los extractos de *L. tridentata* mostraron efecto antifúngico sobre hongos poscosecha (*Alternaria tenuissima*, *Aspergillus niger*, *Penicillium polonicum* y *Rhizopus oryzae*) extractos etanólicos y metanólicos que fueron de 750 a 3000 ppm, donde resalta que la efectividad inhibitoria depende de factores como el tiempo de extracción, solvente utilizado, tiempo de exposición, tipo de hongo a inhibir y sobretodo la concentración de fitoquímicos presentes en hoja o tallo de *L. tridentata*.

El Cuadro 2 muestra la clave de identificación de los extractos de *Larrea tridentata* para las pruebas de inhibición.

Cuadro 2. Clave de los extractos de *Larrea tridentata*.

Tratamiento	Clave	Descripción
1	Lt-MetOH CONC	Extracto de <i>L. tridentata</i> . con metanol concentrado
2	Lt-EtOH CONC	Extracto de <i>L. tridentata</i> con Etanol concentrado
3	EtOH/agua	EtOH/agua 50:50
4	EtOH/agua	EtOH/agua 70:30
5	EtOH/agua	EtOH/agua 30:70
TESTIGO	EtOH	Etanol concentrado
TESTIGO	MetOH	Metanol concentrado
TESTIGO	A.D.	Agua destilada



Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 3 y 4 muestran la inhibición obtenida con 20 μ L, a 24 y 96 h, observando que a las 24h hay inhibición por los extractos 1 y 2, sin embargo, posteriormente *Trichoderma*, crece normalmente.

Cuadro 3. Inhibición de *Trichoderma* con extractos de *L. tridentata*, con 20 μ L de alícuota. Lecturas realizadas a las 24h.

Extractos	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	NEG	5	7
2	8	7	7
3	NEG	NEG	NEG
4	NEG	NEG	NEG
5	NEG	NEG	NEG
EtOH	NEG	NEG	NEG
A.D.	NEG	NEG	NEG

Cuadro 4. Inhibición de *Trichoderma* con extractos de *L. tridentata*, con 20 μ L de alícuota. Lecturas realizadas a las 96 h.

Extractos	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	NEG	NEG	NEG
2	NEG	NEG	NEG
3	NEG	NEG	NEG
4	NEG	NEG	NEG
5	NEG	NEG	NEG
EtOH	NEG	NEG	NEG
MetOH	NEG	NEG	NEG

Una segunda evaluación se realizó, confirmándose la inhibición de *Trichoderma* a las 24h con un diámetro de inhibición de 6 a 7 mm, como se muestra en el cuadro 5.



Cuadro 5. Extractos 1, 2 y 3 con 20µL de alícuota. Lecturas realizadas a las 24h.

Extractos	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	NEG	5	7
2	8	DISM CREC 7	7
3	NEG	NEG	NEG
4	NEG	NEG	NEG
5	NEG	NEG	NEG
EtOH	NEG	NEG	NEG
A.D.	NEG	NEG	NEG

Cuadro 6. Inhibición de *Trichoderma* con extractos de *L. tridentata* con 20µL de alícuota. Lecturas realizadas a las 96 h.

Extractos	Placa 1	Placa 2	Placa 3
1	NEG	NEG	NEG
2	NEG	NEG	NEG
3	NEG	NEG	NEG
4	NEG	NEG	NEG
5	NEG	NEG	NEG
A.D.	NEG	NEG	NEG
EtOH	NEG	NEG	NEG

Conclusiones

Larrea tridentata (gobernadora), es capaz de inhibir la germinación de esporas y el crecimiento micelial de hongos fitopatógenos.

Se presentó un efecto anti fúngico con extractos etanólicos (extracto 1 y 2) por la formación de halos de inhibición.

El extracto alcohólico de *Larrea tridentata* y etanol concentrado mostró mayor efecto anti fúngico al formar un halo de 1.4 cm, lo cual sirve de base para pruebas futuras.



Los extractos que presentaron inhibición contenían principalmente compuestos fenólicos, flavonoides negativos, al igual que chalconas y saponinas negativas.

La actividad antagonista sugiere que estas cepas pueden coexistir, en una planta siempre y cuando la dosis de aplicación sea la adecuada, esto se demuestra, con las diferencias en los halos de inhibición obtenidos entre las dosis de 20 y de 50 μ L.

Los estudios evidencian también la importancia de la etapa de crecimiento en la cual se aplica el extracto, pues los cambios con respecto al tiempo, sugieren que el antagonismo puede ser temporal.

Literatura Citada

- Brinker, F. 1993. *Larrea tridentata* (D.C.) Coville (Chaparral or Creosote Bush). *British Journal of Phytotherapy* 3:10-30.
- Danielson, R. y C. Davey. 1973. Non nutritional factors affecting the growth of *Trichoderma* in culture. *Soil Biology and Biochemistry* 5(5):495-504.
- Foy, E; D. C. Mac y R. Gueñas. 2005. Extracción, identificación y evaluación de saponinas en *Agaricus bisporus*. *Biotempo* 1(5):31-36.
- Knudsen, G., y L. Bin. 1990. Effects of temperature, soil moisture, and wheat bran on growth of *Trichoderma harzianum* from alginate pellets. *Phytopathology* 80(8):724-727.
- Lira Saldívar, R. H. 2003. Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (DC) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(2).
- López, A., R. Oré, C. Miranda, J. Trabucco, D. Orihuela, J. Linares, *et al.* 2013. Capacidad antioxidante de poblaciones silvestres de “tara” (*Caesalpinia spinosa*) de las localidades de Picoy y Santa Fe (Provincia de Tarma, departamento de Junín). *Scientia Agropecuaria* 2(1):25-29.



- Martínez, B, D. Infante y Y. Reyes. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista de Protección Vegetal* 28(1):1-11.
- Martínez-Flores, S; J. González Gallego, J. M. Culebras y M. Tuñón. 2002. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición hospitalaria* 17(6):271-278.
- Martins, S., C. Aguilar, J. Teixeira y S. Mussatto. 2012. Bioactive compounds (phytoestrogens) recovery from *Larrea tridentata* leaves by solvents extraction. *Separation and Purification Technology* 88:163-167.
- Montes-Belmont, R., V. Cruz-Cruz, G. Martínez-Martínez, G. Sandoval-García, R. García-Licona, S. Zilch-Domínguez, *et al.* 2000. Propiedades antifúngicas en plantas superiores. Análisis retrospectivo de investigaciones. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:125-131.
- Moreno-Limón, S., L. N. González-Solís, S. M. Salcedo-Martínez, M. L. Cárdenas-Ávila y A. Perales-Ramírez. 2011. Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición *in vitro* de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotánica*, (32), 193-205.
- Nuñez-Mojica, G., A. Vázquez-Ramírez, A. García, V. Rivas-Galindo, E. Garza-Gonzalez, G. González-Bravo, *et al.* 2021. New cyclolignans of *Larrea tridentata* and their antibacterial and cytotoxic activities. *Phytochemistry Letters* 43:212-218.
- Peñuelas-Rubio, O., M. Arellano-Gil, I. C. Vargas-Arispuro, F. Lares-Villa, E. U. Cantú-Soto, S. E. Hernández-Rodríguez, *et al.* 2015. Bioactividad *in vitro* de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata*) sobre la inhibición de hongos poscosecha: *Alternaria tenuissima*, *Aspergillus niger*, *Penicillium polonicum* y *Rhizopus oryzae*. *Polibotánica* 40:183-198.
- Purschwitz, Müller, S., C. Kastner y R. Fischer. 2006. Seeing the rainbow: light sensing in fungi. *Current Opinion in Microbiology* (9):566-571.



Rodríguez, I. y A. Arcia. 1993. Caracterización fisiológica (temperatura, pH y luz) de 12 aislamientos de *Trichoderma* spp., *in vitro*. Fitopatología Venezolana 6(2):53.

Singleton, V.L., R. Orthofer y R. M. Lamuela-Raventós. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in enzymology (299), 152-178.

Villegas, M. 2005. *Trichoderma*. Características generales y su potencial biológico en la agricultura sostenible. <http://www.oriusbiotecnologia.com/tecnica/128-Trichoderma-pers-caracteristicas-y-su-potencial-biologico-en-la-agricultura-sostenible>.

Wells, H., Bell, D. y C. Jaworski. 1972. Efficacy of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol for *Sclerotium rolfsii*. Phytopathology 62:442-447.



RESPUESTA DE TOMATE CHERRY A LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS BIOESTIMULANTES EN INVERNADERO

Fátima A. Dasa Cambambia⁹³, Luis Guillermo Hernández Montiel⁹⁴, Luis Hernández Adame⁹⁵ y Liliana Lara Capistrán^{93*}

Resumen

La aplicación de fertilizantes sintéticos en la agricultura ha provocado afectaciones en el agroecosistema, el uso de microorganismos bioestimulantes es una alternativa viable de implementar en la agricultura. Con el objetivo de evaluar el efecto de microorganismos bioestimulantes sobre parámetros morfométricos y producción de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Cerasiforme'), se llevó a cabo un experimento bajo condiciones de invernadero. En éste se redujo al 50% la fertilización sintética, al inocular las plantas con distintos microorganismos bioestimulantes. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 44 repeticiones y cinco tratamientos; T1: Fertilización sintética al 100% (FS100%), T2: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum* (FS50%+Th) T3: Fertilización sintética al 50% + *Bacillus subtilis* (FS50%+Bs), T4: Fertilización sintética al 50% + *Azospirillum brasilense* (FS50%+Ab) y T5: Fertilización sintética al 50% + *T. harzianum* + *Bacillus subtilis* + *A. brasilense*, denominado consorcio (FS50%+Cons). A los 14, 29, 42, 56 días después del trasplante (DDT) se evaluaron la altura de la planta y el diámetro del tallo; y a los 70 y 84 DDT se determinaron el número de flores, y producción total de fruto (sumatoria de cinco cosechas hasta los 151 DDT). Los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey ($\alpha= 0.05$) con el software STATISTICA versión 10.0 para Windows. Los resultados mostraron que FS50%+Th fue el mejor tratamiento en la variable altura y diámetro, en cuanto la producción total, el tratamiento FS50%+Ab mostro diferencias significativas en comparación al FS100%. Las plantas de tomate cherry inoculadas con los microorganismos bioestimulantes presentaron incrementos en las variables evaluadas mostrando diferencias significativas en comparación al tratamiento FS100%. A partir de los resultados es posible señalar que la incorporación de microorganismos bioestimulantes puede ser una alternativa, para la producción de tomate cherry

⁹³ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: lilara@uv.mx

⁹⁴ Grupo de Nanotecnología & Biocontrol Microbiano, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.

⁹⁵ CONAHCYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.



Solanum lycopersicum L. var. 'Cerasiforme', ya que se incrementan el crecimiento, desarrollo y producción de esta variedad y son una alternativa que permite reducir el uso de la fertilización sintética.

Palabras clave: *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, Cerasiforme, *Trichoderma harzianum*

Introducción

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo a nivel nacional e internacional debido a su alto contenido de vitaminas y minerales (Larín *et al.*, 2018).

La producción convencional, que involucra el uso excesivo de fertilizantes sintéticos y plaguicidas, es esencial para garantizar la alimentación ante la creciente población humana (Huang *et al.*, 2002; Pérez *et al.*, 2018). Sin embargo, con el afán de elevar la productividad y rentabilidad agrícola, se ha contribuido al deterioro ambiental, a la generación de resistencia en plagas y al deterioro de la salud humana y animal (Pérez-Vázquez y Landeros-Sánchez, 2009).

En este contexto, se han buscado alternativas para minimizar el impacto ocasionado por los métodos agrícolas tradicionales empleados en la producción de alimentos. La agricultura orgánica es un sistema de producción que sustituye el uso de fertilizantes sintéticos por insumos orgánicos debidamente inspeccionados y certificados para proporcionar los nutrimentos necesarios a los cultivos (Muller *et al.*, 2017). Además, esta forma de cultivo se basa en la realización de prácticas agrícolas que están diseñadas para restablecer y mantener un balance ecológico de la biodiversidad (Pérez-Vázquez y Landeros-Sánchez, 2009). Este sistema tiene como principal desafío aumentar el rendimiento de los cultivos, reducir la contaminación ambiental y mejorar el manejo de nutrimentos, promoviendo la equidad social en el campo (Tuomisto *et al.*, 2012). Por otro lado, una innovación prometedora y en armonía con el medio ambiente es el uso de bioestimulantes naturales de plantas (BP) que mejoran su crecimiento, floración, cuajado del fruto, productividad de los cultivos y eficiencia en el uso de nutrientes (EUN), varios de ellos presentes en las enmiendas orgánicas, incluyendo los ácidos húmicos, entre otros (Colla y Rouphael, 2015; Yakhin *et al.*, 2017).

Existen numerosos estudios que a través de los años han comprobado la efectividad de los microorganismos usados como bioestimulantes en las plantas (Brown y Saa, 2015), los cuales, mejoran la nutrición de los cultivos, especialmente en los sistemas agrícolas de subsistencia o de bajos insumos



(Comby *et al.*, 2017; De Pascale *et al.*, 2017) y ayudan a la estimulación del metabolismo primario y secundario de las plantas, especialmente en condiciones de baja fertilidad del suelo (Rouphael *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2018). Por lo anterior, se planteó como objetivo evaluar el efecto de microorganismos bioestimulantes sobre parámetros morfométricos y producción de tomate cherry (*Solanum lycopersicum* L. var. 'Cerasiforme') cultivado en invernadero.

Materiales y Métodos

Ubicación del experimento

El presente estudio se realizó en un invernadero tipo capilla de 22 m de largo x 12 de ancho y 8 m de altura, con un sistema de riego por goteo a través de una cintilla negra calibre 6000, con separación de 30 cm entre goteros y gasto de agua de 0.900 L/h. Localizado en el seminario Mayor de Xalapa ubicado en la Unidad Habitacional FOVISSSTE, en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, cuyas coordenadas geográficas son 19°33'05.37"N, 96°56'40.64"O y altitud de 1,418 m.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos

Se estableció un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos; T1: Fertilización sintética al 100% (FS100%), T2: Fertilización sintética (FS) al 50% + *Trichoderma harzianum*, (FS50%+Th) T3: FS al 50% + *Bacillus subtilis*, (FS50%+Bs) T4: FS al 50% + *Azospirillum brasilense* (FS50%+Ab) y T5: FS al 50% + *T. harzianum* + *B. subtilis* + *A. brasilense*, denominado consorcio (FQ50%+Cons) con 44 repeticiones, separadas a una distancia de 30 cm, teniendo una densidad de 220 plantas.

Semilla agronómica, establecimiento y mantenimiento de los semilleros

Las semillas de tomate cherry utilizadas para este estudio fueron adquiridas de la empresa Hortaflor© y se sembraron en charolas germinadoras de unicel de 200 cavidades con sustrato de Peat Moss, se dejaron en el interior del invernadero en donde se les dieron riegos diariamente hasta los 30 días después de la siembra (DDS). A los 7, 14 y 21 (DDS) a las plántulas se le aplicaron los productos PUSH y Root Factor de la empresa AgroScience® en dosis de 1 ml/L.

Preparación y desinfección del sustrato

En un espacio de 27 m² se preparó un sustrato a base de suelo y tepezil en proporción 2:1 (v/v), el cual se desinfectó con formol en dosis de 1 mL/L y posteriormente se regó, durante 72 h se dejó tapado con



un plástico transparente para eliminar patógenos. Finalmente, el sustrato tratado se dejó ventilar por 15 días, hasta el momento en que se le utilizó para el llenado de las bolsas.

Llenado de bolsas

Se utilizaron bolsas negras de polietileno con capacidad de 5 kg las cuales fueron previamente perforadas al costado de estas, esto para evitar exceso de humedad y problemas fúngicos. Posteriormente se etiquetaron para la identificación de tratamiento y fueron llenadas con el sustrato previamente desinfectado y ventilado.

Preparación de los microorganismos bioestimulantes

La bacteria *B. subtilis* fue proporcionada por el Laboratorio de Fitopatología del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste y se le cultivó en medio TSB (Caldo Soya Trypticaseína) al 3% a 28°C por 48 h y 180 rpm. Posteriormente, la concentración de la bacteria fue ajustada a 1×10^9 UFC/mL usando un espectrofotómetro UV/Vis a 660 nm y absorbancia de 1. Para el caso de *T. harzianum*, esta fue proporcionada por el Laboratorio de Fitopatología y Biología Molecular de la INBIOTECA de la U.V. y se cultivó en medio líquido con sacarosa a temperatura ambiente por 27 días. Posteriormente, la concentración fue ajustada a 1×10^5 UFC/mL usando un espectrofotómetro UV/Vis a 660 nm y absorbancia de 1. Para *A. brasilense* esta fue adquirida en la empresa BIOFABRICA siglo XXI, con una concentración de 500 millones de bacterias/g (Biofábrica Siglo XXI, 2022).

Trasplante e inoculación biológica

Las plántulas de tomate cherry a los 30 días después de la siembra (DDS) y cuando presentaron dos hojas verdaderas fueron trasplantadas en las bolsas llenas con el sustrato previamente desinfectado. En esta etapa se realizó la inoculación de los microorganismos bioestimulantes directamente a la raíz, aplicando 5 mL/planta según el tratamiento. Se realizó una concentración de 100 g/L de agua para *T. harzianum*, 10 mL/L de agua para *B. subtilis* y 2 g/L de agua para *A. brasilense*.

Fertilización

Para la fertilización se utilizó el paquete nutricional propuesto por la empresa AgroScience (2019) para el cultivo de tomate, siguiendo las dosis recomendadas, este paquete se dividió en cuatro etapas: 1. Arranque y promoción de raíces, 2. Desarrollo Vegetativo, 3. Estimulación de floración y 4. Llenado de fruto. Asimismo, en las distintas etapas fenológicas del cultivo se aplicaron los fertilizantes al drench Ultrasol color 13-40-13, Ultrasol color 18-18-18 Ultrasol color 15-5-30 y Ultrasol color 12-0-46.



VARIABLES EVALUADAS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluó altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de flores y producción total por planta (kg). Para los datos obtenidos se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad siguiendo los criterios de Shapiro y Wilk (1965) y Hartley (1950) y tras corroborar la fiabilidad estadística de los resultados se les analizó mediante un ANOVA y una prueba de medias de Tukey con nivel de significancia del 5% ($\alpha= 0.05$) del software Statistica versión 10.0 (StatSoft Inc., 2011) para Windows.

Resultados y Discusión

Altura de la planta y diámetro del tallo

En altura, el análisis de varianza mostró diferencias significativas (Tukey ($P \leq 0,05$)) entre los tratamientos evaluados desde los 14 hasta los 56 días después del trasplante (DDT) (Cuadro 1). A los 14 DDT las plantas con el tratamiento FS50%+Th, presentaron un incremento superior del 19.59% respecto al tratamiento FS100%, sin embargo, a los 29 DDT las plantas de los tratamientos FS50%+Bs y FS50%+Th mostraron incrementos del 14.21% y 9.98% respectivamente.

Cuadro 1. Altura de planta (cm) de tomate cherry, tratadas con microorganismos bioestimulantes a los 14, 29, 42 y 56 días después del trasplante (DDT).

DDT	Tratamientos				
	FS100%*	FS50%+Th	FS50%+Bs	FS50%+Ab	FS50%+Cons
14	6.99±0.69b	8.36±0.79a	4.15±0.25c	3.88±0.37c	6.66±0.72b
29	28.63±5.22ab	31.49±2.93ab	32.70±2.97a	28.73±3.56ab	27.83±2.49b
42	60.60±5.37c	71.43±6.49a	67.40±3.92ab	65.42±3.17bc	65.20±2.93bc
56	86.00±6.9a	88.60±6.25a	88.70±5.71a	88.65±7.88a	76.40±5.73b

*FS100%: Fertilización sintética al 100%, FS50%+Th: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum*, FS50%+Bs: Fertilización sintética al 50% + *Bacillus subtilis*, FS50%+Ab: Fertilización sintética al 50% + *Azospirillum brasilense*, FS50%+Cons: Fertilización sintética al 50% + *T. harzianum* + *B. subtilis* + *A. brasilense*. Letras iguales en la misma línea representan igualdad estadística Tukey con un nivel de significancia del 0.05%; ±Error estándar.



Cabe mencionar que para los 42 DDT y 56 DDT las plantas con FS50%+Th presentaron el valor más alto con un incremento de 17.87%. Se observó que en los tratamientos en donde se incorporaron los microorganismos bioestimulantes presentaron un aumento en la altura de las plantas, esto puede estar relacionado con la liberación de sustancias promotoras de crecimiento (Brenes-Madriz *et al.*, 2019) como son las auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales, influyen sobre la fisiología vegetal, incrementando el volumen radicular, la tasa de respiración de la raíz de la planta hospedera y el flujo de protones en la membrana de la raíz; provocando un aumento en la absorción de nutrientes y minerales solubles (Fibach-Paldi *et al.*, 2012). Este efecto promueve incrementos en variables morfométricas y producción de biomasa en cultivares de Jitomate (Vargas-Inciarte *et al.*, 2019).

Para el diámetro del tallo, a los 14 DDT, el análisis de varianza mostró diferencias significativas siendo las plantas del tratamiento FS50%+Th las que mostraron el valor más alto con un incremento de 12.75% con respecto a las plantas con FS100%. Esto puede ser ocasionado porque el género *Trichoderma* produce ácido indolacético (AIA), sustancia que actúa como hormona vegetal favoreciendo el desarrollo del sistema radical (Valencia *et al.*, 2005), además actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en las partes jóvenes de la planta, acelerando su reproducción celular, logrando que las plantas se desarrollen más rápido en comparación con plantas que no han sido tratadas con dicho microorganismo (Valencia *et al.*, 2007).

No obstante, desde los 29 hasta los 56 DDT el análisis estadístico no arrojó diferencias significativas para los tratamientos evaluados (Cuadro 2).

Cuadro 2. Diámetro de tallo (mm) de tomate cherry, tratadas con microorganismos bioestimulantes a los 14, 29, 42 y 56 días después del trasplante (DDT).

DDT	Tratamientos				
	FS100%*	FS50%+Th	FS50%+Bs	FS50%+Ab	FS50%+Cons
14	3.45±0.43a	3.89±0.14a	1.84±0.52b	1.75±0.14b	3.41±0.48a
29	8.91±1.29a	10.09±0.21a	10.13±1.68a	9.840±0.21a	9.80±1.30a
42	12.63±1.57a	12.04±0.25a	10.51±0.69a	11.71±0.25a	11.69±0.95a
56	12.88±1.67a	12.09±0.18a	12.45±1.25a	11.87±0.18a	11.79±0.26 a

*FQ100%: Fertilización sintética al 100%, FS50%+Th: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum*, FS50%+Bs: Fertilización sintética al 50% + *Bacillus subtilis*, FS50%+Ab: Fertilización sintética al 50% + *Azospirillum brasilense*, FS50%+Cons: Fertilización sintética al 50% + *T. harzianum* + *B. subtilis* + *A. brasilense*. Letras iguales en la misma línea representan igualdad estadística Tukey con un nivel de significancia del 0.05%; ±Error estándar.



Variable número de flores

Para número de flores, a los 70 DDT el análisis estadístico no mostró diferencias significativas (Tukey ($P \leq 0,05$)) (Cuadro 3), pero si a los 84 DDT siendo las plantas de los tratamientos FS50%+Ab y FS100% las que presentaron el mayor número de flores, lo que se puede atribuir a su capacidad para producir reguladores vegetales como las auxinas, citocininas y giberelinas (Domingues *et al.*, 2020).

Cuadro 3. Número de flores en plantas de tomate cherry, tratadas con microorganismos bioestimulantes a los 70 y 84 días después del trasplante (DDT).

DDT	Tratamientos				
	FS100%*	FS50%+Th	FS50%+Bs	FS50%+Ab	FS50%+Cons
70	11.30 ± 6.34a	13.50 ± 6.34a	11.30±4.11a	13.0 ± 5.69a	13.4 ± 4.03a
84	20.7 ± 6.21a	12.9 ± 6.04b	10.8 ± 9.48b	20.4 ± 5.79a	13.8 ± 1.39b

*FQ100%: Fertilización sintética al 100%, FS50%+Th: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum*, FS50%+Bs: Fertilización sintética al 50% + *Bacillus subtilis*, FS50%+Ab: Fertilización sintética al 50% + *Azospirillum brasilense*, FS50%+Cons: Fertilización sintética al 50% + *T. harzianum* + *B. subtilis* + *A. brasilense*. Letras iguales en la misma línea representan igualdad estadística Tukey con un nivel de significancia del 0.05%; ±Error estándar.

Producción total por planta

El análisis de varianza mostró diferencias significativas (Figura 1) entre los tratamientos. Siendo las plantas del tratamiento FS50%+Ab las que presentaron el valor más alto obteniendo un incremento de 14.34% con respecto a las plantas del tratamiento FS100%. Autores como Steenhoudt y Vanderleyden, (2000) y Andrade-Sifuentes *et al.* (2020) atribuyen que *Azospirillum* mejora del crecimiento en las plantas mediante la producción de hormonas vegetales o fitohormonas, estas son moléculas orgánicas sencillas que regulan la expresión de genes determinados, actúan como mensajeros químicos, controlan el crecimiento y desarrollo de la planta (Aguilar-Piedras *et al.*, 2008). Además, las bacterias promotoras de crecimiento vegetal, por sus diversos mecanismos de acción, pueden ayudar en la nutrición vegetal, mejorando características fisiológicas en el cultivo e incrementando el rendimiento de estos, reduciendo con ello, el impacto por el uso excesivo de fertilizantes. Por lo que, además de promover el crecimiento de las plantas, pueden reducir hasta 50% la dosis recomendada de fertilización química (Hernández-Leal *et al.*, 2011; Zulueta-Rodríguez *et al.*, 2020).



Conclusiones

1. El mejor tratamiento para producción por planta fue la fertilización sintética al 50% y la aplicación de *A. brasilense* (FS50%+*A. brasilense*).
2. El uso de estos microorganismos bioestimulantes en la agricultura protegida podría ser una alternativa para promover el crecimiento vegetal en el cultivo de tomate sin necesidad de aplicar altas dosis de fertilizante sintético, por ello su aplicación puede ser una alternativa amigable con el medio ambiente.

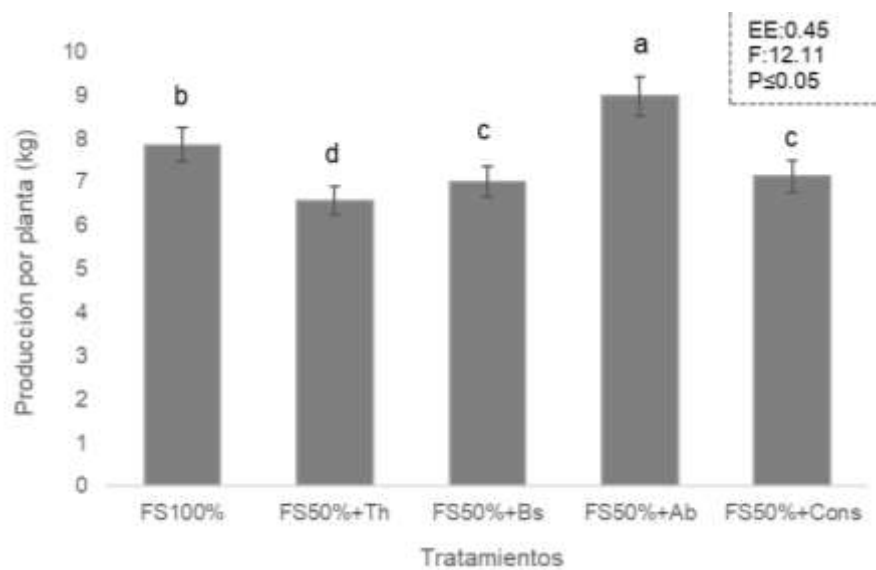


Figura 1. Producción por planta (kg) de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) var. ‘Cerasiforme’. Clave de los tratamientos: FS100%: Fertilización sintética al 100%, FS50%+Th: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum*, FS50%+Bs: Fertilización sintética al 50% + *Bacillus subtilis*, FS50%+Ab: Fertilización sintética al 50% + *Azospirillum brasilense*, FS50%+Cons: Fertilización sintética al 50% + *Trichoderma harzianum* + *Bacillus subtilis* + *Azospirillum brasilense*. Letras distintas representan diferencias significativas (Tukey con $\alpha=0.05$). Las líneas verticales en las barras son el error estándar (\pm).

Agradecimientos

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrícolas por el apoyo financiero facilitado a los estudiantes de la Optativa III. Agricultura Protegida para el desarrollo y conclusión de esta



investigación. Del mismo modo, a los estudiantes de la Optativa III. Agricultura Protegida (periodo escolar agosto 2021-enero 2022) en especial Elisama Sánchez Domínguez y Fátima Solís Ventura por formar parte de este proyecto.

Literatura Citada

- AgroScience 2019. Paquetes de nutrición. Tomate. AgroScience cosecha mayores ganancias. <https://agrosience.com/paquetes-nutricionales/> [consultado el 05 de julio de 2023].
- Aguilar-Piedras, J.J., M. Xiqui-Vásquez L., S. García-García., B. Baca E. 2008. Producción del ácido indol-3-acético en *Azospirillum*. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 50(1-2):29-37.
- Andrade-Sifuentes, A., M. Fortis-Hernández., P. Preciado-Rangel., J.A. Orozco-Vidal., P. Yescas-Coronado y E. O. Rueda-Puente. 2020. *Azospirillum brasilense* and Solarized Manure on the Production and Phytochemical Quality of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomy*. 10, 1956; doi:10.3390/agronomy10121956
- Biofábrica siglo XXI 2022. Bacterias Promotoras de crecimiento. Recuperado de la Red Mundial: 05 julio 2023 Disponible en: <https://biofabrica.com.mx/productos/>
- Brenes-Madriz, J., C. Zúñiga-Vega, M. Villalobos-Araya, C. Zúñiga Poveda, W. Rivera-Méndez. 2019. Efectos de *Trichoderma asperellum* en la estimulación del crecimiento en chile dulce (*Capsicum annuum*) variedad Nathalie en ambientes protegidos. *Tecnología en Marcha*. 32(3):79-86.
- Brown, P. y S. Saa. 2015. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science* 6:671. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00671>
- Colla, G. y Y. Rouphael. 2015. Biostimulants in horticulture. *Scientia horticultrae* 196:1–2. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.10.044>



- Comby, M., G. Mustafa. M. Magnin-Robert, B. Randoux, J. Fontaine, P. Reignault *et al.* 2017. Arbuscular mycorrhizal fungi as potential bioprotectants against aerial phytopathogens and pests. p. 195-223. *In:* Wu Q. S. (ed.). Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants. Singapore: Springer Singapore.
- De Pascale, S., Y. Rouphael y G. Colla. 2017. Bioestimulantes vegetales: Herramienta innovadora para potenciar la nutrición vegetal en agricultura ecológica. *EUR. J. Hortic. Sci* 82(6):277-285.
- Domingues D.C.F., U. Cecato., T. Trento, B. Thiago., D. Mamédio y S. Galbeiro. 2020. *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 11(1):223-240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Fibach-Paldi, S., S. Burdman y Y. Okon. 2012. Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense*. *FEMS Microbiology Letters*. 326(2):99–108. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2011.02407.x>
- Hartley, H. 1950. The Maximum F-Ratio as a Short-Cut Test for Heterogeneity of Variance, *Biometrika*. 37:308–312.
- Hernández-Leal, L.T., G. Carrión y G. Heredia. 2011. Solubilización *in vitro* de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (thom) samson. *Agrociencia* 45(8):881-892.
- Huang, J., C. Pray y S. Rozelle. 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 418:678–684. <https://doi.org/10.1038/nature01015>
- Larín MA, L. Díaz A, R. Serrano F. 2018. Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*). Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”. [http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia% 20Centa_Tomate%202019.pdf](http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Tomate%202019.pdf)
- Li, Y.T., S. Hwang G., Y. Huang M., C. Huang H. 2018. Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. *Crop Protection*. 110:275-282.



- Muller, A., Ch. Schader., N. El-Hage S., N. Isensee., E. Karl-Heinz., P. Smith. *et al.* 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nat Commun* 8:1290. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01410-w>
- Pérez, V.T., D.A. Leyva, T. F.C. Gómez M. 2018. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(1):175-189.
- Pérez-Vázquez, A. y C. Landeros-Sánchez. 2009. Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos: Ciencia y cultura* 16(73):19-25.
- Rouphael, Y., P. Franken., C. Schneider., D. Schwarz., M. Giovannetti., M. Agnolucci. *et al.* 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* 196:91-108.
- Shapiro, S.S. y M. Wilk B. 1965. An analysis of variance test for normality: complete samples. *Biometrika* 52:591-611.
- StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10.0. USA: SAS Institute Inc.
- Steenhoudt, O. y J. Vanderleyden. 2000. *Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiology Review*. 24(4):487–506. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x>
- Tuomisto, H.L., I. Hodge D., P. Riordan. y D. Macdonald W. 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? – A meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management* 112:309–320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>



- Valencia, H., J. Sánchez y N. Valero. 2005. Producción de ácido indolacético por microorganismos solubilizadores de fosfato presentes en la rizósfera de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del Páramo el Granizo. p. 177-193. *In*: Bonilla, M. (ed.). Estrategias adaptativas de plantas de páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia. Unibiblos, Bogotá.
- Valencia, H., J. Sánchez., D. Vera., N. Valero. y M. Cepeda. 2007. Microorganismos solubilizadores de fosfatos y bacterias fijadoras de nitrógeno en páramos y región cálida tropical (Colombia). p. 169-183. *In*: Sánchez, J. (ed.). Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Vargas-Inciarte, L., Y. Fuenmayor-Arrieta., M. Luzardo-Méndez., M. Costa-Jardin D., A. Vera., D. Carmona. *et al.* 2019. Use of different *Trichoderma* species in cherry type tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) Against *Fusarium oxysporum* wilt in tropical greenhouses. *Agronomía Costarricense* 43(1):85-100.
- Yakhin, O., A. Lubyantsev., I. Yakhin., P. Brown. 2017. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Frontiers in Plant Science* 7:2049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>
- Zulueta-Rodríguez, R., L.G. Hernández-Montiel., J.J. Reyes-Pérez., G.Y. González-Morales., L. Lara-Capistrán. 2020. Effects of co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Rhizoglyphus* intraradices in tomato production (*Solanum lycopersicum* L.) in a semi-hydroponic system. *Revista Bio Ciencias* 7, e671. <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e671>



CARACTERIZACIÓN DE DOS POBLACIONES NATIVAS DE CALABAZA PIPIANA EN LA REGION CENTRAL DE VERACRUZ

Isaac Meneses Márquez*⁹⁶, Arturo Andrés Gómez⁹⁷, Andrés Vásquez Hernández⁹⁶, Héctor Cabrera Mireles⁹⁶,
Arturo Duran Prado⁹⁶, Marcos Antonio Hernández García⁹⁸ y Fabiola Vázquez Rojas⁹⁸

Resumen

La calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber), se cultiva en muchas regiones del país y gran parte de la producción se realiza en pequeñas parcelas, para autoconsumo o se destina a los mercados locales. Esta investigación tiene por objetivo caracterizar dos poblaciones de calabaza pipiana de amplia variabilidad genética con el fin de derivar familias y de esta manera iniciar con el proceso de mejoramiento genético de ambas poblaciones. El trabajo se llevó a cabo en la localidad Colonia Barrios del municipio de Puente Nacional, en el estado de Veracruz, México; durante el ciclo de producción primavera – verano de 2021 en condiciones de temporal. La Colonia Barrios se encuentra en las coordenadas 96° 32' 34" LO y 19° 16' 12" de LN a una altitud de 220 m. El material vegetal fueron dos poblaciones (POB1 y POB2) de calabaza pipiana de amplia base genética. La siembra tuvo lugar en mayo de 2021; cada parcela fue de una hectárea, con distancias, entre surcos de dos metros y entre matas a dos y medio metros, depositándose tres semillas por mata. Los valores medios de siete características evaluadas a ambas poblaciones evidencian que la POB1 superó por medio kilogramo en el peso de fruto, misma tendencia observada en las variables alto y ancho de fruto. Los frutos de esta misma población tuvieron mayor peso de semilla superando en 20 g al valor de la POB2. Con excepción de la variable ancho de semilla, en las restantes variables fue superior la POB1. En las dos poblaciones bajo estudio se cuenta con una amplia base genética que permite visualizar un éxito en la implementación de alguna estrategia de mejoramiento genético, aunado a que es posible observar que la forma de fruto de interés para los productores corresponde a la forma redonda o globosa, seguida de la forma aplanada. El criterio de comparación en las poblaciones bajo selección que corresponde al

⁹⁶ INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: meneses.isaac@inifap.gob.mx

⁹⁷ ArkaDiarium

⁹⁸ Secretaría del Bienestar. Programa Sembrando Vida.



peso de 100 semillas, en esta caracterización se encontró que ambas poblaciones tuvieron el mismo peso con un valor de 32 g.

Palabras clave: *Cucurbita argyrosperma*, características de fruto, forma de fruto, tamaño de semilla

Introducción

La calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber) es una hortaliza que se consume como fruto, pero principalmente se aprecia su semilla. Ésta fue domesticada en el sur de México aproximadamente en el 5200 A. C., de acuerdo con evidencias arqueológicas en cuevas de Tehuacán, Puebla, México, que sugieren que la cultivaban y fue sometida a selección para obtener mayor tamaño de semilla. Hoy en día se cultiva en muchas regiones del país, principalmente en pequeñas parcelas, para autoconsumo o destinada a mercados locales (Pérez *et al.*, 1997). En México, se cultivan una amplia gama de variedades criollas de calabaza pipiana las cuales se adaptan a cada región agrícola, en donde forma parte de la dieta (Montes, 1991; Lira y Montes, 1992; Lira, 1995). Los recursos genéticos representan la materia prima de los fitomejoradores y son imprescindibles para los productores. El valor reside en su utilización para producir cultivares nuevos, incrementar el conocimiento de especies útiles y desarrollo de productos. Para ello es necesario conocer características del germoplasma existente, tanto *in situ*, como *ex situ* (FAO, 2003).

En México, el cultivo de calabaza es importante en sistemas agrícolas tradicionales de diversos estados, como Yucatán, Jalisco, Oaxaca y Veracruz, aunque generalmente como cultivo secundario después de otros básicos (Whitaker y Bohn, 1950; Whitaker y Davis, 1962). Existe poca información que describa en forma puntual la diversidad del género *Cucurbita* y *C. argyrosperma* Huber no es la excepción, Merrick y Bates (1989) hicieron una descripción de la diversidad con fines de la reclasificación y nomenclatura de la especie. Merrick (1990) refiere diferencias entre variantes domesticadas y silvestres de la especie. Vildózola (1998) describió una población de *C. argyrosperma* y Canul *et al.* (2005) registraron la diversidad morfológica de calabaza de Yucatán. Estudios de Lira *et al.* (1995) y Azurdia (1999) señalan que la variabilidad de la calabaza cultivada se encuentra en la morfología y tamaño de frutos y semillas, coloración, tipo y sabor de mesocarpio. La diversidad es menos heterogénea en *C.*



argyrosperma en comparación con las especies cultivadas; aunque con características agronómicas sobresalientes y ciclos biológicos diferentes (Zizumbo, 1992; Lira *et al.*, 1995).

Estudios de evaluación de algunas poblaciones avanzadas llevados a cabo por Sánchez *et al.* (2004) encontraron que el peso de fruto (PFR) por localidad promedió 1 917 en VCH y 1 712 g/planta en VM. El peso de semilla (PSE) de VCH fue 84.1 y de 65 g/planta en VM. En la variedad ‘Morelos’ la familia 27 presentó la media más alta en peso de fruto, con 2 050.6 y de peso de semilla con 103.4 g/planta. La familia 19 (PFR: 2 564.8; PSE: 142.1 g/planta) fue la más sobresaliente en la variedad ‘Chapingo’.

Meneses *et al.* (2006) llevaron a cabo estudios para determinar el tamaño óptimo de parcela en calabaza asociada con maíz en caracteres de fruto, de pulpa y de la semilla, encontrando que la de 5.4 m² fue la mejor, sin embargo, el ancho de semilla fue superior al aumentar el tamaño de parcela. Las máximas reducciones del coeficiente de variación ocurrieron en color, grosor y sabor de pulpa, textura de fruto y peso de semilla.

Meneses *et al.*, (2009) mencionaron que esta especie responde muy bien a la selección combinada, tal como lo muestra el trabajo realizado al determinar los cambios en la calidad de fruto maduro de una población sintética de calabaza por efecto de la selección. Lo anterior permitió incrementar la frecuencia de frutos de alta calidad desde 18% en la población original hasta 73% en el quinto ciclo de selección. La aplicación del enfoque de mejoramiento participativo, a pesar de los cinco ciclos de selección, permitió conservar la diversidad genética presente en la población original.

En las regiones de las Costas, Centro, La Montaña, Tierra Caliente y Norte de Guerrero se cultivan materiales criollos de calabaza, generalmente asociados con maíz (*Zea mays* L.) de temporal o seco. De la calabaza se consumen los frutos maduros e inmaduros, las flores masculinas, las semillas secas y los meristemas tiernos de los tallos o guías (Lira, 1995); también se aprovecha la pulpa cocida o en conserva, pero las semillas representan el producto alimenticio y comercial más importante, por sus altos contenidos de aceite, proteína y fósforo (Guenkov, 1974). Las semillas tostadas y saladas se consumen en forma directa, y son el condimento principal para la elaboración de los moles conocidos como “pipianes” en diversas localidades de Guerrero, Oaxaca, Hidalgo, San Luis Potosí, Morelos y Veracruz; además, de la semilla se extrae aceite para preparar jabones finos (Lira, 1995).

Lira (1995) señaló que la variabilidad en el género *Cucurbita* se encuentra en la morfología, el tamaño de frutos y semillas, la coloración, y el tipo y sabor de mesocarpio. El número básico de cromosomas de todas las especies de *Cucurbita* es $2n = 2x = 40$, los cariotipos sugieren que estas especies son de



origen aloploiploide (Weeden *et al.*, 1984). No obstante, a pesar de su alto grado de diferenciación, las especies de este género no están completamente aisladas en términos reproductivos.

En calabaza se busca obtener cultivares superiores con mayor producción de semilla por fruto, mejor coloración, sabor y grosor de la pulpa, al tiempo de mejorar el hábito de crecimiento de la planta y la distribución de la producción de frutos a lo largo de la guía (Villanueva, 2007). A través del mejoramiento genético por selección combinada es factible avanzar rápidamente hacia la formación de un material de excelente producción, en estudios previos se ha encontrado que la característica de peso de semilla presentó una respuesta esperada a la selección de 154%, aunado a que por la duración del ciclo del cultivo es factible obtener dos ciclos de selección por año y esto permite reducir el tiempo para generar un genotipo mejorado, estable y uniforme a través del mejoramiento genético por selección familiar (Meneses *et al.*, 2002).

Con base en lo anterior, el estudio tuvo por objetivo caracterizar dos poblaciones de calabaza pipiana de amplia variabilidad genética con el fin de derivar familias y de esta manera iniciar con el proceso de mejoramiento genético de ambas poblaciones.

Materiales y Métodos

La siembra de los genotipos se llevó a cabo en terrenos de dos agricultores de la localidad Colonia Barrios del municipio de Puente Nacional, en el estado de Veracruz, durante el ciclo primavera – verano de 2021 en condiciones de temporal; Colonia Barrios se encuentra en el kilómetro 22 de la carretera Conejos-Huatusco en las coordenadas 96° 32' 34'' longitud oeste y 19° 16' 12'' de latitud norte a una altura de 220 m sobre el nivel del mar (García, 1988).

El material genético consistió de dos poblaciones de calabaza pipiana de amplia base genética. La siembra de las poblaciones de calabaza pipiana tuvo lugar en el mes de mayo de 2021; cada parcela fue de una hectárea, con distancias entre surcos de 2 m y entre matas a 2.5 m, depositándose tres semillas por punto de siembra. El manejo agronómico fue de acuerdo al sistema tradicional que los productores de este municipio lo llevan a cabo. La cosecha se realizó el 17 y 27 de septiembre de 2021, para las POB1 y POB2, respectivamente, cuando el cultivo alcanzó los 120 días de madurez. La cosecha se realizó en forma masal y una vez tenido almacenados los frutos en un punto de la parcela, se procedió a seleccionar de manera aleatoria 100 frutos a los cuales se les registraron variables relacionadas con



características de fruto y semilla y fueron las siguientes: peso de fruto (kg), alto y ancho de fruto (cm), forma de fruto (globosa, aplanada, piriforme y ovalada), peso de semilla (g), alto y ancho de semilla (cm), peso de cien semillas (g) en húmedo y en seco.

En ambas poblaciones se aplicó selección masal y a partir de lo anterior se derivaron cien familias de medios hermanos maternos de acuerdo con Meneses *et al.* (2009).

Resultados y Discusión

Caracterización de la Población POB1

La forma de fruto predominante en la POB1 es globosa la cual representó hasta el 60% del total de frutos de la población, seguida muy por abajo en frecuencia los frutos de forma piriforme (23%). Lo anterior señala que la selección empírica que ha venido realizando el productor ha sido enfocada hacia esta forma de fruto y de alguna manera también representa una característica de selección indirecta en la población (Figura 1).

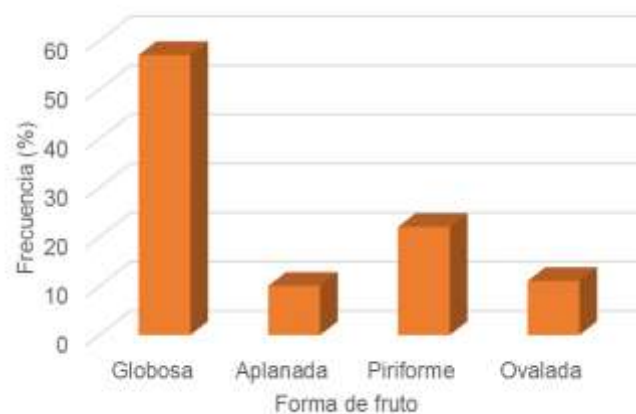


Figura 1. Frecuencia de forma de fruto de la población POB1 de calabaza pipiana.

El peso de fruto varió de acuerdo con la forma de fruto, siendo la forma de globo o redonda la que tuvo el mayor valor, con aproximadamente tres kilogramos, seguido por los frutos aplanados, en contraste con la forma piriforme (con forma de pera) que tuvo un valor cercano a los dos kilogramos (Figura 2).



Figura 2. Relación del peso de fruto con la forma de fruto en la POB1.

Como es de esperarse, la característica de forma de fruto es la que tiene mayor influencia en cuanto a otras características como el alto y ancho de fruto. En esta población se encontró que frutos de forma piriforme son los de mayor valor en la altura de fruto; en el caso del ancho de fruto, sobresalieron aquellos de forma aplanada (Figura 3).

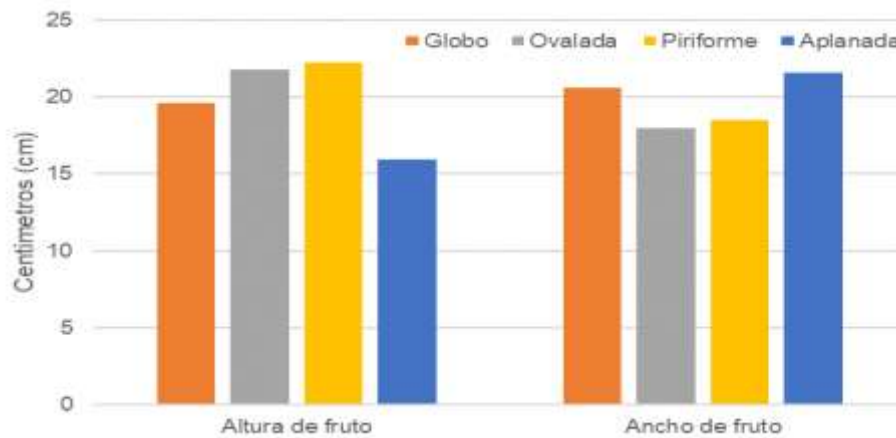


Figura 3. Forma de fruto de la POB1 sobre el alto y ancho de fruto en calabaza pipiana.

Meneses *et al.* (2014) definieron al peso seco de cien semillas como una característica muy fidedigna para realizar comparaciones entre genotipos bajo evaluación. En ese sentido, en la POB1 se encontró que tanto los frutos en forma de globo como las aplanadas resultaron con valores similares de peso en seco de 100 semillas (35 g), mientras las ovaladas y piriformes resultaron con valores inferiores y similares entre sí (Figura 4).

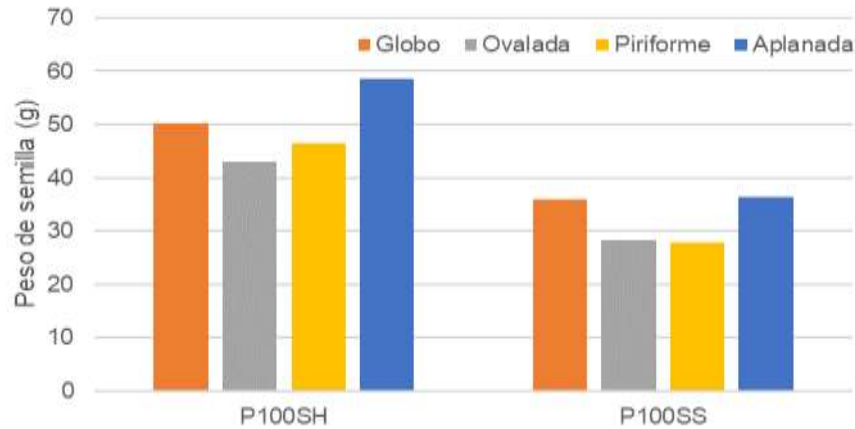


Figura 4. Variación en el peso de cien semillas de la POB1 por efecto de la forma de fruto.

A pesar de que el peso de cien semillas en frutos globosos y aplanados resultan ser similares, cuando se analizó el peso total de semilla por fruto se encontró que frutos redondos o globosos superan en aproximadamente 20 g a aquellos frutos aplanados. Por lo que para fines de producción de semilla para consumo en fresco y no destinado a semilla, se preferiría tener en la población mayor frecuencia de frutos redondos (Figura 5).

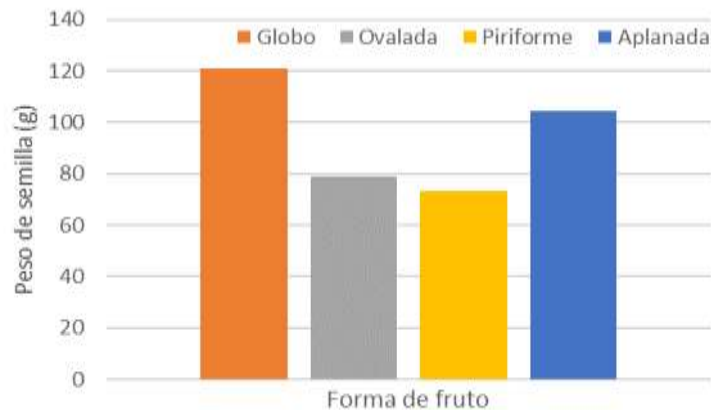


Figura 5. Peso de semilla de la POB1 de acuerdo a la forma del fruto de calabaza pipiana.

Así como hay variables que muestran valores contrastantes por efecto de la forma de fruto, la característica relacionada con el alto y ancho de la semilla es muy similar entre sí, ya que se encontró un valor aproximado a 1.6 cm de alto en todas las formas de fruto, así como de 0.7 cm para el ancho de la semilla (Figura 6).

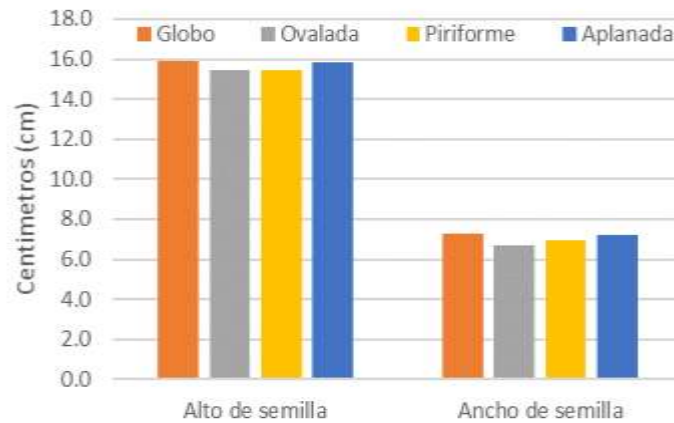


Figura 6. Alto y ancho de semilla de la POB1 en diferentes formas de fruto de calabaza pipiana.

Caracterización de la Población POB2

En la población POB2 predominaron las formas de fruto globosa y aplanada con 41% para ambos tipos, lo que muestra que los criterios de selección son distintos entre productores (Figura 7); no obstante, se deduce que los productores prefieren frutos redondos.

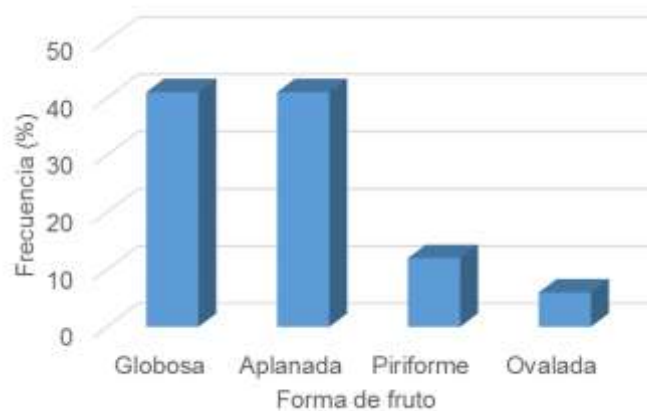


Figura 7. Frecuencia de forma de fruto de la población POB2 de calabaza pipiana.

Las formas de globo y aplanada tuvieron los mayores valores de peso de fruto con aproximadamente 2.3 kg, mientras que las restantes formas de fruto tuvieron un valor similar, aunque inferior a dos kilogramos en promedio por fruto (Figura 8).

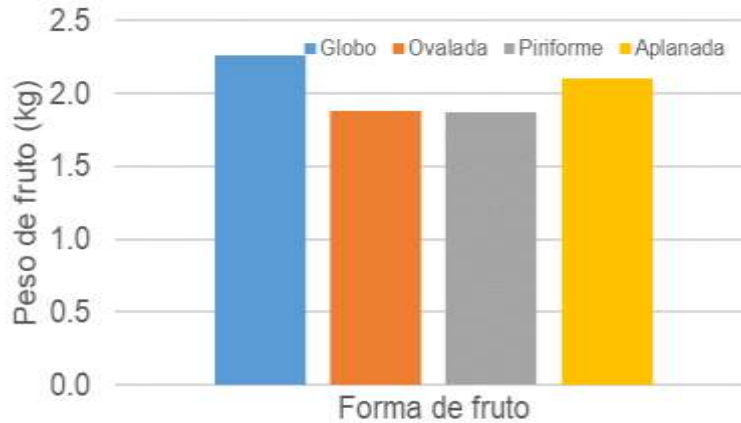


Figura 8. Relación del peso de fruto con la forma de fruto en la POB2.

La forma de fruto es la que tiene mayor influencia en características como el alto y ancho de fruto. En esta población POB2 se encontró que frutos de forma piriforme son los de mayor valor en la altura de fruto, seguido de frutos ovalados; en el caso del ancho de fruto, sobresalieron aquellos de forma redonda y aplanada (Figura 9).

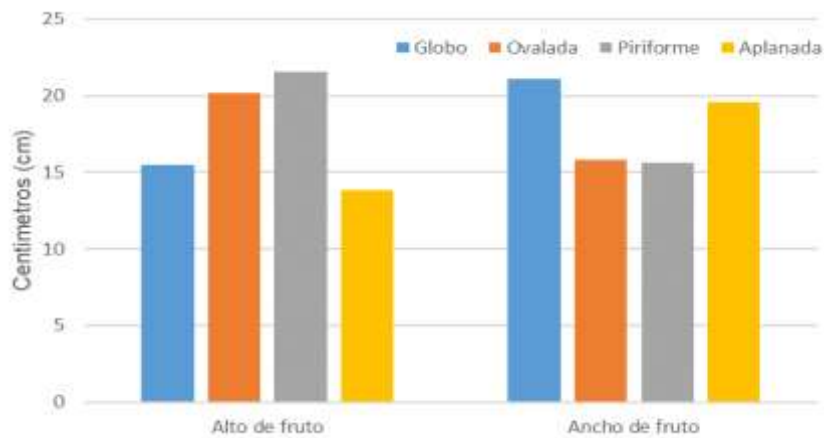


Figura 9. Forma de fruto de la POB2 sobre el alto y ancho de fruto en calabaza pipiana.

Para la característica relacionada con el peso total de semilla por fruto se encontró que los frutos redondos o globosos superan en aproximadamente 5 g a aquellos frutos aplanados, siendo los frutos de forma piriforme los de menor valor con un peso de 60 g (Figura10).

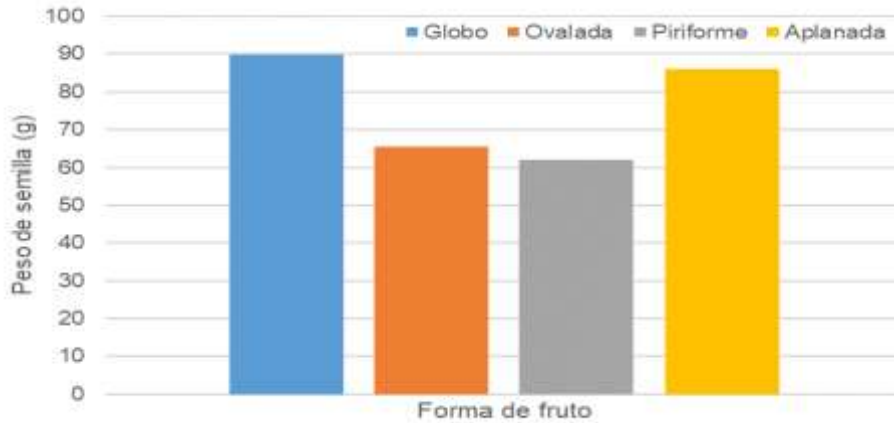


Figura 10. Peso de semilla de la POB2 de acuerdo a la forma del fruto de calabaza pipiana.

La tendencia en los valores del alto y ancho de la semilla es muy similar entre todas las formas de fruto, con excepción de frutos aplanados que para alto de semilla resultan superior y en el ancho de semillas son las de menor valor (Figura 11). Sin embargo, se encontró una relación similar en ambas características como reflejo de la interacción con la forma del fruto.

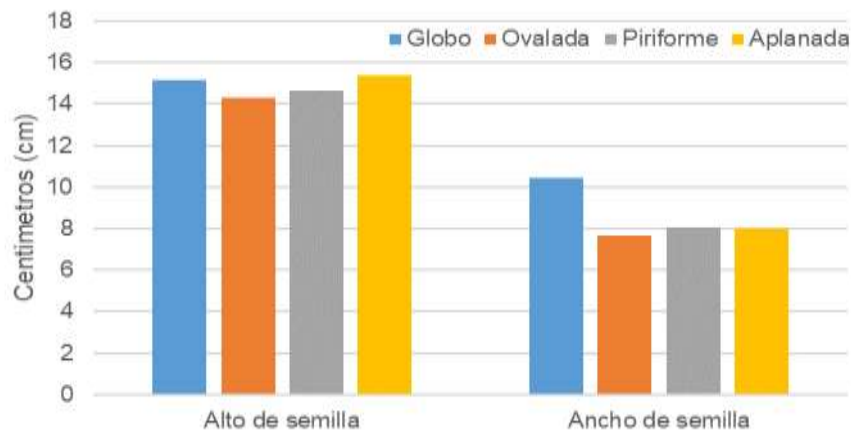


Figura 11. Alto y ancho de semilla de la POB2 en diferentes formas de fruto de calabaza pipiana.

En la POB2 se encontró que tanto los frutos en forma aplanadas como de globo resultaron con valores similares de peso de 100 semillas (35 g), mientras las ovaladas fueron las de menor valor en aproximadamente 28 g (Figura 12).

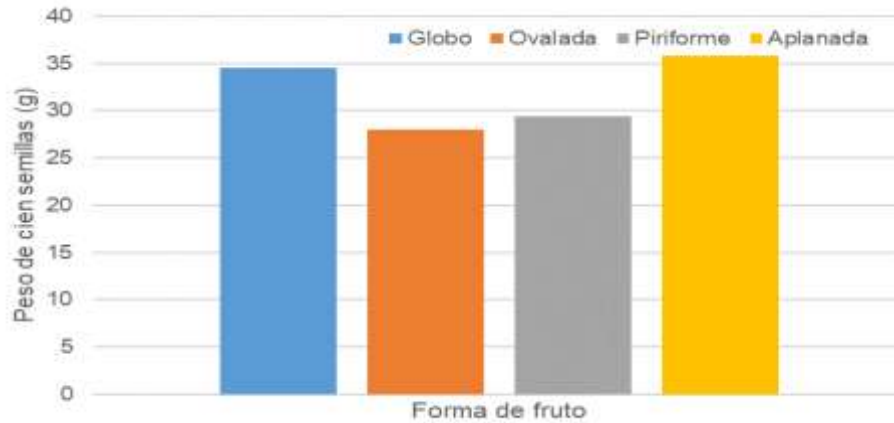


Figura 12. Peso de cien semillas de la POB2 por efecto de la forma de fruto.

Al ser poblaciones de amplia base genética, a pesar de que en un momento dado se inicie con la selección, las formas anteriores siempre se presentarán debido a que el género *Cucurbita* sp., es de polinización cruzada favorecida por la actividad de transporte de polen que realizan las abejas (Robinson y Decker-Walters, 1997) y, más aún, cuando en la población bajo selección se permite la polinización natural, por lo que las múltiples visitas de abejas sobre las flores masculinas, frecuentemente resulta en una deposición de polen mezclado en estigmas receptivos (Kirkpatrick y Wilson, 1988). A medida que esta población sea sometida a algún proceso de selección, los cambios hacia formas de fruto que se definan como de interés van a reflejarse en cada ciclo, de acuerdo a lo reportado por Meneses *et al.* (2002), quienes señalan que, en un inicio de predominar colores de pulpa de poco interés, a medida que se avanza en los ciclos de selección hay cambios notorios hacia los colores muy apreciados. Por lo que a partir de esto se requiere siempre caracterizar la población de interés y estar en posibilidad de conocer los cambios y en qué medida va cambiando la media de la población, independiente del carácter que se evalúe.

En el análisis comparativo de promedios de valores medios de siete características entre las dos poblaciones bajo estudio se encontró que la POB1 superó por medio kilogramo en el peso de fruto, lo mismo que para alto y ancho de fruto. Importante señalar que los frutos de esta misma población tuvieron mayor peso de semilla superando en 20 g al valor de la POB2. Con excepción de la variable ancho de semilla, en el resto de las variables fue superior la POB1 (Cuadro 1). Rodríguez *et al.* (2009) encontraron que las características de interés antropocéntrico, como peso de 100 semillas con y sin testa, mostraron la mayor diversidad del germoplasma de calabaza pipiana.



Cuadro 1. Comparación de variables de fruto y semilla de dos poblaciones de calabaza pipiana.

Población	PF (kg)	ALF (cm)	ANF (cm)	PS (g)	ALS (cm)	ANS (cm)	P100S (g)
POB1	2.5	19.9	19.7	94.5	15.7	7.0	32.1
POB2	2.0	17.8	18.0	75.8	14.9	8.5	32.0

PF: peso de fruto, ALF: altura de fruto, ANF: ancho de fruto, PS: peso de semilla, ALS: altura de semilla, ANS: ancho de semilla, P100S: peso de 100 semillas.

Conclusiones

1. En las dos poblaciones bajo estudio se cuenta con una amplia base genética que permite visualizar un éxito en la implementación de alguna estrategia de mejoramiento genético, aunado a que es posible observar que la forma de fruto de interés para los productores corresponde a la forma redonda o globosa, seguida de la forma aplanada. 2. La POB1 supera en los valores de las siete características registradas sobresaliendo en el peso de la semilla y peso de fruto. 3. El peso de cien semillas como criterio de comparación entre las poblaciones bajo selección, en esta caracterización se encontró que ambas poblaciones tuvieron el mismo peso con un valor de 32 g.

Literatura Citada

Azurdia, C. 1999. Las cucúrbitas de Guatemala. *Tikalía* 17:41-58.

Canul, K. J.; Ramírez, V. P.; Castillo, G. F. y Chávez, S. J. L. 2005. Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 28:339-349.

FAO (Organización para las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2003. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura. Roma Italia.

García E. 1988. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Koppen para adaptarlos a las condiciones de la república mexicana. 4ª edición. UNAM. México, D. F. 110 p.



- Guenkov, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. pp. 169-172.
- Kirkpatrick, K. J. y H. D. Wilson. 1988. Interspecific gene flow in Cucurbita: *C. texana* vs *C. pepo*. American Journal Botanical 75(4):519-527.
- Lira S., R. 1995. Estudios Taxonómicos y Eco geográficos de las Cucurbitaceas Latinoamericanas de Importancia Económica. UNAM. Instituto de Biología. IPGRI. D. F., México. 281 p.
- Lira, R., T. C. Andres y M. Nee. 1995. Cucurbita L. p.1-115. *In*: Lira, R. (Ed.), Estudios taxonómicos y ecogeográficos de las Cucurbitaceae latinoamericanas de importancia económica. Cucurbita, Sechium, Sicana y Cyclanthera. International plant genetic resources institute, Rome, Italy.
- Lira, S. R. y Montes-Hernández, S. 1992. Cucúrbitas (*Cucurbita* spp.). *In*: Hernández, B. J. E. y León, J. (eds.). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942. Colección FAO: producción y protección vegetal Núm. 26. Roma, Italia. pp. 71-75.
- Meneses M. I., V. C. Villanueva, J. A. Mejía C., J. D. Molina G. y S. Miranda C. 2006. Tamaño óptimo de parcela en calabaza asociada con maíz. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1):27-31.
- Meneses M. I., V. C. Villanueva, C. J. Sahagún. 2009. Cambios en la calidad de fruto maduro de una población sintética de calabaza (*Cucurbita pepo* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 15(3):269-274.
- Meneses M. I., V. C. Villanueva, C. J. Sahagún, T. R. Vázquez R., L.C. Merrick. 2002. Componentes de varianza genética y respuesta a la selección combinada en calabaza *Cucurbita pepo* L. bajo el sistema milpa. Revista Chapingo Serie Horticultura 8(1):5-14.



- Merrick, L. C. 1990. Systematics and evolution of a domesticated squash, *Cucurbita argyrosperma*, and its wild and weedy relatives. p.77-95. In: Bates, D. M.; R. W. Robinson y C. Jeffrey (eds.). Biology and utilization of the Cucurbitaceae. Cornell Univ. Press, Ithaca, NY.
- Merrick, L. C. y D. M. Bates. 1989. Classification and nomenclature of *Cucurbita argyrosperma*. *Baileya* 23:94-102.
- Montes, H. S. 1991. Calabazas (*Cucurbita* spp.). In: Ortega, P. R.; Palomino, H. G.; Castillo, G. F.; Gonzáles, H. V. A. y Livera, M. M. (eds). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos en Mexico. SOMEFI. Chapingo, México. pp. 239-250.
- Pérez G. M., S. F. Márquez y L. A. Peña 1997. Mejoramiento Genético de Hortalizas. Universidad Autónoma Chapingo. 380 p.
- Robinson, R. W. y D. S. Decker-Walters. 1997. Cucurbits. CAB International. University Press. Cambridge, UK. 226 p.
- Rodríguez R. A., S. Montes H., J.A. Rangel L., M. Mendoza E., L. Latournerie M. 2009. Caracterización morfológica de la calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber.). *Agricultura Técnica en México* 35(4):378-388.
- Sánchez H. M.A., J.A. Mejía C., C. Villanueva V., J. Sahagun C., A. Muñon O., J.D. Molina G. 2004. Selección combinada de genotipos de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*) en el sistema milpa. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(1):57-66.
- Vildózola, T. J. L. 1998. Caracterización y selección in situ de una población de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *stenosperma*). Tesis de Licenciatura. UACH. Chapingo, México.
- Villanueva V., C. 2007. Calabazas cultivadas. Identificación de especies, caracterización y descripción varietal. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico.123 p.



Weeden N. F., R. W. Robinson, F. Ignart. 1984. Linkage between an isozyme locus and one of controlling resistance in watermelon mosaic virus 2 in *Cucurbita ecuadorensis*. Cucurbit Genetics Coop. Rpt. 7:86

Whitaker, T. W. y G. W. Bohn. 1950. The taxonomy, genetics, production and uses of the cultivated species of Cucurbita. Economic Botany 4:52-81.

Whitaker, T. W. y G. N. Davis. 1962. Cucurbits, botany, cultivation and utilization. Interscience Publishers, Inc. New York. 250 p.

Zizumbo, V. D. 1992. Las calabazas del sistema milpero como recurso genético. In: la modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. Zizumbo, V. D.; Rasmussen, C. H.; Arias, R. L. y Terán, C. S. (eds). CICY, Mérida, Yucatán. pp. 161-174.



RESPUESTA MORFOLOGICA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) A FOTOPERIODO DE ALTA INTENSIDAD

Gabriela Hernández Hernández^{99*}, Genaro Pérez Jiménez¹⁰⁰, Nelly Corona Vega⁹⁹ y Michelle Sánchez Lima⁹⁹

Resumen

Uno de los factores más importantes que afecta el crecimiento y desarrollo de los cultivos es la luz. La luz es indispensable para los procesos fotosintéticos y el metabolismo de las plantas, se ha documentado que la iluminación artificial genera estímulos al desarrollo morfológico de plantas. El cultivo de plantas con iluminación artificial permite la manipulación del fotoperiodo, además de que se puede regular la intensidad de luz y color de esta. El objetivo del presente estudio fue evaluar las características morfológicas de plántulas de maíz, expuesta a fotoperiodo con distintos espectros de iluminación LED (roja, azul, verde, y como testigo fluorescente); se evaluaron cuatro genotipos de maíz (blanco, negro, azul, y rojo). El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron correspondientes a la calidad física y su respuesta vegetativa en calidad aérea y radicular. Los resultados fueron evaluados a los diez días de inicial la prueba, y se tomaron tres plántulas al azar dentro de la unidad experimental. Los resultados obtenidos mostraron que, en la calidad física, la germinación mostro un aumento significativo en led rojo respecto a los demás tratamientos lumínicos. El comportamiento acumulativo de azúcares se mostró en la producción de tejido fresco y seco de partes aéreas y radicales con LED azul y rojo respectivamente. El comportamiento morfológico de las plántulas de maíz durante la conducción del experimento, mostraron una exposición precoz de raíces adventicias y una etiolación continúan del tallo y hojas cuando se mantuvieron expuestas al fotoperiodo regulado por LED verde. Los resultados obtenidos mostraron que cada tratamiento de luz ejerció una diferente respuesta morfológica a la exposición de plántulas de maíz en cada cámara de ambiente de crecimiento, expresando crecimiento aéreo en espectros de luz verde y azul, y en calidad física se muestra un aumento de la tasa de germinación en plantas expuestas al led fluorescente y verde.

⁹⁹ Tecnológico Nacional de México, Campus altiplano de Tlaxcala. *Autor por correspondencia: hernandezgabriela@itat.edu.mx

¹⁰⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.



Palabras clave: espectros, germinación, genotipo

Introducción

La luz además de ser una fuente indispensable de energía para la fotosíntesis en las plantas, también es un factor para su crecimiento y desarrollo (Ding *et al.*, 2010), debido a que las plantas son capaces de responder a la intensidad y color de la luz (Johkan *et al.*, 2012); la producción de materia vegetal, se puede controlar artificialmente por medio del ambiente de crecimiento, regulado por variables importantes del medio como, la intensidad de luz, temperatura y humedad (Ramos y Ramírez, 2016).

El cultivo *indoor* es apropiado para cualquier planta, debido que la iluminación es a través de LED (Light Emitting Diode - Diodo Emisor de Luz), que se conoce como luces de crecimiento y son fuente de luz artificial, que funcionan de tres maneras diferentes: 1) proporcionan toda la luz que la planta necesita para crecer, 2) aumentan el periodo de la luz día con el fin de disparar el crecimiento y 3) promueven la floración (Ramos y Ramírez, 2016). Las ventajas en este cultivo son la manipulación de variables como el fotoperiodo, temperatura, humedad relativa, además de regular la intensidad de luz y color de ésta (Blanco *et al.*, 2015).

El maíz (*Zea mays*) es un alimento básico consumido por 900 millones de personas, por lo que se considera uno de los cultivos importantes del mundo (Shiferaw *et al.*, 2011). Éste representa toda una tradición productiva y de consumo, donde se cumplen diversas funciones alimentarias y socioeconómicas que han trascendido (Kato *et al.*, 2009). Asimismo, ha sido materia prima para la industria agropecuaria en México y otros países, como Estados Unidos de América, China, Argentina y Brasil (OCDE-FAO, 2014).

La tecnología de cultivo en granjas de iluminación artificial solo se ha documentado para casos en hortalizas, y los efectos han sido resultado de la interacción de espectro lumínicos, desconociendo los efectos por luz específica. Por lo anterior, el objetivo fue estudiar la respuesta morfológica de cuatro genotipos de maíz de color de grano: blanco, negro, rojo y azul, expuestos a diferentes espectros de iluminación LED (fluorescente, verde, azul y rojo).



Materiales y Métodos

El material seminal fue colectado en la comunidad de Ixtacamaxtitlán, Puebla, México. Durante los meses octubre y noviembre del 2022, se obtuvieron 4 colores diferentes de maíz: blanco (GB); negro (GN); azul (GA) y rojo (GR). Posterior a la colecta las muestras se llevaron a laboratorio para ser clasificadas e identificadas.

Se elaboraron cámaras de iluminación artificial con secciones de ancho de 85 cm y 30 cm de profundidad, las paredes se forraron con plástico de color negro para evitar los escapes y mezclas de luz. Los espectros lumínicos fueron emitidos por dos focos LED (AKSI®) de color fluorescente (LF), azul (LA), verde (LV) y roja (LR), cada sección tenía una distancia de 30 cm de altura entre charolas.

La longitud de onda fue determinada por un luxómetro de la marca Steren®, modelo HER-408, donde la luz fluorescente, azul, verde y roja obtuvieron valores de 88.96, 83.03, 53.26, 56.36 lu/m^2 respectivamente. Todas las cámaras de iluminación se programaron por un temporizador de la marca Steren® con un fotoperiodo de 16 h de luz y ocho h de oscuridad. La temperatura de cada sección fue de $20.3^\circ\text{C} \pm 2$ y la humedad relativa de 45%. La evapotranspiración se calculó con la media de repeticiones de tres tapas con 10 mL de agua por tratamiento lumínico, en cada sección la evotranspiración fue de 2.5 mL en fluorescente, 1.86 mL en verde luz azul 2.53 mL en azul, 2.53 mL en rojo.

La siembra se realizó en charolas de plástico de 36 x 20 cm, con arena cernida como sustrato, divididas en ocho partes para distribuir los cuatro colores de maíz entre las luces LED, con dos repeticiones por charola, las charolas se saturaron con 500 mL de agua al primer riego, y los posteriores ser realizaron de 200 mL cada tres días. El diseño experimental fue por bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones de cinco semillas por unidad experimental; las variables morfológicas se determinaron en tres plántulas normales de cada tratamiento por espectro de iluminación LED. Las variables fisiológicas fueron: altura (A) (cm), diámetro del tallo (DT) (mm), longitud de raíz (LR) (cm), masa fresca de raíz (MFR) (g), masa fresca aérea (MFA) (g), masa seca aérea (MSA) (g), volumen de raíz (VR) (mL); además, se calculó el área foliar (AF) (cm^2) con la metodología propuesta por Saucedo *et al.* (2017).

Los datos obtenidos se analizaron comprobando los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, después se realizó un análisis de varianza (ANOVA) por genotipo, LED y en integración, genotipo * LED, donde se mostraron diferencias estadísticas se corrió una prueba múltiple de



comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (ver 9.4) (Statistical Analysis System, 2014).

Resultados y Discusión

El maíz blanco obtuvo un porcentaje de germinación alto respecto a las semillas de color azul, rojo y negro; El efecto se debe a que el maíz blanco tienen un alto contenido de lisina y triptófano que ayudan a la germinación y crecimiento de plantas (Dado, 1999).

La luz fluorescente influye en la germinación de los cuatro tipos de maíz (Figura 1), ya que este espectro es una mezcla de todas las longitudes de onda luminicas; la luz azul fue la segunda en promover la germinación además de mostrar mayor fototropismo y promoción del desarrollo vegetal (Bures *et al.*, 2018).

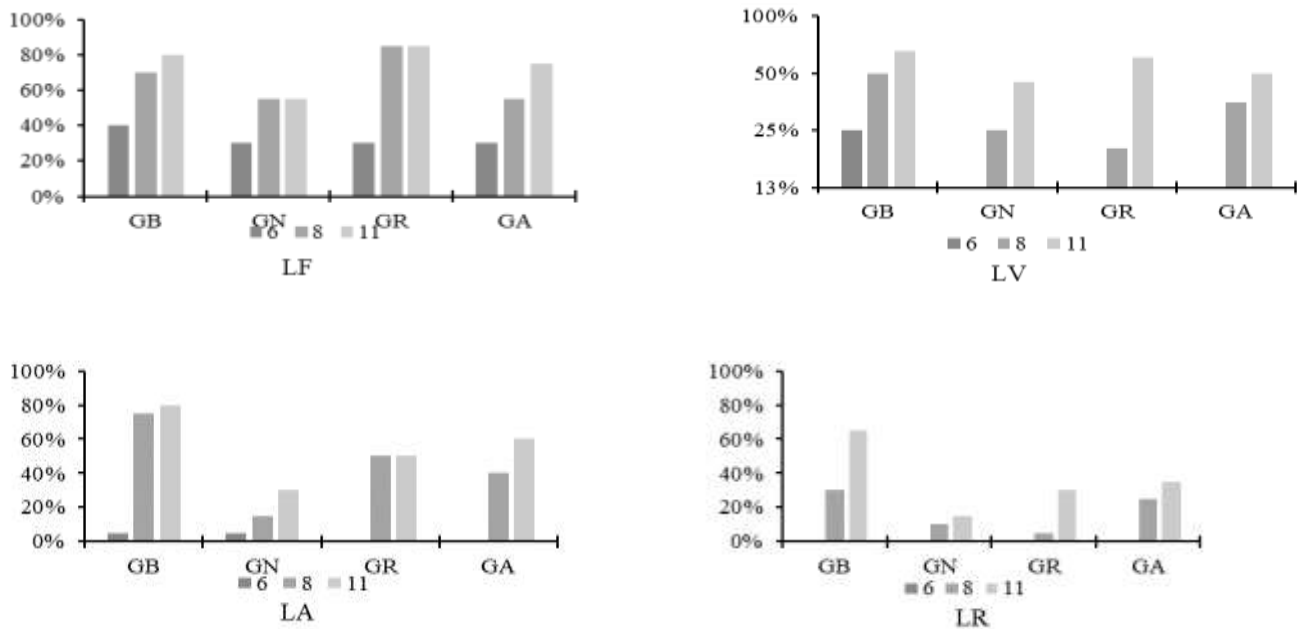


Figura 1. Porcentaje de germinación en luz LED (6: día seis; 8: día ocho; 11: día once). GB: maíz blanco; GN: maíz negro; GR; maíz rojo; GA: maíz azul. LED, LF): luz fluorescente; B) luz verde; LA) luz azul; LR): luz roja.



En la Figura 2 se muestra el crecimiento de plántulas durante 15 días, donde se observa que la luz verde, fluorescente y azul tienen un comportamiento parecido en la inducción al crecimiento de maíz, sin embargo la luz verde influye directamente en la elongación de tallo, comparado al resto de los tratamientos. Bures *et al.* (2018) afirman que la luz verde guía el crecimiento de las plantas y promueve la formación de pecíolos y entrenudos largos.

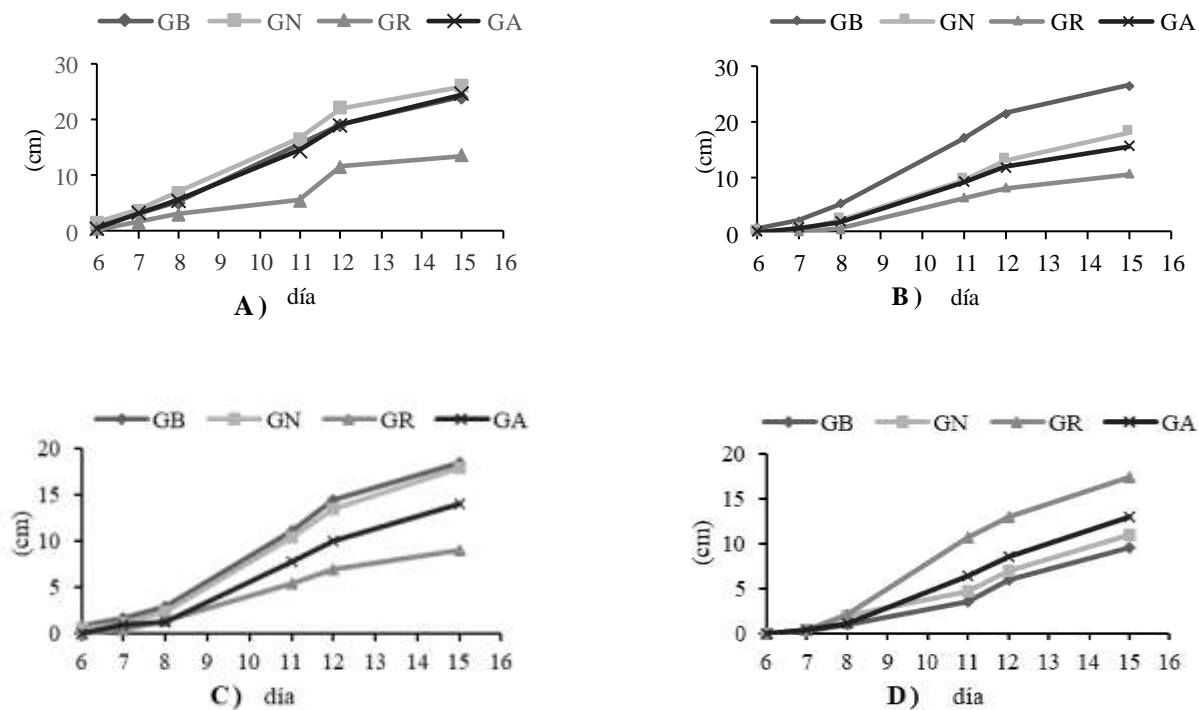


Figura 2. Crecimiento diario del tallo de cada genotipo de maíz ante los cuatro tratamientos LED por 15 días. Genotipos GB: blanco; GN: negro; GR: rojo y GA: azul. LED A): blanco; B) verde; C) azul y D) rojo.

El Cuadro 1 se muestra el análisis de varianza de las variables fisiológicas de acuerdo a las fuentes de variación de maíz, en Gen (genotipo), LED e interacción Gen * LED. Los datos indican diferencias altamente significativas por Gen en A, MFR, MFA y AF, resultados similares fueron reportados por Murillo *et al.* (2016) en plántulas de *Laelia autumnalis*. También se encontraron diferencias significativas en DT, VR, MSR, MSA, RVR. El análisis para los LED, mostró valores altamente significativos en MSA, MSR y AF; y significativos en DT, MFR, RVR. Las variables en el análisis de



varianza de interacción Gen * LED solo mostraron valores significativos en DT, MFA y AF; hecho que demuestra que no existe interacciones de efecto aditivo entre estas fuentes de variación.

Cuadro 1. Análisis de varianza y cuadrados medios de interacción entre luces LED y maíces.

Variable	Media	CM [†]			Error	R ²	CV [‡]
		Gen	Luz	Gen*Luz			
A	7.93	28.62 **	1.8 ns	1.90 ns	1.49	0.69	15.42
DT	2.58	0.90 *	0.98 *	0.39 *	0.19	0.59	17.16
LR	21.42	9.89 ns	142.78 ns	58.78 ns	71.54	0.35	39.47
VR	1.20	1.13 *	0.41 ns	0.09 ns	0.28	0.38	43.97
MFR	1.39	2.56 **	0.99 *	0.29 ns	0.21	0.66	32.94
MFA	0.81	0.87 **	0.08 ns	0.13 *	0.07	0.63	33.01
MSR	0.23	0.04 *	0.18 **	0.014 ns	0.021	0.75	33.80
MSA	0.06	0.002 *	0.008 **	0.0001 ns	0.0003	0.75	28.82
AF	2.42	3.78 **	2.49 **	0.51 *	0.24	0.75	20.23

CM[†]: cuadrados medios; CV[‡]: coeficiente de variación; R²: Coeficiente de determinación; Gen: genotipo; *: significativo (p<0.0005); **: altamente significativo (p<.0001); ns: no significativo al (p ≤ 0.5). A: altura; DT: diámetro del tallo; LR: longitud de radícula; VR: volumen de radícula; MFR: masa fresca de raíz; MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar; MSR: masa seca raíz; MSA: masa seca aérea.

En el Cuadro 2 se muestra que GB obtuvo respuesta fisiológica en: DT, LR, VR, MFR, MFA, AF, seguido del GN el cual tiene un mejor desarrollo en la variable A, a su vez indica que el comportamiento positivo al incrementar sus valores promedio en las variables DT, LR, VR y AF. Esto fue de acuerdo a respuestas observadas por Blanco *et al.* (2015), quienes indican que un cultivo puede continuar su desarrollo vegetativo como alargamiento del tallo o raíz cuando las condiciones son óptimas y existe una baja producción de etileno. El GR desarrolló favorablemente la longitud radicular pero no mostró crecimiento al resto de las variables; el GA no desarrollo adecuadamente la mayoría de las variables, unicamente incremento el tamaño de la radícula y masa seca radicular.

El Cuadro 3 se muestra que la LV estimuló las variables A y LR debido a que este espectro penetra a través del dosel vegetal. Sin embargo, la luz verde contiene información valiosa sobre el entorno de la planta, guiando así el hábito de crecimiento de la misma; en trabajos previos se ha documentado que las plantas cultivadas bajo la luz verde tienen pecíolos, entrenudos y hojas alargadas (Smith *et al.*, 2017).



Cuadro 2. Análisis del desarrollo morfológico de acuerdo al genotipo, por comparación múltiple de medias por Tukey ($p \leq 0.5$).

Genotipos	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF	MSR	MSA
GB	7.87 b	2.96 a	21.79 a	1.60 a	2 a	1.17 a	3.14 a	0.39 a	0.09 a
GN	9.69 a	2.61 ab	24.56 a	1.27ab	1.41b	0.86 b	2.59 a	0.22 b	0.73 b
GR	8.24 b	2.35 b	17.82 a	0.89 b	0.88c	0.54 bc	1.94 b	0.089 c	0.03 c
GA	5.94 c	2.42 b	21.51 a	1.05 b	1.27bc	0.68 bc	2.01 b	0.23 a	0.05 b
DMS	1.35	0.49	9.35	0.58	0.50	0.29	0.54	0.102	0.020

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$). A: altura; DT: diámetro del tallo; LR: longitud de radícula; VR: volumen de radícula; MFR: masa fresca de raíz; MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar. MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar; MSR: masa seca raíz; MSA: masa seca aérea; RVR: relación vástago raíz; GB: maíz blanco; GN: maíz negro; GR: maíz rojo; GA: maíz azul.

Cuadro 3. Comparación múltiple de medias por Tukey ($p \leq 0.5$) sobre la influencia LED.

LED	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF	MSR	MSA
LF	7.83 a	2.93 a	24.66 a	1.01 a	1.10 b	2.60 a	3.14 a	0.17 c	0.07 a
LA	7.42 a	2.30 b	21.69 a	1.45 a	1.71 a	2.74 a	2.59 a	0.18 bc	0.07 ab
LR	8.17 a	2.41 b	16.59 a	1.20 a	1.55 ab	1.74 b	1.94 b	0.29 a	0.06 ab
LV	8.31 a	2.70 ab	22.75 a	1.14 a	1.20 b	2.59 a	2.01 b	0.18 bc	0.04 b
DMS	1.35	0.49	9.3	0.58	0.50	0.54	0.54	0.10	0.03

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$). A: altura; DT: diámetro del tallo; LR: longitud de radícula; VR: volumen de radícula; MFR: masa fresca de raíz; MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar. MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar; MSR: masa seca raíz; MSA: masa seca aérea; LF: luz fluorescente; LA: luz azul; LR: luz roja; LV: luz verde.

Se mostró que LA y LR estimulan el crecimiento vegetativo en raíz y área foliar. Las luces azul y roja, de acuerdo con Massa *et al.*, (2008), funcionan como una interacción sinérgica entre criptocromos y fitocromos, fotorreceptores del azul y rojo, respectivamente. Es de esta manera que estos pigmentos pueden ser responsables de la percepción y activación del proceso de rizogénesis y crecimiento vegetal; efecto que nos hace pensar en una hipótesis no comprobada del efecto por el aprovechamiento de luz es la producción de hormonas con efectos específicos en la elongación, división y enraizamiento celular.



La luz roja a pesar de no mostrar un desarrollo vegetativo, obtuvo una formación de materia seca de raíz. Este efecto Lee *et al.* (2011) ya lo habían documentado para plántulas de *Papiliopedilum* donde al contrario el LED blanco mostró efectos en la formación de materia seca aérea.

En base al Cuadro 4, se obtuvo que la elongación del tallo tuvo mayor altura en el LED rojo para los genotipos GB, GN y GA, mostrando un efecto de etiolación, debido a que los tejidos no mostraron lignificación ni firmeza. El efecto de promover el alargamiento del tallo también ha sido ampliamente documentado para el caso del LED rojo por Kurilčik *et al.* (2008), sin embargo, no se conocía el efecto para el caso del LED verde, ya que mostraron efecto de incremento porcentual del 10% respecto al LED blanco y azul.

Cuadro 4. Comparación de medias entre cuatro genotipos de maíz ante los LED.

Gen	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF
LF							
GB	9.50 abc	3.93 a	28.00 a	1.60 a	1.73 abc	1.51 a	3.76 a
GN	8.16 abcd	2.50 b	25.50 a	0.76 a	0.76 c	0.61 b	2.36 abcd
GR	6.00 cd	16.66 e	25.50 a	0.76 a	0.76 c	0.61 b	2.65 abcd
GA	7.66 abcd	2.83 ab	19.66 a	0.93 a	1.17 abc	0.82 ab	1.93 bcde
LR							
GB	10.03 ab	2.73 ab	14.66 a	1.53 a	2.29 ab	0.97 ab	2.34 abcde
GN	8.33 abcd	2.80 ab	20.26 a	1.40 a	1.92 abc	1.00 ab	2.21 bcde
GR	5.08 cd	1.96 b	10.43 a	0.73 a	0.58 c	0.35 b	0.88 e
GA	8.50 abcd	2.16 b	19.66 a	1.13 a	1.42 abc	0.47 b	1.54 de
LA							
GB	10.40 a	2.30 b	17.66 a	1.83 a	2.46 a	1.11 ab	3.40 ab
GN	7.63 abcd	2.26 b	25.66 a	1.50 a	1.44 abc	0.74 ab	2.76 abcd
GR	5.50 d	2.33 b	16.36 a	1.26 a	1.44 abc	0.74 ab	2.76 abcd
GA	6.16 cd	2.30 b	27.06 a	1.23a	1.51 abc	0.60 b	2.05 bcde
LV							
GB	8.83 abcd	2.90 ab	26.83 a	1.43 a	1.52 abc	1.08 ab	3.05 abc
GN	8.83 abcd	2.90 ab	26.83 a	1.43 a	1.52 abc	1.08 ab	3.05 abc



Gen	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF
GR	6.43 bcd	2.63 ab	19.00 a	0.80 a	0.76 c	0.46 b	1.75 cde
GA	9.16 abcd	2.40 b	18.33 a	0.90 a	0.99 bc	0.82 ab	2.53 abcd
DMS	1.35	0.49	9.35	0.58	0.50	0.29	0.54

DMS*: diferencia mínima significativa; Valores con diferente letra entre columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.5$); A: altura; DT: diámetro del tallo; LR: longitud de radícula; VR: volumen de radícula; MFR: masa fresca de raíz; MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar; GB: maíz blanco; GN: maíz negro; GR: maíz rojo; GA: maíz azul; LF: luz fluorescente; LA: luz azul; LR: luz roja; LV: luz verde.

En la determinación de efectos asociados a la interacción entre genotipos y luz LED, se obtuvo que para variables asociadas al desarrollo radicular, el LED azul mostró incrementos de un 15% respecto a las medias obtenidas para los LED blanco, rojo y verde. Los genotipos GN, GR y GA mostrarán una respuesta fisiológica de aumento en VR y MFR, sin embargo, estos valores no se relacionaron al aumento de la longitud de la raíz, por lo que se infiere que la cantidad de carbohidratos producidos en la parte aérea se aprovechan en la zona radicular incrementando la exploración de las raíces y volumen de las mismas.

Para las variables DT, MFA y AF no se relacionan efectos específicos para la interacción Gen*LED, sin embargo, se observó que en GN y GA, mostraron un incremento de un 10% respecto a las medias obtenidas para AF en LED azul y verde, asociado a la A obtenida en mismos espectros. Lo anterior puede ser relacionado al color de la semilla, debido a que los pigmentos oscuros captan en mayor cantidad fotones a través del ambiente, promoviendo el desarrollo vegetativo.

De acuerdo al Cuadro 5 la altura está relacionada con el diámetro de tallo, longitud de radícula, volumen de radícula, masa aérea y de raíz y área foliar, indicando que al tener un aumento en altura repercute en las demás variables, lo mismo que indica que el crecimiento de la planta es proporcional. Asociando los comportamientos, se demuestra que al tener un aumento de tamaño en la radícula se incrementa el tamaño de las hojas, altura, diámetro del tallo de forma proporcional (Bartoletti, 2016).

Cuadro 5. Asociación de variables fisiológicas por el método de Pearson.

i/j	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF
A	1	0.99	0.99	0.10	0.01	1.00	
DT		0.99	0.97	0.05	0.005	0.99	
LR			0.51	0.004	0.0004	0.80	



i/j	A	DT	LR	VR	MFR	MFA	AF
VR					0.70	0.19	1.00
MFR						0.99	0.41
MFA							0.07
AF							

A: altura; DT: diámetro del tallo; LR: longitud de radícula; VR: volumen de radícula; MFR: masa fresca de raíz; MFA: masa fresca aérea; AF: área foliar.

Conclusiones

1. La exposición de plántulas de maíz en espectros de iluminación artificial ha sido favorable para el desarrollo vegetativo, además de que nos permite estudiar y estimular procesos específicos en etapas tempranas como germinación y desarrollo.
2. La mejor luz para la germinación de semillas son las luces LED fluorescente y verde.
3. Para un desarrollo fisiológico, las luces que estimulan el crecimiento vegetativo son las LED roja y azul.
4. La LED azul estimula la materia seca y fresca aérea, mientras que la luz roja estimula la materia fresca y seca de raíz.
5. Para inducir a la elongación de las plantas y producir rizogénesis es recomendado del uso de la luz LED verde.

Literatura Citada

Bartoletti S. 2016. Raíz, tallo y las hojas: el cuerpo vegetal primario. In Estructura de las Plantas (p. 32)
 Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Libros/2011/bot/4.pdf>

Blanco Y., Afifi M. y C. Swanton. 2015. Efecto de la calidad de la luz en el cultivo del maíz: una herramienta para el manejo de plantas arvenses. Cultivos Tropicales 36(2): 62–71.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258_59362015000200009.



- Bures, S., M. U. Gavilán y S. Kotiranta. 2018. Iluminación artificial en agricultura 2018. <http://www.bibliotecahorticultura.com>
- Dado R. G. 1999. Nutritional benefits of specialty corn grain hybrids in dairy diets. *Journal of Animal Science* 77(2):197–207. https://doi.org/10.2527/1999.77suppl_2197x
- Ding Y., S. He, S. Teixeira, G. Li y M. Tanaka. 2010. Effects of a new light source (cold cathode fluorescent lamps) on the growth of tree peony plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae* 125(2):167–169. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.03.019>
- Johkan M., K. Shoji, F. Goto, S. Hahida y T. Yoshihara. 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany* 75:128–133. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>
- Kurilčik A., C. R. Miklušytė, S. Dapkūnienė, S. Žilinskaitė, G. Kurilčik, G. Tamulaitis y A. Žukauskas. 2008. *In vitro* culture of Chrysanthemum plantlets using light-emitting diodes. *Central European Journal of Biology* 3(2):161–1673. <https://doi:10.2478/s11535-008-0006-9>
- Lee Y. I., W. Fang y C. Chen. 2011. Effect of six different LED light qualities on the seedling growth of *Paphiopedilum* orchid *in vitro*. *Acta Horticulturae* 907:389–392. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2011.907.65>
- Massa K. W. y Mitchell. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *HortScience* 43(7):1951–1956. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.1951>
- Murillo T. M. M., M. E. Pedraza S., N. Gutiérrez R., M. M. Rodríguez de las N., P. Lobit y Martínez A. P. 2016. Calidad de luz LED y desarrollo *in vitro* de *Oncidium tigrinum* y *Laelia autumnalis* (*Orchidaceae*). *Agrociencia* 50(8):1065–1080. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140531952016000801065&lng=es&nrm=iso&tlng=es



OCDE-FAO (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Perspectivas Agrícolas) 2014-2023. 2014. OECD Publishing. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2014-es

Ramos G. Y. and Ramírez, L. E. 2016. Development of an artificial LED lighting system for indoor farming. *Informador Técnico* 80(2):111–120. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5767285>

SAS. Artificial Intelligence and Data (SAS 9.4) [Software] 2014. Retrieved from: <https://support.sas.com/software/94/>

Shiferaw B., B. M. Prasanna, J. Hellin y M. Bänziger. 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *In: Food Security*. Vol. 3, Issue 3, pp. 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>



PRODUCCIÓN DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CON USO DE VITAMINA B2 (RIBOFLAVINA) EN CONDICIONES PERIURBANAS

Joshua Nasir Aburto Tejeda¹⁰¹, Marycruz Abato Zárate¹⁰¹, Doris Guadalupe Castillo Rocha¹⁰¹, Noel Reyes Pérez^{101*} y Luz Amelia Sánchez Landero¹⁰¹

Resumen

Al planear y diseñar la agricultura urbana y periurbana, es importante considerar el espacio disponible, el clima y estado del tiempo, además de seleccionar especies con buen contenido nutricional y prever el tiempo de espera de la siembra a la cosecha. Dentro de las leguminosas, el frijol aporta carbohidratos y vitaminas como el complejo B, tiamina, riboflavina, ácido fólico, es fuente importante de hierro (Fe), magnesio (Mg), potasio (K), zinc (Zn), calcio (Ca), fósforo (P), y nitrógeno (N); además en México, el frijol es un producto estratégico por su capacidad de crecer en suelos áridos, de escasa fertilidad, derivado de su capacidad para establecer asociaciones simbióticas con bacterias del suelo. En este trabajo se evaluó el efecto de la riboflavina en la producción de frijol, pues se conoce su capacidad para estimular la formación de nódulos en las raíces y mejorar la nutrición y producción de las plantas. Para lo anterior, durante el periodo primavera 2022, se estableció una parcela experimental con frijol en el municipio de San Andrés Tlalnelhuayocan contando con 4 tratamientos (0, 15, 20 y 25 mL de riboflavina) y diez repeticiones por tratamiento. Se evaluó el crecimiento y desarrollo del frijol, desde la germinación hasta la producción. Para el análisis de los datos se empleó el paquete estadístico minitab® versión 14 con 95% de significancia. De acuerdo con el análisis de resultados, no existieron diferencias significativas entre tratamientos para casi todas las variables evaluadas (incremento en altura, ganancia en número de hojas, número de vainas y peso de la semilla), pero si se observaron diferencias significativas para el número de nódulos, resultando los mejores tratamientos la aplicación de 20 y 25 mL de riboflavina a diferencia del testigo y 15 mL que resultaron estadísticamente similares. Sin embargo, a pesar de obtener un mayor número de nódulos, no se logró incrementar el rendimiento.

Palabras clave: nutrición, nódulos, rendimiento

¹⁰¹ Facultad de ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Autor por correspondencia: noreyes@uv.mx



Introducción

El frijol está considerado en México como un alimento básico y estratégico (FAO, 2019), derivado de su aporte nutricional y de que se cultiva en todo el territorio nacional (Ayala-Garay, *et al.*, 2021) pues puede crecer en suelos áridos, de escasa fertilidad, debido a su capacidad para establecer asociaciones simbióticas con bacterias del suelo. Sin embargo, a pesar de ser el frijol una buena fuente de nutrientes se observa en la población mexicana una disminución en su consumo (FAO, 2019). Veracruz es considerado dentro de los 10 estados con mayor población en estado de pobreza (CONEVAL, 2020), motivo por el cual se considera importante promover la producción de frijol por su valor nutricional. Las leguminosas tienen la capacidad de liberar riboflavinas y aumentar la incidencia de nódulos de bacterias y de esta forma poder fijar el nitrógeno (Isidra-Arellanos y Valés-López, 2022). La riboflavina (vitamina B2), es un precursor del lumicromo, cuya actividad en las raíces incrementa la respiración celular, y la incidencia de nódulos (CSIC, 2015). El objetivo de este trabajo fue evaluar si al incorporar riboflavina en frijol se estimula la formación de nódulos en las raíces y se mejora la producción.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante la primavera del 2022, en un predio de la colonia Guadalupe Victoria, municipio de Tlalnahuayocan, Ver. Sus coordenadas son 19°32'47.1" LN y 96°58'30.73" LO, altitud de 1640 m, con 7,128 habitantes. Al municipio lo conforman 38 localidades en las cuales habitan 19, 664 personas (Gobierno del Estado de Veracruz, SEFIPLAN y CEIEG, 2022), ubicada dentro del área periurbana de Xalapa, la colonia presenta uno de los índices de crecimiento demográfico más altos (3.4%) del estado (cuya media es de 0.5%) (Plan Municipal de desarrollo del Ayuntamiento de Tlalnahuayocan, 2008). En el predio, se estableció la parcela experimental, con macetas de 1 L de capacidad, agregando suelo de la parcela (marzo de 2022) donde fue cultivado maíz. Se usó frijol de la variedad Michigan y se realizaron riegos manuales. El diseño experimental fue completamente al azar, se evaluó el desarrollo y capacidad productiva del frijol con diferentes tratamientos: frijol sin riboflavina (Testigo), frijol con 15 mL de riboflavina, frijol con 20 mL de riboflavina y frijol con 25 mL de riboflavina. Cada tratamiento con diez repeticiones, con un total de 40



unidades experimentales o macetas con una planta de frijol cada una. La riboflavina (marca Pronat) se aplicó al momento de la siembra y después cada tres días durante 8 semanas dando un total de 18 aplicaciones. Para el cálculo de las dosis de riboflavina se aplicó la siguiente fórmula: $M = \frac{(M) (PM)}{V}$, donde: M= masa de soluto expresada en gramos, PM= peso molar de la vitamina B2 (riboflavina), V= el volumen o tamaño de la maceta. $M = (0.05 \text{ g}) (376) (1 \text{ L})$, $M = 18.9$ lo que equivale a 19 g/L. La aplicación de riboflavina se hizo con la ayuda de una jeringa de 25 mL, a todos los tratamientos según la dosis correspondiente de 0 mL, 15 mL, 20 mL, y 25 mL de la solución madre. Las aplicaciones se hicieron en la noche debido a que la riboflavina se ve afectada por la luz. Se midieron las variables: incremento en altura de planta, ganancia en número de hojas, número de vainas, peso de la semilla y el número de nódulos. El incremento en altura de planta y ganancia en número de hojas se midió cada semana, en tanto número de vainas se midió cuando se llevó a cabo este proceso y peso de semilla y número de nódulos se midieron al final extrayendo la planta. Lo anterior para comparar si existen ventajas o no al aplicar esta tecnología en condiciones periurbanas.

Resultados y Discusión

Para el análisis de los datos se empleó el paquete estadístico minitab® versión 14, con un 95% de significancia. Se realizaron Pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis para todas las variables, ya que al aplicar una prueba de normalidad se verificó que los datos no tuvieron una distribución normal. De acuerdo con los resultados no existió diferencia significativa entre tratamientos para la mayoría de las variables (Figura 1, 2, 3, 5) a excepción del número de nódulos (Figura 4), siendo los mejores tratamientos con 20 y 25 mL de riboflavina y estadísticamente diferentes al testigo y a 15 mL de riboflavina. Cabe señalar que el desarrollo del experimento se realizó en primavera, con cifras records de temperatura en la zona de estudio (marzo con Temperatura máxima promedio 25.3°C, abril con 28.46°C, mayo 30.96°C y junio 26.43°C según registros de AccuWeather), todos los meses con temperaturas por arriba de la temperatura óptima del cultivo que es de 18 a 24°C (Ortiz, 2012).

De acuerdo con la Figura 1, para el incremento en altura no existió diferencia significativa entre tratamientos. Para esta variable Lara-Capistrán *et al.*, (2019), quienes también usaron la misma variedad de frijol, indican valores en campo con *Rhizobium. etli* de 91 cm, y de 31 cm para el tratamiento testigo, similares a los datos obtenidos como tamaño final de las plantas en este estudio en



todos los tratamientos, siendo los valores promedios para el testigo de 31 cm, para 15 mL de 28.8 cm, para 20 mL de 39.9 cm y para 25 mL de 29.4 cm. Es decir, todos los tratamientos, incluyendo al testigo, se comportaron similar al testigo de Lara-Capistrán en lo relacionado a altura de la planta, denotando no actividad de los nódulos, a lo que Gómez *et al.*, 2017, comenta que no todos los aislamientos de obtenidos de nódulos pueden adaptarse a altas temperaturas.

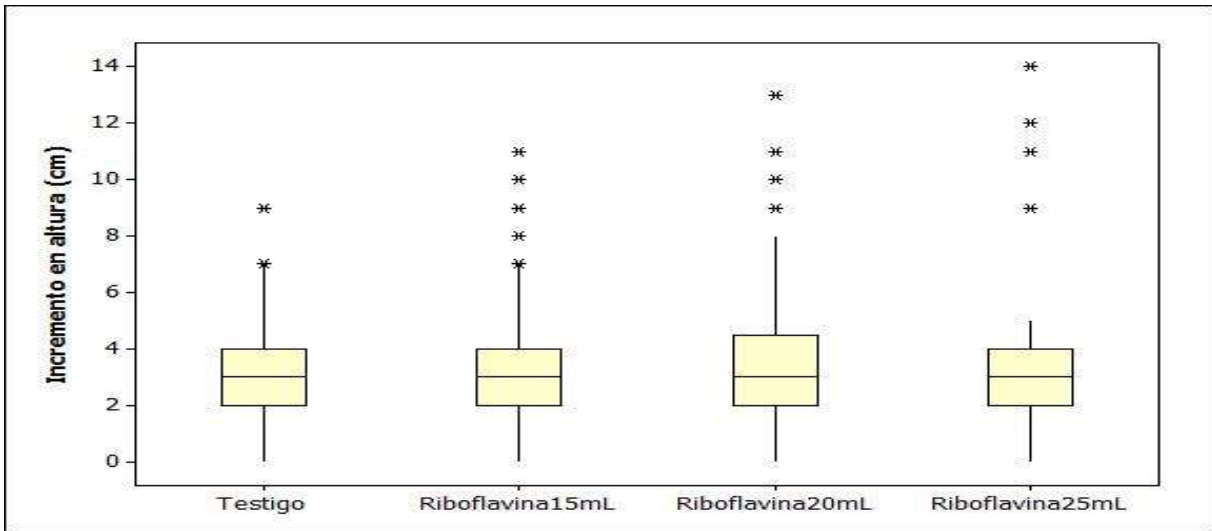


Figura 1. Variable incremento altura en frijol (cm) entre tratamientos.

De igual manera no existió diferencia significativa entre tratamientos para la variable ganancia en follaje (Figura 2); los promedios obtenidos en cuanto a número de hojas con el tratamiento 3 (con 20 mL) a través del tiempo (8 semanas) fue 28.3 hojas, a diferencia del testigo que se obtuvieron 22.1 hojas y con dosis de 25 mL disminuyó a 19.4 hojas. Para esta variable, los resultados son similares a los indicados por Lara-Capistrán *et al.*, 2019, en un estudio efectuado en campo con la aplicación de *R. etli*, donde obtuvieron 26.6 hojas totales. El no incremento en el follaje se ve reflejado en variables como número de vainas y peso de semilla.

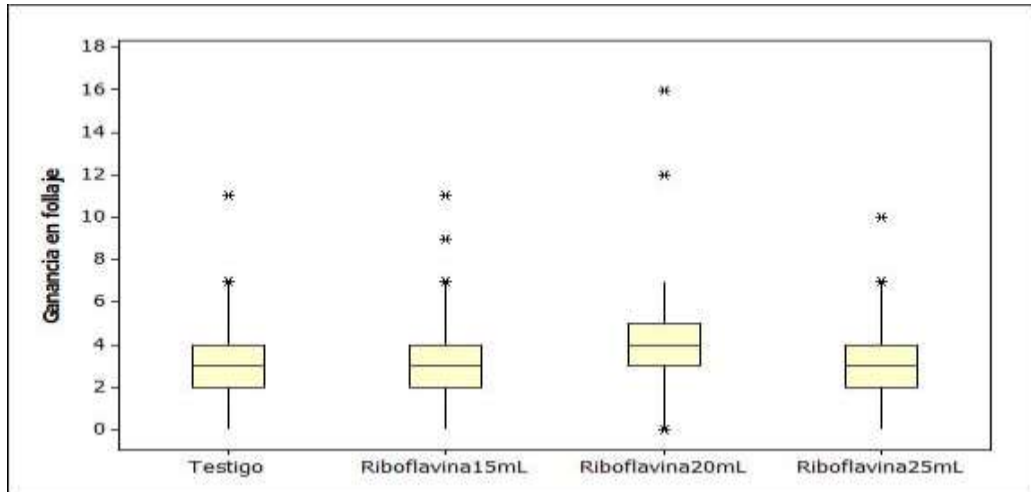


Figura 2. Variable ganancia en follaje.

Tampoco hubo diferencia significativa entre tratamientos para el número de vainas. En la Figura 3, se observa el número de vainas, el tratamiento 1 (testigo) mostró mayor número de vainas (2.7), sin embargo, el tratamiento 3 (con 20 mL) obtuvo menor número de vainas. El resultado de esta variable es afectado por el poco follaje, que a su vez pudo ser afectado por la no acción de la presencia de nódulos, posiblemente por las altas temperaturas registradas en el periodo del experimento.

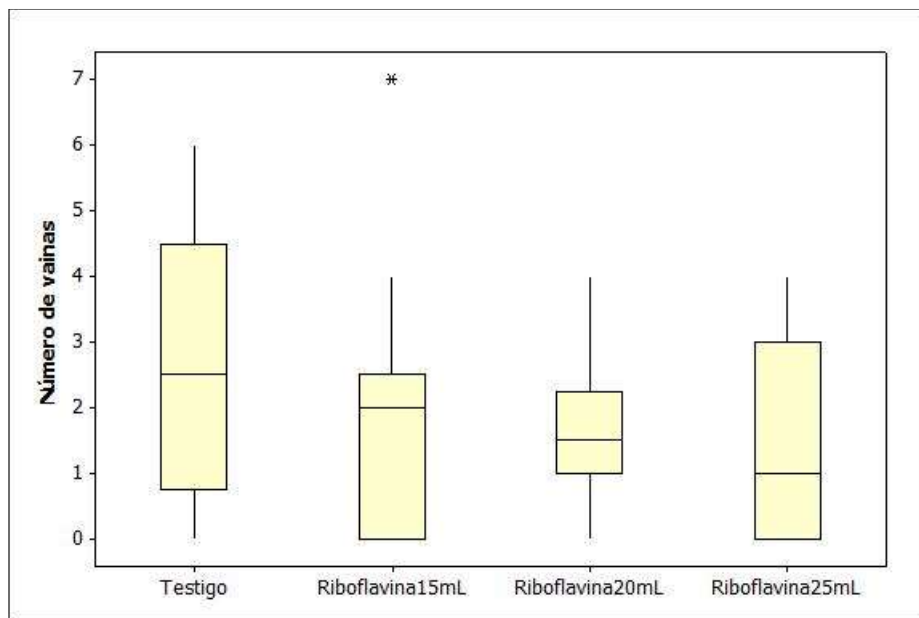


Figura 3. Variable número de vainas por tratamiento.



En la Figura 4, se muestra la respuesta de los tratamientos con la formación de nódulos. Hubo diferencia significativa, entre el tratamiento 3 (con 20 mL), con mayor promedio de nódulos (17.1) a diferencia del testigo (9.2). Estos datos son similares a los obtenidos por Lara-Capistrán *et al.*, (2019) en campo donde registraron hasta 24.13 nódulos con la aplicación de *R. etli* y en el tratamiento testigo 5.5. En este trabajo se encontraron mayor cantidad de nódulos con 20 mL, y no con la dosis mayor (25 mL), la cual podría ser un exceso y por ende implicaría mayores costos.

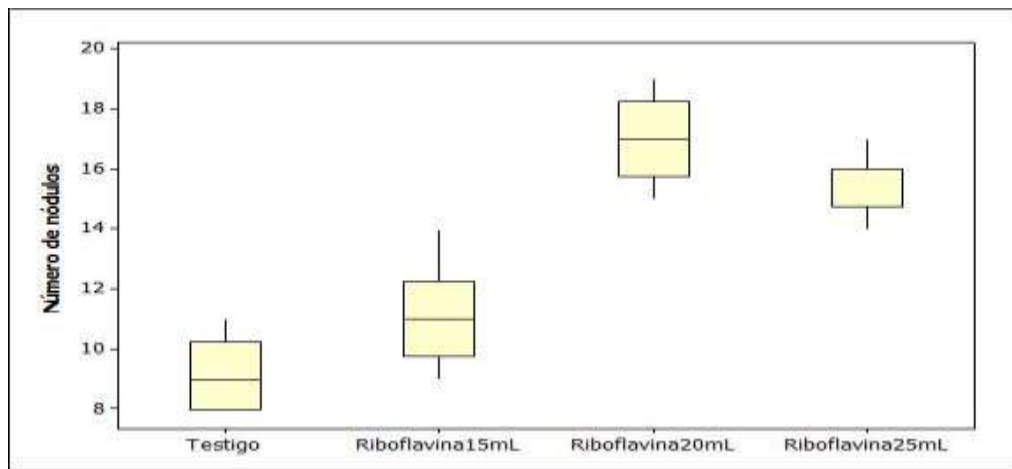


Figura 4. Variable número de nódulos.

A diferencia de la variable anterior, no existió diferencia significativa entre tratamientos para el peso de la semilla (Figura 5), lo cual es posiblemente derivado de la baja producción de follaje y de vainas. El consumo de frijol per cápita mundial es de 2.5 kg al año, y en el país de 10 kg al año (Ramírez-Jaspeado, 2020). Es decir, en México somos grandes consumidores de frijol, considerándose esencial en la dieta, por lo que mantener su producción, y que ésta sea libre de agroquímicos es importante. En nuestro país, los agricultores generan el 3.8% del volumen total de frijol a nivel mundial, que representa una producción promedio de 1.066 millones de toneladas por año (SIAP, 2020).

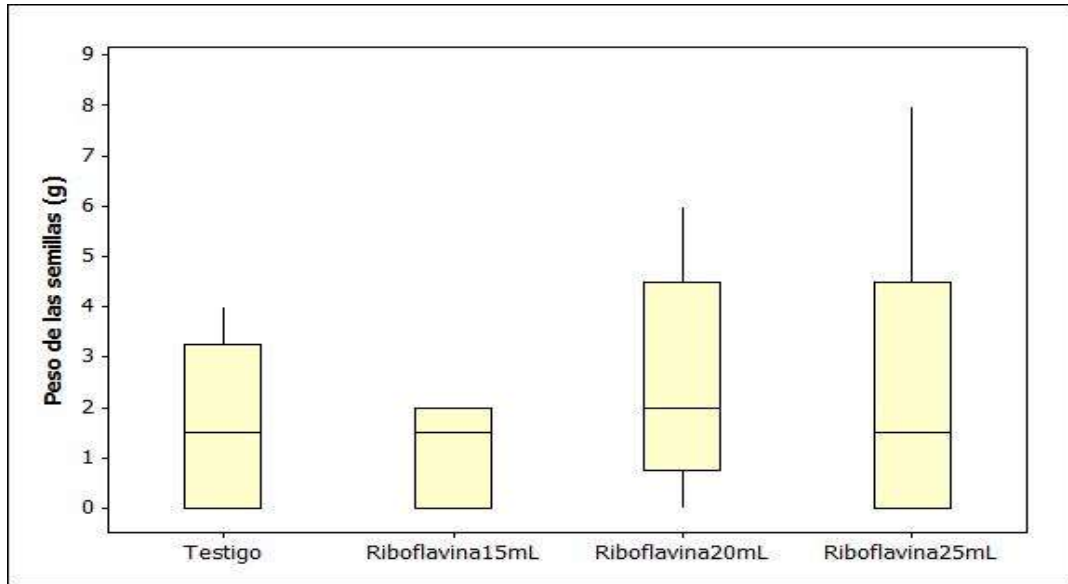


Figura 5. Variable peso de semillas en gramos.

Actualmente en México, se promueve la siembra de frijol por ser estratégico para mejorar la nutrición en la población (Ayala-Garay *et al.*, 2021). Sin embargo, aún para poder obtener una producción para autoconsumo, es necesario tener una superficie grande, y el tiempo para obtener la producción, al menos en la zona de estudio, fue de ocho semanas, a diferencia del cultivo de algunas hortalizas como lechuga, rábano, aunque estas tienen diferente aporte nutricional. Dentro de las principales limitantes para el cultivo del frijol además del tamaño de la parcela, es la disponibilidad de agua (Ayala-Garay *et al.*, 2021), la limitante para contar con lugares que tengan temperaturas óptimas para su desarrollo, que derivado del calentamiento global disminuyen en el territorio nacional y también a través de los meses, siendo más recomendable su producción a partir del mes de junio o en la temporada de lluvias.

Análisis estimado de rendimiento por ha. Se estimó con los datos obtenidos en la parcela experimental, que contó con una superficie de 3 m². Se multiplicó el número de vainas total en la parcela de todos los tratamientos. De acuerdo con la densidad recomendada por Jiménez y Acosta, 2013 (77, 500 plantas/ha) multiplicado por 3.8 g (peso promedio por vaina), es decir 294,500 g (294.5 kg) vainas por hectárea, y para el rendimiento por semillas se utiliza el promedio del peso de las semillas el cual fue de 2,025 g multiplicado por las 77,500 plantas lo cual nos da como resultado 156.937.5 g (157 kg). Los rendimientos encontrados en este trabajo, extrapolados por hectárea fueron muy menores en comparación con los de INIFAP los estimados por Jiménez y Acosta 2013 por ha (2 416 y 2 461 kg ha⁻¹) aun considerando que son dos tipos de agricultura diferentes (periurbana y



extensiva). Cabe señalar, que la variedad de este estudio es diferente, además las condiciones de producción fueron en maceta, de 1 L de capacidad y durante el periodo de primavera 2022. Entonces, ¿qué superficie se requiera para producir diez kilos de frijol en ocho semanas? La respuesta con base a los datos obtenidos es una superficie de 637 m². Por los datos obtenidos, podemos recomendar producir frijol para productores periurbanos que cuenten con suficiente superficie, para producir al menos 10 kilos de frijol al año, para lograr el consumo anual per cápita, o en 314 m² pueden producir 5 kg. Sin embargo, se debe evitar en la agricultura urbana y periurbana el monocultivo y favorecer el sistema de producción en milpa, contando con más especies de alimentos para complementar la dieta (Gérez *et al.*, 2012, Plan de desarrollo municipal Tlalnahuayocan 2022-2025). De acuerdo con Thiébaud y Velázquez, (2017) en Tlalnahuayocan, Veracruz, las características naturales de los terrenos, el difícil acceso a la tierra y la fragmentación de las parcelas (propiedad privada o ejido), dificultan la rentabilidad de la actividad agrícola, que es considerada una actividad económica complementaria en dicha población. Además, la cercanía de Xalapa y las estrategias de diversificación de las actividades parecen haber sido insuficientes, para mejorar las condiciones de vida de la mayoría de la población. Sin embargo, ha sido moderado el proceso de abandono de la actividad agrícola, pues aporta alimentos y puede así mejorar la economía familiar, produciendo principalmente maíz elotero y hortalizas. El motivo principal por el que se mantiene la actividad agrícola es porque los trabajos urbanos a los que tiene acceso esta población de origen indígena son inestables y de bajos salarios, por lo anterior, conservar las parcelas, ya sea para siembras de autoconsumo o renta es frecuente (Thiébaud y Velázquez, 2017).

Conclusiones

1. La aplicación de riboflavinas con 20 y 25 mL si aumentó el número de nódulos, pero no se observó mayor productividad en el rendimiento.
2. Los resultados de este trabajo son similares a los obtenidos con el tratamiento testigos en otro trabajo similar, lo que indicaría que si están presentes no muestran su efecto, lo cual puede ser debido a las altas temperaturas ya que no todos los aislamientos de los mismos se adaptan a estas condiciones, lo anterior derivado de que aunque aumenta el número de nódulos en un tratamiento,



las variables ligadas a una mayor producción (aumento de follaje, número de vainas y peso de semilla) no se incrementan.

3. Uno de los inconvenientes en la producción periurbana, es el tamaño de espacio disponible para la producción de alimentos; y en el caso del frijol el tiempo de producción fue de al menos 80 días y el rendimiento en la zona de estudio fue bajo por lo que se deben buscar alternativas de producción.
4. Se recomienda un experimento similar al presente con temperaturas menos altas.

Agradecimientos

Al Dr. Jacob I. Bañuelos Trejo, por todas sus enseñanzas en el módulo de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrícolas-Campus Xalapa, Ver. de la Universidad Veracruzana.

Literatura Citada

Ayala-Garay A.V., J. A. Acosta-Gallegos y L. Reyes-Muro. 2021. El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México. Libro Técnico No. 1. INIFAP. CIRC. Campo Experimental Bajío. Celaya Gto. México. 232 pp.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). 2020. Informe de pobreza y evaluación 2020. Veracruz. Ciudad de México. 117 pp.

Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC). 2015. La vitamina B2 facilita la toma de hierro por las plantas. Nota de prensa 15 de septiembre de 2015. Madrid, España. <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/>. [Consultada 16 de julio de 2023].

FAO. 2019. El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible. Ciudad de México. 68 pp.



Gérez, P., T. Fuentes, Ch. G. Vidriales, A. T. Toledo y D. K. Pérez. 2012. Características sociales y problemáticas de la subcuenca. Del paisaje natural al paisaje cultural en la subcuenca del río Pixquiac. En: Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz (Paré, L. y Gérez, P. eds). SEMARNAT. Blvd. Adolfo Ruiz Cortines 4209. Col. Jardines en la Montaña C.P. 14210. Delegación Tlalpan, México, D.F. www.semarnat.gob.mx. (INE-SEMARNAT) Periférico Sur 5000. Col. Insurgentes Cuicuilco C.P. 04530. Delegación Coyoacán, México, D.F. www.ine.gob.mx. 75-134 pp.

Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Finanzas y Planeación, Comité Estatal de Información Estadística y Geográfica de Veracruz. 2022. Cuadernillos municipales 2022, Tlalnehuayocan. En línea: http://cieig.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2022/09/tlalnehuayocan.cm_ver_2022.4.pdf. [Consultado: 18 de julio de 2023].

Gómez P. E., B. Ruiz-Díez, S. Fajardo S., B. Eichler-Loebermann, R. Samson, P. Van Damme, *et al.* 2017. Caracterización de Rizobios aislados de nódulos de frijol Caupí, en suelos salinos de Cuba. Cultivos Tropicales, vol. 38 (4), pp. 39- 49.

Isidra-Arellano, M. C. y O. Valdés-López. 2022. ¿Cómo controlan las leguminosas el número de nódulos para evitar comprometer su crecimiento y desarrollo? Revista de Educación Bioquímica (REB) 41(2):51-6.

Jiménez G. J. C. y J. A. Acosta Gallegos. 2013. Efecto de la densidad de cosecha en rendimiento de frijol Pinto Saltillo de riego en Chihuahua, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 4(2), 243-257. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200005&lng=es&tlng=es. [Consultado: 13 de julio de 2023].

Lara-Capistrán L., L. G. Hernández-Montiel, J. J. Reyes-Pérez, P. Preciado Rangel y R. Zulueta-Rodríguez. (2019). Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. Rev. Mex. Cienc. Agríc. vol. 10 (5): 1035-1046.



Ortiz G. Ma. A. 2012. Posición de las principales legumbres en México: (2000-2011). Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP). <https://ciep.mx/SO3k>. [Consultado 8 de julio de 2023].

Plan Municipal de Desarrollo. 2022-2025. Tlalnahuayocan. Gobierno del Municipio de Tlalnahuayocan., Ver. Veracruz de Ignacio de Llave. En línea: <https://tlalnahuayocan.gob.mx/>. [Consultado 12 de julio de 2023].

Ramírez-Jaspeado R., N. Palacios-Rojas, M. Nutti y S. Pérez. 2020. Estados potenciales en México para la producción y consumo de frijol. biofortificado con hierro y zinc. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 43 (1): 11 – 23.

SIAP 2020, sistema de información agropecuaria y pesquera. Cierre de la producción agrícola por estado: SIAP- SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual>. [Consultado 18 de julio de 2023].

Thiébaud, V. y E. Velázquez Hernández. 2017. Entre la agricultura y el trabajo urbano: dos estudios de caso en la periferia de Xalapa, una ciudad media del estado de Veracruz (México). *Limina R Estudios Sociales y Humanísticos*, 15(1), 142-162. <https://doi.org/10.29043/liminar.v15i1.500>.



DINÁMICA POBLACIONAL DE TALLOS DE DOS GENOTIPOS DEL GÉNERO *Panicum* EN TRES PERIODOS DE CORTE

José Manuel Castro Salas^{102*}, Alejandro Sotelo Aguilar¹⁰², Cesario Catalán Heverastico¹⁰², Claudia Carreón Corral¹⁰²,
Tania de Jesús Adame Zambrano¹⁰² y Erick Said Nava Galindo¹⁰²

Resumen

La estacionalidad y la frecuencia de cosecha tienen un efecto en la producción de materia seca y en la dinámica de tallos, por lo que influyen en el rendimiento, en la calidad y la persistencia de la pradera. El objetivo de la investigación fue evaluar el potencial productivo y dinámica de tallos de los genotipos *Panicum maximum* cv. Tanzania y *Panicum maximum* cv. Mombaza en tres periodos de corte (21, 42, y 63 días) en otoño. El trabajo se desarrolló en el Campus Tuxpan de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad autónoma de Guerrero, sus coordenadas son 18°20'57" LN; 99°28'43" LO. Las variables evaluadas se tomaron de las unidades experimentales, en cada edad de rebrote y en los dos genotipos: Antes de iniciar el análisis de dinámica poblacional de tallos, se realizó un corte de uniformidad y fueron: densidad poblacional de tallos (DPT), tasa de aparición de tallos (TAT), tasa de muerte de tallos (TMT), tasa de sobrevivencia de tallos (TST) e índice de estabilidad de tallos (IET). Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial (Factor 1: *Panicum*, Factor 2: periodos de corte). Los datos se analizaron con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS[®] versión 9.2 para Windows[®]. La comparación de medias se realizó con la prueba de "t" de "Student" (P<0.05). Las medias producidas en la dinámica de tallos por los genotipos en todas las variables de estudio no presentaron diferencias, de igual forma la interacción entre Genotipos y periodos de corte; Por el contrario, los periodos de corte afectaron a la DPT (Corte 3 y 2), TAT (Corte 1), TMT (Corte 1), TST (Corte 3 y 2) y al IET (Corte 1), en los que el periodo de corte 3 presentó los valores más altos. Con lo anterior se concluye que la aparición de tallos disminuye al aumentar los días de los periodos de corte, además no existe riesgo a que desaparezca la pradera, debido a que el IET es estable (>1.0).

¹⁰² Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. *Autor por correspondencia: jmcasalas@yahoo.com.mx



Palabras clave: Potencial productivo, alimento, índice de estabilidad

Introducción

Debido a que, en las regiones tropicales, las gramíneas son la principal fuente de alimentación para los rumiantes, es de gran interés el rendimiento y la calidad forrajera para aminorar los efectos negativos producidos por la baja productividad en los sistemas de pastoreo. Sin embargo, en estas regiones la producción del forraje y su uso se determina por las necesidades de alimentar a los rumiantes, sin considerar el momento oportuno de cosecha para su utilización (Nantes *et al.*, 2013). La ganadería ocupa el 33% de tierra cultivable en el mundo para producir forrajes. En la actualidad, el incremento de la demanda de productos pecuarios genera la expansión de área destinada a esta actividad; esto genera un impacto ambiental en el ecosistema, y se estima que el 20% de pastos y praderas en el mundo están degradados como resultado del sobrepastoreo y la acción animal (Hernández *et al.*, 2002). La especie *Panicum maximum* cv. Mombaza, es uno de los pastos más utilizados en la producción de forrajes. Se caracteriza por la formación de macollas, tallos erectos que pueden alcanzar hasta tres metros de altura, adaptación a alturas entre los 0-1500 m y precipitaciones de 1000-3500 mm. Posee tolerancia a la sombra, es ampliamente utilizado para el pastoreo o como pasto de corte y tiene una buena respuesta a la fertilización, por su alta capacidad de producción de biomasa, es una opción para mejorar la productividad de las praderas tropicales; el manejo tradicional y la falta de recomendaciones particulares para esta especie, no permite alcanzar el impacto esperado (Ramírez *et al.*, 2010). El estado de Guerrero cuenta con extensa superficie en donde se puede establecer especies forrajeras, que contribuyan a resolver el problema de alimentación para el ganado bovino en la época de sequía, en la actualidad la siembra de estas especies ha presentado diversos problemas de manejo, debido a la pobre calidad de semilla usada en la siembra expresada como baja viabilidad de la semilla, aunado a esto el mal manejo del cultivo incrementa significativamente los costos de producción por unidad de superficie (Poblete, 2003). En México y particularmente en Guerrero, existen pocos estudios relacionados con las características morfogénicas de las gramíneas forrajeras tropicales y su importancia para determinar el momento óptimo de cosecha e incrementar su eficiencia de utilización. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la dinámica de rebrote de tallos en tres intervalos de corte, en verano, del pasto *Panicum maximum* variedad Mombaza y Tanzania, en el



Campo Experimental de Tuxpan de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en otoño de 2020, en una pradera de pasto *Panicum máximum* cv. Mombaza y *Panicum máximum* cv. Tanzania, establecidos en junio de 2017 y ubicado en los terrenos del Campus Tuxpan de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, de la Universidad autónoma de Guerrero, localizada en el Km. 2.5 de la carretera Iguala-Tuxpan, sus coordenadas son 18°20'57" LN; 99°28'43" LO y una altitud de 757 m. La región pertenece al clima Awo (w) (i') g, es decir el más seco de los cálidos sub-húmedos, con una precipitación pluvial en verano, de 977 mm en promedio por año; la temperatura promedio es de 25.7°C, el mes más frío es enero con una media de 22°C en promedio. Suelos poco profundos, y un pH medianamente alcalino; La fertilidad natural baja, contenido de materia orgánica pobre, ocasionando por lo tanto baja retención de humedad. Los genotipos se sembraron de manera manual en junio de 2017, la densidad de siembra fue de 5 kg/ha, con separación de 50 cm entre surcos y plantas. Se fertilizó con 100 kg de N/ha y 50 kg de P/ha. Los tratamientos consistieron en tres edades de rebrote o corte (ER): 21, 42, y 63 días. El tamaño de la unidad experimental fue de 4 x 10 m (40 m²), con cuatro repeticiones.

Medición de variables. En las unidades experimentales, en cada edad de rebrote y en los dos genotipos, se evaluaron las variables: Antes de iniciar el análisis de dinámica poblacional de tallos, se realizó un corte de uniformidad (7 de septiembre de 2020).



Figura 1. Corte de uniformidad de cada genotipo con sus respectivas repeticiones.

Después a los 21, 42, y 63 días se determinó la aparición y muerte de tallos, al inicio de los análisis de crecimiento, en la parte central de las unidades experimentales, se marcó un área de 1 m², en ésta se registró el número de plantas y se seleccionó una planta representativa (altura promedio de plantas) de la unidad experimental, en la que se marcaron los tallos vivos, con anillos de cobre de un mismo color, y fueron considerados como población inicial.



Figura 2. Anillado y clasificación de tallos para conteo de los genotipos *Panicum maximum* cv. Tanzania y *Panicum maximum* cv. Mombaza en tres periodos de corte (21, 42, y 63 días) en otoño.



Posteriormente, cada tres semanas y de acuerdo con las edades de rebrote en cada análisis, los tallos nuevos fueron marcados con anillos de cobre de diferente color para cada generación, a los tallos muertos después de contarlos se les retiro el anillo. Estos valores se multiplicaron por el número de plantas existentes en el área (1 m^2) de la unidad experimental, con estos datos se adquirió: la densidad poblacional de tallos (DPT; Tallos m^{-2}) y las respectivas tasas de aparición de tallos (TAT) y muerte (TMT) (tallos $100 \text{ tallos}^{-1} \text{ corte}^{-1}$) mediante la metodología usada por Zanine *et al.*, (2013).

Los valores de aparición y muerte de tallos se multiplicaron por el número de plantas (m^2) con estos datos se estimó: la densidad poblacional de tallos (DPT; tallos m^2) y sus respectivas tasas semanales de aparición (TAT) y muerte (TMT) (tallos 100 tallos^{-1}), mediante la metodología descrita por Carvalho *et al.* (2000).

La tasa de sobrevivencia de tallos (TST) se obtuvo de manera indirecta mediante la ecuación:

$$\text{TST} = 100 - \text{TMT}$$

Para calcular el índice de estabilidad de la población de tallos, se utilizó la ecuación propuesta por Bahmani *et al.* (2003).

$$P_f/P_i = \text{TSP} (1 + \text{TAP})$$

Dónde: P_f/P_i corresponde a la población actual o final de tallos (P_f), expresada como proporción de la población original o inicial de tallos (P_i) para un determinado período. TSP y TAT corresponden respectivamente a la tasa de sobrevivencia y tasa de aparición de tallos para la misma edad de rebrote.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial donde el Factor 1 fueron los genotipos y el Factor 2, las edades de rebrote.

Análisis estadístico. Para determinar los efectos de las fuentes de variación, se analizaron en conjunto los datos de los genotipos con el paquete estadístico SAS[®] (SAS, 2009), versión 9.2 para Windows[®]. A todo el conjunto de datos de cada una de las variables de estudio en los genotipos con cada edad de rebrote (21, 42, y 63 días). Se les aplico el análisis de varianza y la prueba múltiple de medias de Tukey.



Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de varianza aplicado a las variables de la dinámica de tallos se presentan en el Cuadro 1, en él se presenta la variable densidad poblacional de tallos (DPT) y muestra que las medias producidas por los genotipos y por la interacción de genotipos con periodos de corte muestran diferencias no significativas, de manera diferente los periodos de corte muestran diferencias altamente significativas, el coeficiente de variación es 3.85 y el coeficiente de determinación indica que el 97.15% corresponde a los factores controlados en el estudio, el restante 2.45% corresponde a la influencia de los factores no controlados en este trabajo. Las medias con mayor densidad de tallos se registraron en los cortes 3 y 2 de acuerdo con Tukey estos cortes pertenecen al mismo grupo y son mayores al corte 1, estos resultados son diferente a los obtenidos por Carreón (2018) ya que en su investigación reporta que la densidad presentada en los tres cortes no mostró diferencia entre sus medias, por otra parte Valdez (2019) reporta resultados de densidad similar al presente trabajo ya que también sus medias de densidad más altas se presentaron en los cortes 3 y 2. Difante *et al.* (2011) reportan menor densidad de tallos ($50 \text{ tallos mata}^{-1}$) en un periodo de 40 días de recuperación después del corte, Hernández *et al.*, 2002 indican que una alta temperatura ambiental y mayor tiempo de fotoperiodo favorecen el crecimiento y maduración de tallos de algunas gramíneas tropicales; lo que podría explicar el mayor aporte de tallos en el periodo de corte 1 en comparación con los periodos de corte 2 y 3.

Cuadro 1. Fuentes de variación, significancia experimental, coeficiente de determinación y coeficiente de variación de las variables de estudio de la dinámica de tallos.

Variable de estudio	Fuentes de variación	Significancia experimental	Coeficiente de determinación	Coeficiente de variación
DPT	Genotipo	0.5992 NS	0.9715	3.85
	PC	0.0002 **		
	Genotipos-PC	0.1465 NS		
TAT	Genotipo	0.2293NS	0.9685	30.96
	PC	<.0001 **		
	Genotipos-PC	0.1755 NS		
TMT	Genotipo	0.2606 NS	0.7568	67.46



Variable de estudio	Fuentes de variación	Significancia experimental	Coefficiente de determinación	Coefficiente de variación
	PC	0.0006 **		
	Genotipos-PC	0.3124 NS		
	Genotipo	0.2606 NS		
TST	PC	0.0006 **	0.7568	4.63
	Genotipos -PC	0.3124 NS		
	Genotipo	0.4106 NS		
IET	PC	<.0001 **	0.9591	13.08
	Genotipos -PC	0.3413 NS		

DPT= Densidad poblacional de tallos; TAT= Tasa de aparición de tallos; TMT= Tasa de muerte de tallos; TST= Tasa de sobrevivencia de tallos; IET= Índice de estabilidad de tallos; PC= Periodo de Corte; ** = Altamente significativo; * = Significativo; NS = No significativo

Tasa de aparición de tallos

Las medias producidas con tasa de aparición de tallos (TAT), en genotipos y en la interacción entre genotipos y periodos de corte, (Cuadro 1) no presentan diferencias significativas; sin embargo, en periodos de corte muestran diferencias altamente significativas entre sus medias, el coeficiente de variación es 30.96 y el coeficiente de determinación indica que el 96.85% de los efectos producidos en los resultados corresponden a los factores controlados del estudio, el restante 3.15% corresponde a la influencia de los factores no controlados (temperatura, r radiación solar, entre otros). Los resultados de la prueba múltiple de medias para la TAT (Cuadro 2) demuestran que los cortes tres y dos fueron los que presentan menor TAT y el corte 1 presenta mayor tasa de aparición de tallos.

Cuadro 2. Prueba de comparación múltiple de medias para las variables de estudio de dinámica de tallos, en tres cortes de dos genotipos de pasto.

Cortes	DPT	TAT	TMT	TST	IET
3	715.50a	4.145b	1.513b	98.48a	1.02b
2	698.00a	14.59b	4.825b	95.17a	1.09b
1	636.50b	162.46a	12.93a	87.06b	2.49 ^a

Las variables con la misma literal no son significativamente diferentes; DPT= Densidad poblacional de tallos; TAT= Tasa de aparición de tallos; TMT= Tasa de muerte de tallos; TST= Tasa de sobrevivencia de tallos y IET= Índice de estabilidad de tallos.



Estos resultados son similares a los obtenidos por Carreón (2018), ya que reporta que en su primer corte fue mayor la TAT, pero con menor cantidad de tallos (81.87 tallos m^2) comparados con los que se reportan en este trabajo.

Tasa de muerte de tallos

La tasa de muerte de tallos (TMT), en las fuentes de variación genotipo y la interacción de ambos, produjeron medias que no son diferentes entre sí ya que mostraron resultados no significativos (NS) en cambio el periodo de corte mostró diferencias altamente significativas y el coeficiente de determinación (R^2) indica que el resultado de esta variable, el 75.68% fue influenciado por los factores controlados en este estudio, el restante 24.32% se debe a los factores no controlados. Para corroborar lo anterior se aplicó la prueba múltiple de medias, verificando que el corte 1 presentó la mayor tasa de muerte de tallos. Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Cruz et al. (2010) en el trabajo de investigación “Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo” mediante el cual se evaluaron tres fechas de cosecha (con pastoreo a los 14, 21 y 28 días) obteniendo como resultados una mayor tasa de mortalidad durante la primera fecha de corte, y posteriormente disminuye en las dos fechas de corte posteriores.

Tasa de sobrevivencia de tallos. El análisis de varianza para la variable de estudio tasa de sobrevivencia de tallos (TST), (cuadro 1), señala que las medias generadas por el periodo de corte, son altamente significativas, a diferencia de las medias producidas por la interacción del periodo de corte con los genotipos y los genotipos son no significativos, desde otra perspectiva el coeficiente de variación (4.63) manifiesta que la variabilidad es baja y el coeficiente de determinación (0.7568) decreta que el 75.68% se debe a los factores controlados durante el desarrollo del trabajo de investigación, el sobrante 24.32% se basa en los factores no controlados. La sobrevivencia de tallos fue mayor en el segundo y tercer corte y el que presentó menor TST fue el corte uno. Por otra parte, se obtuvieron resultados distintos por Ramírez *et al.* (2011) en su trabajo de investigación “Rebrote y estabilidad de la población de tallos en el pasto *Panicum maximum* cv. Mombaza cosechado en diferentes intervalos de corte” en donde evaluó tres intervalos de cortes (3, 5 y 7 semanas) en el cual resultó que el primer y segundo intervalo de corte fueron superiores al tercero con mayor tasa de sobrevivencia de tallos.

Índice de estabilidad de tallos

Las medias producidas por los genotipos y por la interacción de genotipos con periodos de corte, en el índice de estabilidad de tallos (IET) mostraron diferencias no significativas (NS), por el contrario, en



periodo de corte las diferencias fueron altamente significativas, el coeficiente de variación fue de 13.08, y el coeficiente de determinación indica que el 95.91% de los resultados obtenidos se debe a la influencia de los factores controlados por este estudio mientras que el 4.09% restante se debe a la influencia de los factores no controlados. En el Cuadro 2 se observa que el periodo de corte uno fue el que presentó mayor índice de estabilidad de tallos (IET). En el trabajo de investigación por Carreón (2018) y Valdez (2019) obtuvieron los mismos resultados al señalar que durante el primer periodo de corte se alcanza el mayor índice de estabilidad de tallos con un 128% y 144% superior al segundo y tercer periodo de corte respectivamente.

Conclusiones

1. En la dinámica poblacional de tallos, la tasa de aparición de tallos disminuye conforme aumenta el número de días de los periodos de corte.
2. No existe riesgo o tendencia a la desaparición de la pradera formada por los genotipos evaluados, ya que en todos los periodos de corte existe un índice de estabilidad de tallos aceptable (>1.0).
3. La dinámica de tallos en esta investigación para los genotipos Mombaza y Tanzania es igual ya que la tasa de aparición, de muerte y sobrevivencia de tallos, así como el índice de estabilidad de tallos no fueron diferentes.

Literatura Citada

Bahmani I., Thom E. R., Matthew C., Hooper R. J., Lemaire G. 2003. Tiller dynamics of perennial ryegrass cultivars derived from different New Zealand ecotypes: effects of cultivar, season, nitrogen fertilizer, and irrigation. *Aust. J. Agric. Res.*; (54) 803-817.

Carvalho B. C. A.; S. C. Da Silva; F. A. Sbrissia; M. L. F. Pinto; A. R. Carnevalli; L. J. Fagundes; S. C. G. Pedreira. 2000. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de materia seca em capim 'Tifton 85' sob pastejo. *Sci. Agric.*; 57(4): 591-600.



- Carreón, C. C. 2018. Evaluación del potencial forrajero de ecotipos de brachiarias a tres periodos de corte en Tuxpan, Guerrero. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia. 53p.
- Cruz H. A. 2010. Dinámica de crecimiento y valor nutritivo del pasto mulato, a diferente manejo de pastoreo. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad Ganadería. Campus Montecillo. Texcoco, México. 100 p.
- Difante G.S, Júnior D.N, Da Silva S.C, Euclides V.P.B, Montagner D.B, Silveira M.C.T. 2011. Características morfogênicas e estruturais do capim-marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. R Bras Zootec; 40(5): 955-963.
- Hernández G. A; Martínez H. P. A; Mena U. M; Pérez P. J; Enríquez Q. J. F. 2002. Dinámica del rebrote en pasto insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. Stapf,) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvias. Rev. Técnica Pecuaria Mex.; Vol. 40. No. 2. 193-205.
- Nantes N. N., Euclides V. P. B., Montagner D. B., Lempp B., Barbosa R. A., Gois P. O. 2013. Rendimiento de los animales y las características de los pastos de hierba Piata sometidos a diferentes intensidades de pastoreo. Investigación Agropecuaria Brasileira; 48(1): 114-121 p.
- Poblete, V. J. 2003. Efectos de tres reguladores de crecimiento sobre la productividad y calidad de semilla de pasto Mulato *Brachiaria* spp. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Instituto de Recursos Genéticos y productividad.
- Ramírez R. O; Hernández G. A; Da Silva S. C; Pérez P. J, Enríquez Q. J. F; Quero C. A. R; Herrera H. J. G; Cervantes N. A. 2010 Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Téc Pecu Méx; Vol. 47 No. 2 p 203 – 213.



Ramírez R. O; Da Silva S. C; Hernández G. A; Enríquez Q. J. F; Pérez P. J; Quero C. A. R. y Herrera H. J. G. 2011. Rebrote y estabilidad de la población de tallos en el pasto *Panicum maximum* cv. Mombaza cosechado en diferentes intervalos de corte. Rev. Fitotec. mex. 2011, Vol.34, No. 3, p. 213-220.

SAS. 2009. SAS User's Guide Statistical Analysis System (version 9.2 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc.

Valdez Delgado Raúl. 2019. Dinámica poblacional de tallos y rendimiento de dos genotipos del género brachiaria en tres periodos de corte, en Tuxpan, Guerrero, México. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala de la Independencia. 57p.

Zanine A. M; Júnior D. N; Sousa B. M. L; Silva W. L. Santos M. E. R. 2013. Tillering dynamics in guinea Grass pastures subjected to management strategies under rotational grazing. Rev. Bras. Zootec; 42 (3):155-161.



CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE SIEMBRA VERTICAL DE GENOTIPOS DE FRIJOL NEGRO EN AMBIENTE PROTEGIDO EN VERACRUZ

Juan Daniel Torres Polo¹⁰³, Ángel Capetillo Burela¹⁰⁴, Rigoberto Zetina Lezama¹⁰⁴, Marco Antonio Reynolds Chávez¹⁰⁴,
Cecilia Reyes Loyola¹⁰⁵, Martín Cadena Zapata¹⁰⁶ y Juan Antonio López López¹⁰⁶

Resumen

El cultivo de frijol es una de las principales leguminosas consumidas en México que proporciona una fuente importante de proteínas, vitaminas y minerales al ser humano; y que se ha obtenido debido al desarrollo de nuevas variedades de frijol que ha sido enfocadas principalmente a incrementar los rendimientos y tolerancia a plagas y enfermedades. Uno de los problemas que presentan los pequeños y medianos productores de frijol del país, es el desconocimiento de los avances tecnológicos desarrollados en las dependencias públicas y privadas, que permiten incrementar los rendimientos de este grano como, por ejemplo, el uso de densidades de siembra, variedades mejoradas, riego, acolchado, manejo agroecológico, entre otras. Con el objetivo de caracterizar y evaluar la producción de semilla de frijol cultivado en ambiente protegido, se evaluaron 12 variedades de frijol negro tipo Jamapa sembrada de forma vertical. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con seis tratamientos (densidades de siembra): T1=20 cm, T2=30 cm, T3= 40 cm, T4= 50 cm, T5= 60 cm y T6= 70 cm, y con tres repeticiones (Camas de siembra). Las variables evaluadas fueron unidades Spad (clorofila), altura de planta, número de vainas, número de granos por vainas, peso de grano por vainas, peso de 100 gramos, así como las variables asociadas a la planta (materia seca y pesos de rastrojo). Se encontró diferencia en dos variables asociadas al rendimiento que fueron número de granos por vaina donde los T3= 40 cm, T4= 50 cm y T6= 70 cm, fueron estadísticamente diferentes al T1=20 cm, T2=30 cm y T4= 50 cm); es decir una diferencia del 4% entre este tratamiento. En lo que respecta a la variable peso de 100 semillas, se encontró que el T3 fue estadísticamente igual a T1(20 cm separación entre

¹⁰³ Instituto Tecnológico de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

¹⁰⁴ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

¹⁰⁵ Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec, Puebla.

¹⁰⁶ Universidad Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. *Autor por correspondencia: zetina.rigoberto@inifap.gob.mx



plantas), T5(60 cm separación entre plantas) y T6 (70 cm separación entre plantas). En el resto de las variables evaluadas, asociadas a la planta, no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Se concluye que la siembra vertical establecida entre 50 a 70 cm entre plantas, es la mejor alternativa para este tipo de sistemas de producción.

Palabras Clave: Producción, rendimiento, tutoreo, distancia, manejo

Introducción

En México, el frijol negro representa un 22% de todo el frijol producido, esta leguminosa se siembra en casi todas las regiones productoras del país, aunque su mayor consumo es en el Altiplano del centro y Sureste de México (Castellanos *et al.*, 1997; Rosales *et al.*, 2003). Además, que representa gran importancia a nivel mundial, debido que se considera como una alternativa sostenible y menos costoso que la carne por ser la segunda fuente con nutrientes después de los cereales (Maphosa y Jideani, 2017).

En los estados de Veracruz y Chiapas, México, el cultivo de frijol es afectado por la incidencia de enfermedades virales, siendo el rendimiento de este cultivo muy bajo debido a que, en las zonas tropicales, la producción de frijol se ve afectada por el mosaico amarillo dorado, sequía y acidez del suelo (Tosquy *et al.*, 2022). Según Gross *et al.*, (2006), la mayoría de los productores de frijol utilizan variedades de frijol y densidades inadecuadas de siembra, que generalmente se encuentran por debajo de las recomendadas por las instituciones públicas y privadas del país; lo cual ocasiona que las plantas cuando no se conocen las densidades adecuadas y tipos de variedades, éstas al entrar en competencia se invadan entre ellas, generando daños vegetativos (quiebres, desprendimiento de hojas) y por ello bajos rendimientos.

La agricultura en ambiente protegido es aquella que se realiza bajo condiciones en las cuales el productor puede controlar algunos factores del medio ambiente, bajo este sistema especializado los productores logran productos de excelente calidad, en cualquier época del año, sin daños por factores climáticos y mucho menos por plagas y enfermedades.

La tecnología para la producción en ambiente protegido como invernaderos, casa sombra, macro túnel, entre otros están diseñadas para incrementar el rendimiento de un cultivo pero su implementación



exitosa requiere de productores o asesores con visión empresarial, con iniciativa y creatividad para adecuarla a las particulares condiciones de una localidad, del nivel de conocimiento adecuado de la técnica, es decir, bien capacitados, con el capital necesario, disponibilidad de equipo, insumos y servicios como la asesoría técnica calificada y, sobre todo, de un contexto (precio de venta, mercado, etc.) que garantice su rentabilidad económica.

Los agricultores generalmente utilizan una sola variedad de frijol local sin conocer que en el mercado e instituciones, se encuentran una gran diversidad de genotipos promisorios de frijol negro tipo Jamapa; Así mismo, también siembran su semilla en una densidad específica ya que para ellos entre más plantas se encuentren en el terreno se piensa que más grano se cosecha; por lo que la densidad de plantas de frijol según Jiménez y Acosta (2013), es uno de los factores responsables de la baja producción y rentabilidad de frijol, en el norte de México existen reportes de densidades óptimas para frijol de riego, sin embargo, los productores siguen sembrando y cosechando a una densidad muy por debajo de las recomendadas.

En este sentido, la densidad de siembra en cualquier tipo de variedades de frijol negro tipo Jamapa en ambiente protegido se encarga de proporcionar la cantidad de plantas que se establecen en una determinada área de terreno, el uso de esta técnica en los cultivos es una herramienta indispensable para el inicio de una siembra exitosa, ya que permite estimar a que distancia entre plantas se colocaran para obtener un máximo rendimiento de semilla. Hurtado *et al.*, (2018) mencionan que la densidad de siembra de cualquier variedad de frijol consiste en mejorar la distribución de las semillas en el espacio, para incrementar los rendimientos, con una densidad correcta la planta obtiene un mejor desarrollo vegetativo esto dependerá también del suelo, variedad de semilla y el ambiente agroecológico.

Como una alternativa de bajo costo y con la finalidad de aprovechar el equipamiento existente y de reactivar la economía del productor, se evaluaron 12 variedades de frijol negro “tipo Jamapa” en un bioespacio en la región Costera del Golfo de México (Región del Sotavento) Veracruz; la cual tuvo el objetivo de evaluar el comportamiento y la caracterización agronómica de 12 variedades de frijol negro en condiciones de ambiente protegido y manejados de forma vertical, con la finalidad de generar conocimiento para que en el corto plazo se pueda apoyar a los pequeños productores de frijol para incrementar el rendimientos de este cultivo de forma vertical.



Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en condiciones de ambiente protegido (casa sombra), durante los meses de agosto del 2021 a enero del 2022, en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz; dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en las coordenadas geográficas 18°56'1.8 LN" y 96° 11'35.5" LW. El clima fue tropical cálido subhúmedo, temperatura media anual de 25°C, con una precipitación de 1,293 mm al año y humedad relativa promedio de 87% (García, 2004).

El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue de bloques al azar con tres repeticiones y 12 tratamientos. Las 12 variedades de frijol evaluadas en ambiente protegido fueron: Negro Ruby, N. Veracruz, N. Huasteco-81, N. Jamapa-CECOT, N. INIFAP, N. Papaloapan, N. Tacaná, N.8025, N. Tropical, N. Verdín, N. Cotaxtla, N. Comapa y N. Medellín respectivamente; las cuales, fueron sembradas en camas a 70 cm entre surcos de acuerdo con las siguientes distancias de siembra (tratamientos): T1=20 cm, T2=30 cm, T3= 40 cm, T4= 50 cm, T5= 60 cm y T6= 70. La investigación se realizó con tres repeticiones, la cual cada repetición consistió en una cama de 18 m de longitud separadas de 1 m de ancho entre cada cama de siembra.

El manejo agronómico realizado al experimento fue el siguiente: a) Preparación del terreno: Limpieza interna de la casa sombra (bioespacio), Subsoleo y rastra del terreno a 30 cm de profundidad; b) elaboración de las tres camas con medidas de 18 m de largo y 1 m de ancho, la altura de dichas camas fue de 15 cm; c) Instalación del riego por goteo; d) Aplicación de 1.5 kg de lombricomposta por m cuadrado de cama en las tres repeticiones; e) Acolchado de camas; f) Tratamiento a la semilla con micorrizas, g) Siembra manual de 3 semillas por punto de siembra de acuerdo a los tratamientos evaluados a una profundidad de 3 cm; las cuales fueron eliminadas algunas con el fin de obtener dos plantas por punto de siembra respectivamente; h) Tutorado de las plantas de frijol, la cual consistió en colocar cañas de oate sujetadas con rafia y posteriormente los alambres de un extremo a otro, esto con el fin de tener un buen desarrollo de la planta y mejores resultados en la producción; i) Deshierbe manual el cual se realizó a los 30 días después de la siembra, una sola vez en todo el periodo productivo del cultivo, utilizando azadón y rastrillo; j) Fertilización de 40-40-40 unidades de NPK; la cual se aplicó en drench a partir de los 15 días después de la germinación y hasta el término del llenado del grano. Además de la dosis antes mencionada, se realizó la aplicación del fertilizante foliar comercial Humostar, en dosis de 2 mL por litro de agua asperjado al follaje; k) Control de plagas y



enfermedades, la cual se realizó a los 6 días de la siembra debido a la presencia de "gusano cogollero" *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidóptera: Noctuidae), y que fue controlado con aplicaciones de muralla max al 1%. En la prevención de aparición de hongos, se realizaron 2 aplicaciones en el periodo productivo del cultivo de funguicida benomilo al 1%.

Las variables evaluadas en esta investigación fueron las siguientes: a) Altura de planta. Se tomaron cinco plantas por tratamiento y repetición y se midió cada 15 días con un estadal graduado desde la base de la planta hasta la última hoja fotosintéticamente activa. B) Clorofila. Se realizó cada 10 días con un medidor portátil de clorofila denominado SPAD 502 Plus Minolta; la cual se midió en tres plantas por tratamiento y repetición en el segundo tercio de la misma. C) Numero de vainas por planta. Esta variable se realizó en la cosecha del experimento de manera manual contando el número de vainas de tres plantas por tratamiento y repetición respectivamente. D) Granos por vaina. En las tres plantas seleccionadas de cada tratamiento y repetición se contó el total de numero de granos en 10 vainas, eligiendo al azar. E) Materia seca. Esta se realizó colectando partes de tres plantas de los tratamientos y se tomó el peso en fresco y peso seco; utilizando una estufa de aire forzado a 65°C por 72 horas y hasta peso constante. F) Rendimiento. En cada unidad experimental se cosecharon tres plantas con competencia completa. La muestra colectada fue pesada en una báscula digital con precisión de 0.1 g. para obtener el rendimiento por planta y a partir de este dato se obtuvo el rendimiento por m², ajustado al 14% de humedad. G) Manejo postcosecha: Los granos pequeños, fuera de tipo, color diferente y las impurezas fueron eliminados en forma manual. Posteriormente se determinó el porcentaje de humedad del grano con un medidor portátil. H) Análisis de rentabilidad. Se realizó por componente tecnológico un análisis de beneficio/costo considerando el valor de renta por el tiempo ocupado del invernadero, los costos de producción y la depreciación del equipo basándose en la metrología establecida por el CIMMYT, (1988).

El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete estadístico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 2016); el cual se consideró exclusivamente el análisis mediante la estadística simple.



Resultados y Discusión

En el Cuadro 1, se observan los cuadrados medios y la significancia encontrada en las variables evaluadas en 12 genotipos de frijol durante el ciclo de producción otoño-invierno 2021-2022, encontrando diferencias estadísticas en las variables de altura de planta, longitud de entrenudos, producción de materia seca, vainas por planta, longitud de semilla, ancho y grosor y peso de semilla, así como en rendimiento; mientras que la variable que no mostró diferencias estadísticas significativas fue la longitud de las vainas.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística detectada de variables cuantificadas en genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

FV	GL	Altura de planta	Longitud de entrenudos	Producción de materia seca	Vainas	Longitud de vainas
					por planta	
Tratamientos	12	0.4996 **	9.8857 **	3.7654 **	72.2005 **	0.5175 ns
Bloques	2	0.0088	1.0098	2.5231	54.6133	0.067
Error	24	0.0162	1.6587	1.0745	15.8905	0.2534
Total	38					
CV (%)		6.41	12.54	13.23	16.69	5.46
		Longitud de semilla	de Ancho de semilla	de Grosor de semilla	de Peso de semilla (g)	de 100 Rendimiento de grano
Tratamientos	12	0.4582 **	0.2399 **	0.1414 **	6.4601 **	2982.172 **
Bloques	2	0.0515	0.0461	0.0843	0.8916	71.812
Error	24	0.149	0.0466	0.0458	0.439	244.091
Total	38					
CV (%)		3.73	3.37	4.5	3.07	11.51

* $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; ns = No significativo.

Lo antes encontrado se debe principalmente a que todas las variedades evaluadas tuvieron el mismo manejo agronómico desde la siembra hasta la cosecha; lo cual el efecto que se observó durante el



crecimiento y desarrollo y producción fue básicamente el potencial genético de cada variedad producido en condiciones de ambiente protegido y manejado de forma vertical. En lo que respecta a la variable peso de 100 semillas, se encontró que lo encontrado en esta investigación se relaciona con lo encontrado por (CIAT, 1987; Guzmán *et al.*, 2009) que en semilla de frijol negro Jamapa tuvieron un comportamiento de 25 gramos por cada 100 semillas ajustadas al 14% de humedad.

Por otro lado, en el Cuadro 2 se muestran los resultados de los genotipos estadísticamente superiores de acuerdo a la Diferencia Mínima Significativa (0.05) de las variables altura de planta, longitud de entrenudos, materia seca, vainas por planta y longitud de vainas respectivamente; en la cual se puede observar que las variedades de menor altura fueron la Negro Veracruz y Negro Ruby con 1.16 y 1.36 m respectivamente; mientras que las más sobresalientes en esta misma variable fueron la variedad Negro Comapa y Negro Papaloapan con 2.53 y 2.46 m de altura respectivamente. En este sentido en lo que respecta a la variable Longitud de entrenudos hubo similitud entre Negro Veracruz y Negro Rubí con 6.10 y 6.97 cm, mientras que los genotipos restantes fueron los más sobresalientes de entre el rango a partir de 10.24 a 12.32 cm, en comparación con los resultados de Materia Seca en g en donde las variedades más sobresalientes fueron Verdín, N. INIFAP, N. Tacana, N. Jamapa, N. Papaloapan y N. Comapa con los mejores pesos (8.05, 8.52, 8.70, 9.05, 9.11 y 9.73 g). En la variable número de vainas por plantas (NVP) sobresalieron las variedades Rubí, N Tropical, N Cotaxtla 91, N Papaloapan, N Comapa e INIFAP con 25.72, 26.11, 25.39, 28.05, 30.55 y 31.89, y en cuanto a longitud de vainas todas las variedades se mantuvieron sin diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 2. Características agronómicas de genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

No.	Genotipo	AP (m)	LE (cm)	MS (g)	VPP	LV (cm)
1	N Cotaxtla 91	2.17	10.27 *	6.83	25.39 *	9.33
2	N Tacaná	2.12	11.23 *	8.70 *	23.8	9.9
3	N INIFAP	2.22	10.24 *	8.52 *	31.89 *	9.24
4	N Papaloapan	2.46 *	10.85 *	9.11 *	28.05 *	9.5
5	N Comapa	2.53 *	11.06 *	9.73 *	30.55 *	9.7
6	N Huasteco 81	2.07	11.37 *	7.39	22.44	9.65



No.	Genotipo	AP (m)	LE (cm)	MS (g)	VPP	LV (cm)
7	N Veracruz	1.16	6.1	6.22	14.56	8.51
8	N Medellín	1.74	10.60 *	7.9	17.28	9.09
9	N Jamapa	1.62	9.5	9.05 *	23.06	9.28
10	N Tropical	2.03	11.79 *	6.66	26.11 *	9.22
11	N 8025	2.27	12.32 *	6.72	20.83	8.93
12	Verdín	2.1	11.23 *	8.05 *	20.8	8.58
13	Rubí	1.36	6.97	7.01	25.72 *	8.93
	Promedio	1.99	10.27	7.84	23.88	9.22
	DMS (0.05)	0.2149	2.1705	1.7469	6.7179	

* Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05). AP = Altura de planta. LE = Longitud de entrenudos. MS = Producción de materia seca. VPP = Número de vainas por planta. LV = Longitud de vainas.

Por otro lado, en el Cuadro 3, se muestran los resultados obtenidos en las variables LS = Longitud de semilla, AS = Ancho de semilla, GS = Grosor de semilla, P100S = Peso de 100 semillas, y RG = Rendimiento de grano; en el cual en lo que respecta a la variable de longitud de semilla los genotipos más sobresalientes fueron N. Comapa y N. Verdín con 10.74 y 11.32 mm, en la variable Ancho de semilla los mejores valores los obtuvieron los genotipos N. Comapa, N. 8025 y Verdín con 6.81, 6.72 y 6.91 mm respectivamente, en comparación con los valores de menor medida para los genotipos N. Huasteco 81, N. Veracruz, N. Jamapa y Rubí con 5.94, 6.1, 6.29 y 6.25 mm. En lo que respecta al Grosor de semilla se observa diferencia altamente significativa N. Cotaxtla 91, N. Tacana, N. Papaloapan, N. Comapa, N. Tropical, N. 8025 y Verdín (4.80, 4.84, 4.86, 4.98, 4.80, 4.94 y 5.12 mm) en comparación con N. INIFAP, N. Huasteco 81, N. Veracruz, N. Medellín, N. Jamapa y Rubí. En este sentido, en la Peso de 100 semillas, se encontró que el genotipo N. verdín fue el de mejor promedio en peso con 24.97 g. Finalmente en la variable Rendimiento grano, se destaca que los más sobresalientes fueron para los genotipos N. Comapa, Rubí, N. Papaloapan e INIFAP con 157.00, 163.61, 157.00 y 183.06 g por planta. En este sentido es necesario mencionar que, en un estudio realizado por Capetillo *et al.* (2021) en siembra de frijol a cielo abierto se produjeron 350 kg por hectárea ajustado al 14% de humedad y libre de granos fuera de tipo, basura y granos quebrados; lo cual, está por debajo de la media nacional que es de 1,483 kg/ha (SIAP, 2020 y 2021). Caso contrario sucedió en el rendimiento



obtenido en ambiente protegido en el cual se tuvo un rendimiento en 300 metros cuadrados de 70 kg ajustado a la humedad antes mencionada; lo cual, estimando este último rendimiento por hectárea de acuerdo con las dimensiones del bioespacio (300 m²) se estimó un rendimiento de 2.33 t/ha; sin embargo, considerando solamente el área de cultivo (150 m²) se estimó un rendimiento 4.66 t/ha.

Cuadro 3. Características y rendimiento de semilla de genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

No.	Genotipo	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)	P100S (g)	RG (g)
1	N Cotaxtla 91	10.27	6.42	4.80 *	21.97	153.11
2	N Tacaná	10.22	6.32	4.84 *	22	155.5
3	N INIFAP	9.98	6.31	4.73	20.93	183.06 *
4	N Papaloapan	10.45	6.45	4.86 *	21.77	164.11 *
5	N Comapa	10.74 *	6.81 *	4.98 *	20.67	157.00 *
6	N Huasteco 81	10.25	5.94	4.37	21	116.28
7	N Veracruz	10.01	6.01	4.46	21.47	68.39
8	N Medellín	9.75	6.34	4.47	22.13	98.45
9	N Jamapa	10.11	6.29	4.69	21.07	132.39
10	N Tropical	10.4	6.52	4.80 *	21.37	136.28
11	N 8025	10.5	6.72 *	4.94 *	22.6	122.83
12	Verdín	11.32 *	6.91 *	5.12 *	24.97 *	113.83
13	Rubí	10.44	6.25	4.7	18.3	163.61 *
	Promedio	10.34	6.41	4.75	21.56	135.76
	DMS (0.05)	0.6506	0.364	0.3606	1.1166	26.3293

* Genotipos estadísticamente superiores, según la Diferencia Mínima Significativa (0.05). LS = Longitud de semilla. AS = Ancho de semilla. GS = Grosor de semilla. P100S = Peso de 100 semillas. RG = Rendimiento de grano.

Además de lo anterior, se realizó un análisis de correlación entre las variables siguientes: AP = Altura de planta, LE = Longitud de entrenudos, MS = Producción de materia seca, VPP = Número de vainas por planta, LV = Longitud de vainas, LS = Longitud de semilla, AS = Ancho de semilla, GS = Grosor de semilla y RG = Rendimiento de grano (Cuadro 4); en la cual se encontraron diferencias estadísticas



significativas entre la variable altura de planta con respecto a la variable longitud de entrenudos número de vainas por planta, longitud de vainas, acho de semilla, y grosor de semillas respectivamente. También se encontró una correlación entre la variable Producción de materia seca con respecto a la variable Longitud de vainas y el Número de vainas por planta. Asimismo, esta última variable (número de vainas por planta), mostró una correlación con la variable longitud de vainas y rendimiento respectivamente.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación y significancia estadística detectada de variables cuantificadas en genotipos de frijol negro evaluados en un ambiente protegido del centro de Veracruz. Ciclo otoño-invierno de 2021-2022.

Variable	LE	MS	VPP	LV	LS	AS	GS	RG
AP	0.83 **	0.50 ns	0.62 *	0.57 *	0.39 ns	0.58 *	0.59 *	0.54 ns
LE		0.30 ns	0.29 ns	0.47 ns	0.30 ns	0.53 ns	0.44 ns	0.24 ns
MS			0.53 ns	0.57 *	0.14 ns	0.29 ns	0.34 ns	0.48 ns
VPP				0.56 *	0.18 ns	0.27 ns	0.42 ns	0.93 **
LV					-0.16 ns	-0.10 ns	0.01 ns	0.56 *
LS						0.74 **	0.78 **	0.12 ns
AS							0.91 **	0.21 ns
GS								0.43 ns

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$. ns = No significativo. AP = Altura de planta. LE = Longitud de entrenudos. MS = Producción de materia seca. VPP = Número de vainas por planta. LV = Longitud de vainas. LS = Longitud de semilla. AS = Ancho de semilla. GS = Grosor de semilla. RG = Rendimiento de grano.

Conclusiones

1. La siembra, crecimiento, desarrollo y producción de los genotipos de frijol evaluados en ambiente protegido de forma vertical, no presentaron problemas de importancia económica con respecto a plagas, enfermedades, daños por la variación de las temperaturas y vientos del norte, con respecto a siembras a cielo.
2. El tutoreo de plantas de frijol, es una de las principales variables que determinan en rendimiento del cultivo; ya que estas, se comportan como crecimiento indeterminado logrando la emisión de un mayor número de vainas con respecto a la siembra a cielo abierto.



3. Por cada gramo de frijol producido a cielo abierto se requieren 2.48 gramos de materia seca; mientras que en ambiente protegido por cada gramo de frijol se requieren solamente 0.61 gramos de materia seca.
4. La siembra de frijol negro de los trece genotipos evaluados en ambiente protegido es una excelente alternativa para producir frijol para pequeños productores del trópico mexicano.

Literatura Citada

- Castellanos Z J, H. Guzmán-Maldonado, A Jiménez, C Mejía, J de J Muñoz-Ramos, J A Acosta-Gallegos, G Hoyos, E López-Salinas, D González-Eguiarte, R Salinas-Pérez, J González-Acuña, J A Muñoz-Villalobos, P Fernández-Hernández, B Cáceres. (1997) Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Arch. Latinoam. Nutr. 47:163-167.
- Capetillo B. Á.; Zetina L. R.; Reynolds Ch. M. A.; Ugalde A. F.J.; Matilde H. C.; Espinoza Del C. A.; Cadena Z. M.; López L. J. A. 2021. Producción de frijol a cielo abierto y en ambiente protegido en el centro de Veracruz. XXXII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2021 y IX Simposio Internacional en Producción Agroalimentaria Tropical. Tabasco, México. p. 52-57.
- CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1987. Sistema Estándar para la Evaluación de Germoplasma de Frijol. A. van Schoonhoven y M. A. Pastor-Corrales (comps.). Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 56 p.
- CIMMYT Economics Program. 1988. From agronomic data to farmer recommendations: an economics training manual No. 27. CIMMYT.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köpen (para adecuarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 130 p.



- Gross, M. R.; Pinho, R. G.; Brito, A. 2006. H. Adubación nitrogenada, densidade de sementeira e espacamento entre fileiras na cultura do milho em sistema de plantio direto. *Ciencia e Agrotecnologia*, 30: 387-393.
- Guzmán T. I., E. Almanza A., J. A. Acosta G. y S. H. Guzmán M. 2009. Estudio comparativo de características de calidad entre genotipos de frijol de grano negro. *Agricultura Técnica en México* 35:449-457.
- Hurtado, A. C., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2018). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 88-100.
- Jiménez G. J. C., & Acosta G. J. A. (2013). Efecto de la densidad de cosecha en rendimiento de frijol Pinto Saltillo de riego en Chihuahua, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(2): 243-257. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000200005&lng=es&tlng=es. Consultado el 11 de noviembre de 2021.
- Maphosa, Y., y Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition. *El Higo Revista Científica*, 9(01): 35-44.
- Olivares, S. E. 2016. *Métodos Estadísticos UANL, Versión 1.7*. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. emolivares@gmail.com
- Rosales, S. R., J. A. Acosta G., R. P. Durán D., H. Guillén A., P. Pérez H., G. Esquivel E., y J. S. Muruaga M. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Agric. Téc. Méx.* 29(1): 11-24.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenDelegacion.dov [Consultado el 31 de julio de 2020].



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Avance de Siembras y Cosechas: Resumen nacional por cultivo. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do;jsessionid=780EA B4FBB1B778EA8C187F63DC57595 [Consultado el 12 marzo de 2021].

Tosquy V. O. H., Villar S. B., Ibarra P. F. J., Anaya L. J. L., y Garrido R. E. R. 2022. Yiel and resistance to Golden yellow Mosaic of tropical black vean genotypes. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*. 13 (7): 1285-1294.



CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA EN TAMAULIPAS, MÉXICO

Ángel Capetillo Burela Ángel^{107*}, Marcos Antonio Reynolds Chávez¹⁰⁷, Rigoberto Zetina Lezama¹⁰⁷, Oscar Hugo Tosquy Valle¹⁰⁷, Ramón Camporredondo¹⁰⁸, Cristian Matilde Hernández¹⁰⁹ y Maurilio Mendoza Mexicano¹⁰⁷

Resumen

El objetivo de este trabajo fue caracterizar a productores que participan en el Programa Sembrando Vida (PSV) del gobierno federal en el estado de Tamaulipas, para identificar los principales tipos de tenencia de la tierra, el costo y la disponibilidad de mano de obra para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF). Para lo anterior, se aplicó una encuesta a 368 productores de un total de 4,788, que representan una superficie de cultivo superior a 7,000 ha, distribuidas en 195 localidades, pertenecientes a 15 municipios. Los productores se seleccionaron mediante un procedimiento aleatorio simple dictaminado por un intervalo constante de selección. El tamaño de la muestra se calculó con base al padrón de beneficiarios 2022 del PSV en el estado de Tamaulipas a un nivel de confianza del 95%. Se encontró que en el PSV la participación de las mujeres es del 46% y que más del 54% de los sembradores tienen entre 41 y 60 años, lo que indica que los jóvenes, también están laborando en el campo. Todos los participantes tienen al menos la primaria, y cerca del 50% cuentan con secundaria. El 74% de las familias están conformadas por entre tres y cinco personas y en el 89% de éstas tienen menos de dos dependientes económicos. En el 70% de las familias, los sembradores son casados, lo que indica que la mayoría de éstas están constituidas legalmente ante la sociedad. El 58% de los sembradores tienen entre 2.1 y 3.0 ha y el 32% de ellos, más de 5 ha. El Ejido es la principal forma de tenencia de la tierra con el 85.1%, seguido de la aparcería con un 7.0%. El costo de la mano de obra para realizar las principales labores del sistema MIAF en el 52% de los casos es mayor a \$200.00, mientras que, en el 45.8% varía de entre \$101.00 y \$200.00. Finalmente se identificó, que la principal fuente económica que utilizan los sembradores para realizar

¹⁰⁷ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. Autor para correspondencia: Capetillo.angel@inifap.gob.mx

¹⁰⁸ Personal de apoyo en el Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

¹⁰⁹ Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC. INIFAP.



sus actividades en sus pequeñas unidades de producción, es la que proporciona el gobierno federal, seguido la utilización de recursos propios.

Palabras clave: tipificación, sembradores, sembrando vida, sistema MIAF

Introducción

El Programa Sembrando Vida (PSV) fue instituido por el gobierno federal a partir de 2019, con la finalidad de contribuir al bienestar social del sector rural mexicano, a través del impulso de la autosuficiencia alimentaria. Con este programa se pretende coadyuvar a la reconstrucción del tejido social y la recuperación del medio ambiente, mediante la invitación a pequeños productores a establecer unidades de producción de 2.5 ha con sistemas productivos agroforestales, que combinen la producción de los cultivos tradicionales, en conjunto con árboles frutícolas y maderables bajo un sistema identificado como Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF).

El MIAF se define como un sistema de producción de cultivo intercalado, constituido por al menos tres especies, el árbol frutal (epicultivo), el maíz (mesocultivo) y frijol u otra especie comestible, de preferencia leguminosa (sotocultivo), que tiene como propósito, la producción de maíz y frijol como elementos estratégicos para la seguridad alimentaria de las familias rurales, así como incrementar de manera significativa el ingreso neto de estas familias, y en el medio ambiente, incrementar el contenido de materia orgánica y disminuir la erosión hídrica del suelo, y con ello tener un uso más eficiente del agua de lluvia (DOF, 2002).

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, en el estado de Tamaulipas, el PSV cerró el año 2022 con un padrón de beneficiados de 4,788 pequeños productores y una superficie de cultivo superior a las 7,000 ha (SADER, 2022). En el plano organizacional, el PSV considera al estado en un sólo territorio conocido como “Territorio Tamaulipas”; en el cual operan cinco facilitadores, 25 técnicos productivos y 25 técnicos sociales, teniendo 192 centros de aprendizaje campesino (CAC’s). Ante la gran diversidad de condiciones climáticas, edáficas, tecnológicas, sociales, religiosas, económicas y culturales que predominan en las diversas regiones de Tamaulipas, los técnicos y productores realizaron múltiples adecuaciones al sistema MIAF, para adaptarlo a su entorno y cumplir con las reglas del programa. Lo anterior, ha dificultado la operatividad del programa, así como el



establecimiento y el adecuado mantenimiento del sistema MIAF, lo que puede poner en riesgo las metas a mediano y largo plazo del PSV.

Cualquier tipo de intervención dirigida a técnicos y productores del PSV, enfocada a desarrollar sus capacidades y habilidades técnicas en el manejo del sistema MIAF, debe tener en cuenta los saberes campesinos y las condiciones socio-económicas en que se desarrolla un determinado grupo de beneficiarios. En este punto, los trabajos dirigidos a conocer la tipología de los productores ayudan a identificar y comprender más a detalle las razones que les obligan a tomar ciertas decisiones en sus unidades de producción; además, constituyen una herramienta valiosa en el proceso de toma de decisiones (Betancourt *et al.*, 2005), ya que la generación de políticas diferenciadas para mejorar los sistemas de producción (Vilboa y Díaz, 2009), permiten predecir las posibilidades de éxito de cualquier tipo de intervención dirigida a mejorar el funcionamiento del sistema. De acuerdo con Paz (1998), la tipología es una herramienta metodológica que permite agrupar productores y fincas que presentan características similares, así como, potencialidades y restricciones similares frente a uno o varios elementos seleccionados (Amador *et al.*, 1995). El objetivo de este trabajo fue la caracterización general de aspectos socioeconómicos asociados a los productores del PSV de los productores del estado de Tamaulipas e identificar los principales tipos de tenencia de la tierra, la procedencia de la mano de obra y los recursos económicos para el establecimiento del sistema MIAF por parte de los sembradores beneficiados con dicho programa.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó de junio a diciembre de 2022, mediante la aplicación de una encuesta en la que se consideró como universo, el número total de productores beneficiados por el PSV en el estado de Tamaulipas.

La encuesta incluyó una serie de preguntas abiertas y cerradas, enfocadas a tipificar las principales características de los productores beneficiados por el PSV, tipos de tenencia de la tierra, cultivos establecidos, nivel de mecanización, dependencia del glifosato y otros herbicidas en el control de maleza, nivel actual de adopción de la tecnología MIAF, características edáficas predominantes en las pequeñas unidades productivas y la producción de las especies cultivadas en el sistema MIAF. En este trabajo sólo se presentan los resultados obtenidos en la tipificación de productores, tipos de tenencia de



la tierra que predominan en el PSV de Tamaulipas y el costo y la disponibilidad de mano de obra para el establecimiento y manejo del sistema MIAF.

Se utilizó el tipo de muestreo estratificado (Hernández y Carpio, 2019; Mucha y Lora, 2021), considerando a la entidad como un territorio denominado “Territorio Tamaulipas”, en la cual, se seleccionaron los municipios más representativos, tomando en cuenta las características agroecológicas de la región, el número de productores y la superficie total beneficiada por el PSV.

En cada una de las localidades de los diferentes municipios, los productores entrevistados se seleccionaron mediante un procedimiento aleatorio simple (Otzen y Manterola, 2017) dictaminado por un intervalo constante de selección. El tamaño de la muestra se calculó con base al padrón de beneficiarios del PSV en el estado de Tamaulipas del año 2022, mediante la ecuación propuesta por Montatixe y Eche (2021), considerando un nivel de confianza del 95%, una población total de 4,788 sembradores y 192 CAC´S. Dicha ecuación se muestra a continuación:

$$n = \frac{N \times z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + z^2 \times p \times q}$$

Donde:

N = Población total.

Z = Nivel de confianza.

P = Proporción de individuos con características deseadas (0.05).

Q = Probabilidad de fracaso.

D = Nivel de precisión (error máximo admisible en términos de proporción).

n = muestra.

En total se aplicaron 368 encuestas, en 195 localidades pertenecientes a 15 municipios, las cuales se muestran en el Cuadro 1.

La información de las encuestas aplicadas se concentró en formato electrónico, en hojas de cálculo de Excel para su análisis estadístico descriptivo: valores mínimos, máximos, media y desviación estándar, para determinar la dispersión promedio de todos los puntos de los datos alrededor de su media grupal. Los resultados obtenidos en las encuestas se validaron mediante recorridos de campo y entrevistas directas a productores y técnicos clave, mediante la técnica de lluvia de ideas y entrevista para obtener información adicional resguardada por los técnicos de campo.



Cuadro 1. Número de encuestas aplicadas por municipio en el estado de Tamaulipas.

Municipio incluido en la muestra	Localidades/Ejidos	Número de encuestas
Victoria	Ejido Manuel Ávila Camacho	2
San Nicolás	Ejido Los Flechadores	2
Santander Jiménez	Mariano Escobedo y Ejido La Libertad Campesina	4
Miquihuana	La Pena, Estanque de los Eguía, Víctor Manuel Bueno, Miquihuana y Ejido Marcela.	10
Llera	Ejido San Isidro, Rancho Nuevo del Norte, Ejido Nuevo San Luis, Ejido Emiliano Zapata, Ejido Las Tortugas, Ejido Emiliano Portes Gil, Felipe Carrillo Puerto y Ejido El Ébano.	10
Güemez	Esfuerzo del Campesino, San Andrés, Revolución Verde y Ejido Viento Libre.	6
Jausave	La Reforma, La Independencia, El Higuierón, Ejido Francisco I. Madero, Ejido San Antonio y Magdalena Aguilar.	12
González	El Progreso, El Centauro, Ejido Nuevo Quintero, Ejido EL Mezquital, Rosillo, Venustiano Carranza, Magiscatzin y San Antonio Nogalar.	14
Soto la Marina	Ejido La Esperanza, Verde Grande, Ejidos Guayabas, Las Tunas, Benito Juárez, Los Bellos, Ejido Francisco Villa, El Carrizo, Ejido Soto La Marina, El Saladito, Tampiquito, Ejido Diez de Abril, San José de las Rusias, Tres de Abril, La Piedra, Diez de Mayo, Ejido José Silva Sánchez, La Esperanza, El Socialista, Las Tunas, Santa Rosa y Ejido San Juan.	46
San Carlos	Víctor Manuel Bueno, Ejido Rubén Jaramillo, Ejido La Garita, Magueyes, La Nueva Unión, El Saucillo, El Barranco Azul, La Gavia, San Rafael, Norberto Treviño Zapata, La Unión Morales, Ejido EL Gavilán, Ejido Manuel López, Francisco de la Fuente Oviedo, Ejido Los Quiotes, El Carrizo, Ejido San Miguel, Camacho Viejo, Nuevo Camacho, Corralejo, Profesor Graciano Sánchez, Ejido Praxedis Balboa, Ejido La Libertad y Ejido Víctor Manuel Bueno.	46
Casas	Ejido Nuevo San Francisco, Estación San Francisco, San Francisco, Los Algodones, Ejido Praxedis Balboa, Ejido Jacinto Canek, Ejido El Ampara, Ejido La Lajilla, Ejido Buena Vista, Ejido Subida de Palmas, Ejido Adolfo López Mateos, Lázaro Cárdenas, Ejido La Gloria y Ejido 5 de Febrero.	28
Tula	Juan Sarabia, Las Cruces, Cienaguillas, Santo Tomás, Guadalupe Victoria, Ejido Francisco I. Madero, Providencia, Aquiles Serdán, 16 de septiembre, Santa Ana de Nahola, La Taponá, Los Charcos, Ejido Lucio Vázquez, Santo Tomás, Cinco de Mayo, Barrio La Mora, Ejido La Laguna, El Refugio, Rosa Blanca, El Carmen, Vicente Guerrero, San Juan, Tula, Las Piedras, Ejido Emilio Vázquez, El Boludo, El Refugio, Lázaro Cárdenas, Ejido Francisco	86



Municipio incluido en la muestra	Localidades/Ejidos	Número de encuestas
	Medrano, Gazmones, Ejido EL Gavial, Ejido Miguel Hidalgo, Joya de Maravillas, Ejido Tanque Blanco, Ejido del Salitrillo, Ejido San Rafael, Ejido el Mamaleon, Álvaro Obregón, Alfonso Terrones Benítez, Pedro Ruiz Molina, Ejido Ricardo García, El Sauz, San Antonio de Nahola y Ejido Celso Huerta.	
Bustamante	Ejido El Caracol, Magdalena Aguilar, Ejido La Verdolaga, Joya del Quiote, Plutarco Elías Calles, Bustamante, San Miguel de Waldo, Calabacillas, Felipe Ángeles y Ejido Gabino Vázquez.	20
Aldama	Buena Vista, Ejido Sombreritos, Ejido Las Torrecitas, Ejido El Vidal, Ejido El Carrizal II, El Lucero, Aldama, Poza de Granadillas, San Antonio Nogalar, Ejido El Carrizo de Opichan, El Paisajito, Ejido Ramón Corona, Ejido Nacimiento, Ejido El Ademe, Ejido La Gloria, Ejido La Colmena, Ejido Buena Vista, Benito Juárez, El Paisajito, Revolución y Adolfo López Mateos.	38
Altamira	Ejido Providencia y Naranjos, Rancho las Flores, Ejido Mata del Abra, Ejido Cervantes, Estación Colinas, Buenos Aires, Ejido El Fuerte, Villa Cuauhtémoc, Esteros, San Antonio, Santa Juana, Granados del Sur, Ampliación el Arenal, Agua de Castilla, Maclovio Herrera, José María Morelos, Francisco I. Madero, Ejido Nacimiento, Ejido Morón, Estación Manuel, Mariano Matamoros y; José María Luis Mora.	44
Total		368

Resultados y Discusión

Tipificación de productores del PSV de Tamaulipas

Participación de la mujer en el PSV. En el ámbito rural Tamaulipeco, como en otros estados del país, la participación de las mujeres en las actividades primarias como la agricultura, se ha incrementado poco a poco con el tiempo. En 2022, los resultados de las encuestas indicaron una participación de las mujeres en el PSV de 46% y el resto correspondió a los hombres. Esto pone de manifiesto que, en este estado, las mujeres tienen gran presencia en el sector agrícola, lo cual se pudo corroborar durante los cursos de capacitación que se realizaron en las parcelas de sembradores, ya que, en cada una de las capacitaciones y visitas a territorios, se contó con un gran número de mujeres campesinas.



Edad de los participantes. En lo que respecta a la edad, el 5.4% de los sembradores de Tamaulipas, tienen entre 21 a 30 años; el 14.8% entre 31 a 40 años; el 29.3% entre 41 a 50 años; el 25.07% entre 51 a 60 años; el 18.8% entre 61 a 70 años; el 6.2% entre 71 a 80 años y el 0.28% entre 81 a 90 años. Estos resultados muestran que el 54.3% de los sembradores tienen entre 41 a 60 años, lo cual indica que los jóvenes, también están laborando en el campo y no emigrando a las grandes ciudades como ha ocurrido en años pasados en este estado. Esto sugiere una mayor garantía de que en el corto plazo, las futuras generaciones seguirán trabajando la tierra, para proveer de alimentos sanos para las familias mexicanas. Es muy probable que este comportamiento tenga relación con el nivel de estudios de los sembradores, ya que, en el PSV de Tamaulipas, no hay ningún sembrador sin estudios. El 35.9% de ellos tiene primaria concluida, el 48.9% secundaria terminada, el 12% cuenta con bachillerato y el 2.65% tiene licenciatura terminada.

En algunos trabajos de investigación se ha determinado que la edad de los productores está fuertemente relacionada con su nivel de escolaridad y otros factores ligados a la adopción de nuevas tecnologías (Zayas *et al.*, 2014; Sánchez, 2022); es decir, generalmente los productores más jóvenes, tienen un mayor grado de escolaridad, productividad y de ingresos económicos (Canales y Corilla, 2019). En otras investigaciones se ha concluido que el nivel educativo de los productores está fuertemente relacionado con el índice de adopción de tecnología (Orozco *et al.*; 2008; Vargas, 2022; García *et al.*, 2023). No obstante, en algunos distritos agrícolas de Durango, México, señalan que el nivel de productividad de parcelas, no estuvo asociado al nivel de escolaridad, edad y género de los productores, y que factores exógenos como el acceso al agua pueden tener una mayor influencia (Hernández *et al.*, 2022).

Núcleo familiar y estado civil. Con relación al número de integrantes por familia, el 74% de cada una de ellas, la conforman entre tres y cinco personas, 24% menos de dos y 2% más de cinco. Estos resultados indican que, en las zonas rurales de Tamaulipas, las familias son relativamente pequeñas en número de integrantes. A su vez, el 89% de las familias tienen menos de dos personas que dependen económicamente de sus padres y el 11% restante tienen entre tres y cinco personas dependientes. En cuanto al estado civil de los sembradores, el 70% de ellos son casados y el 4% divorciados (Figura 1), lo que indica que la mayoría de las familias de los sembradores están constituidas legalmente ante la sociedad.

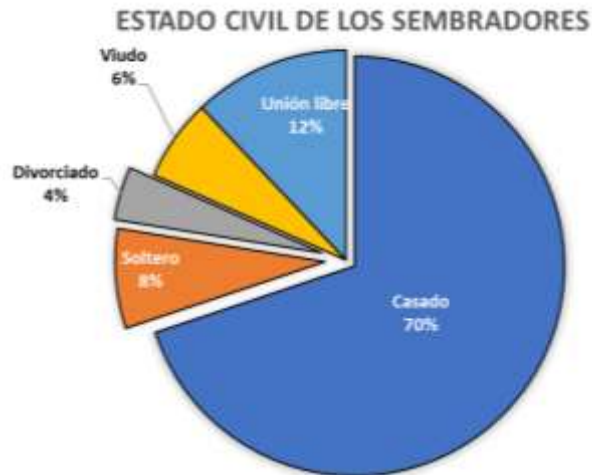


Figura 1. Estado civil de los productores encuestados en el PSV en el estado de Tamaulipas.

En México, Urquía *et al.* (2012) trabajaron en la elaboración de cinco estratos familiares sustentados en una tipología de las unidades económicas rurales en las que se consideraron aspectos como: el trabajo familiar y su relación con la unidad productiva, la racionalidad productiva y su relación con el mercado y la estrategia de ingresos. De acuerdo con este sistema de clasificación, la mayoría de las unidades de producción que se encuentran incluidas en el PSV del estado de Tamaulipas pertenecen al estrato “E1”, que corresponde a la agricultura familiar de subsistencia sin vinculación al mercado, es decir, que todo lo que producen es generalmente para autoconsumo y sólo una pequeña parte pertenece al estrato “E2” denominado agricultura familiar de subsistencia con vinculación al mercado; lo que significa que una parte de sus cosechas las utilizan para autoconsumo y otra parte para la venta a nivel local y regional respetivamente.

Los resultados de este estudio, sugieren que en general, la familia rural Tamaulipeca que participa en el PSV no es muy grande en cuanto al número de integrantes; la gran mayoría de ellas tienen menos de dos dependientes económicos, pero una baja disponibilidad de mano de obra familiar.

En estas comunidades rurales, las unidades productivas son menores a 4 ha, medianamente tecnificadas, con baja inyección de recursos económicos y de asesoría técnica, por lo que, generalmente las cosechas son para autoconsumo, con pequeños excedentes para los que no se tiene un mercado seguro. Lo anterior resulta en una economía familiar frágil, con pocas o nulas expectativas de desarrollo.



Tenencia de la tierra

Con relación a la tenencia de la tierra y la posesión de los derechos ejidales y comunales, aún existe una inminente brecha de género y de desigualdad en el acceso y control de la tenencia de la tierra, ya que de un total de 3.3 millones de ejidatarios mexicanos, el 74.5% son hombres y el 25.34% mujeres (Ramírez, 2022; RAN, 2022). En el estado de Tamaulipas, esta proporción es muy parecida, pues poco más del 30% de los derechos ejidales pertenecen a las mujeres (RAN, 2021) y sólo en el 2.7% de los casos, las mujeres ocuparon un cargo en los órganos ejidales o comunales (INMUJERES, 2020).

De acuerdo a las encuestas aplicadas a los sembradores del PSV, se determinó que en el estado de Tamaulipas se tienen cinco tipos de tenencia de tierra, en los cuales es posible implementar el sistema MIAF; de éstos, el ejido es la principal forma de tenencia de la tierra (Figura 2).



Figura 2. Tipos de tenencia de la tierra en el estado de Tamaulipas.

Lo anterior, sugiere que en Tamaulipas aún se cuenta con ejidos dedicados a la agricultura convencional, lo cual es muy importante, ya que los agricultores son los principales proveedores de alimentos del campo para la región y municipios cercanos a la zona urbana de dicha entidad; además de que fueron pocos los productores que decidieron rentar terrenos para poder participar en el PSV. Según el RAN (2019), solo 25.9% del total del padrón de ejidatarios son del sexo femenino, no obstante, en Tamaulipas, se tiene una participación de la mujer en el PSV ligeramente menor al 50% (46%). La tenencia de la tierra es un factor importante cuando se habla de equidad de género, ya que las tierras, al ser consideradas como el patrimonio más importante de las familias rurales, la posesión de una parcela



es un factor que contribuye sustancialmente al bienestar y empoderamiento femenino, la reducción de la pobreza y el control de sus ingresos (Vázquez, 2020). Por el contrario, cuando no se dispone de tierras, hay mayor dificultad para conseguir leña, agua y plantas que contribuyen a mejorar la salud y seguridad alimentaria de sus familias (Behrman *et al.*, 2012).

El PSV tiene entre sus lineamientos específicos, que cada sembrador en sus pequeñas unidades de producción familiar, debe contar con al menos 1.0 ha con el sistema de MIAF (Milpa Intercalada en Árboles Frutales) y 1.5 ha para los SAF (Sistemas Agroforestales); sin embargo, en el programa existen sembradores que cuentan con una superficie mayor a la indicada. De acuerdo a los resultados de las encuestas, el 58% tienen entre 2.1 y 3.0 ha, el 32% tiene más de 5 ha, el 5% de 4.1 a 5.0 ha, el 4% entre 3.1 y 4 ha y el 1% entre 1.1 y 2 ha (Figura 3).

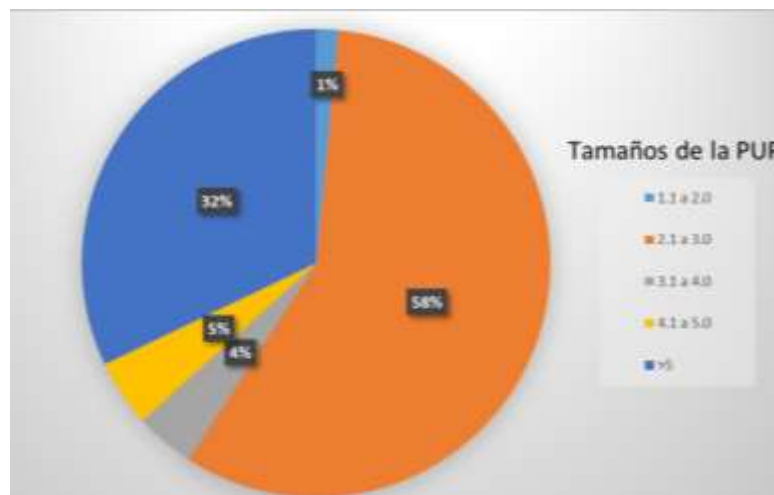


Figura 3. Distribución porcentual de la superficie de las pequeñas unidades de producción familiar de los sembradores del PSV en el estado de Tamaulipas de acuerdo a su tamaño (ha).

Costo y disponibilidad de mano de obra para el sistema MIAF

El costo de la mano de obra para realizar las diferentes actividades requeridas es diferente en cada región, estado y país. En Tamaulipas el costo por los servicios de un jornal diario es muy variado; se encontró que en el 52% de los casos tiene un costo mayor a \$200.00, el 45.8% entre \$101.00 y \$200.00 y sólo el 1.7% el jornal cuesta menos de \$100.00, ya que este último es utilizado básicamente para labores esporádicas con una duración menor a 4 horas. Es probable que esta variabilidad en el costo del jornal se deba en gran parte, a que Tamaulipas es un estado fronterizo con Estados Unidos, y por ello, predomina un mayor costo del jornal que el de otros estados de la región sur-sureste de México.



También se encontró que en algunas localidades se dispone de poca mano de obra, debido principalmente a que muchos sembradores jóvenes emigran a Estados Unidos, aun cuando para el manejo del sistema MIAF se requiere de una alta demanda en este concepto. En este estudio, se encontró que el 29% requiere más de 10 jornales por hectárea para preparar su terreno, el 33.1% requieren entre cinco y 10 jornales y finalmente el 37% requieren menos de cinco jornales por hectárea para realizar esa actividad. Camas *et al.* (2012) y Cortés y Turrent (2021) aseveran que el MIAF es un sistema de producción agrícola generador de empleos que, en muchos casos, puede influir en la reducción de la migración en las zonas rurales y el abandono del campo. Sin embargo, al tratarse de una tecnología compleja, la implementación y mantenimiento del sistema MIAF requiere de una mayor inversión, cuando la mano de obra familiar es escasa, principalmente para la adquisición de los frutales y la mano de obra para el trazo de las curvas a nivel y siembra de los cultivos anuales y perenes. En trabajos realizados en la Sierra Mixe de Oaxaca, se demostró que la mano de obra para el establecimiento y mantenimiento del sistema MIAF es muy alta, ya que para una hectárea de terreno se requirieron de hasta 173 jornales (Ruiz *et al.*, 2012).

En este trabajo se identificaron diversas fuentes de financiamiento que utilizan en sus pequeñas unidades de producción, siendo la más importante la que proporciona el gobierno federal, con el 51%, el 22% proviene de su familia, 25% de recursos propios y el resto de recursos provenientes de préstamos y remesas, entre otros.

Conclusiones

1. En el PSV del estado de Tamaulipas, la mayoría de los sembradores son casados, 50% de ellos tienen menos de 50 años de edad con estudios mínimos de primaria, características adecuadas para la implementación del sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF), considerando las condiciones edafo-climáticas, sociales y culturales de cada región.
2. El núcleo familiar está conformado en su mayor parte, por entre tres y cinco integrantes, con pocos dependientes económicos (el 89% de las familias tienen menos de dos personas dependientes) y una baja participación de los integrantes en las pequeñas unidades productivas, las cuales son menores a 4 ha, y cuya producción generalmente es para autoconsumo.
3. El Ejido es la principal forma de tenencia de la tierra, con el 85.1% de terrenos ocupados por el PSV,



seguido de la aparcería con un 7.0%.

4. El costo de la mano de obra para realizar las diferentes actividades en el sistema MIAF varía de acuerdo a la región, siendo mayor a \$200.00 en el 52% de los casos y de entre \$101.00 y \$200.00 en el 45.8%.
5. En general, existe una baja disponibilidad de mano de obra y se requiere de una alta inversión para la implementación y mantenimiento del sistema MIAF, cuyos sembradores del PSV tienen como principal fuente de financiamiento al gobierno federal, seguido de la utilización de recursos propios.

Literatura Citada

- Amador, M., C. Durán, V. H. Ruíz y L. C. Banquero. 1995. Caracterización socio-productiva y tipología de productores del cantón de Acosta. Avances de Investigación Núm. 14. CEDECO. San José, Costa Rica. 34 p.
- Betancourt, K., M. Ibrahim, C. Villanueva y B. Vargas. 2005. Caracterización del manejo productivo de sistemas lecheros en la Cuenca del Río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Research for Rural Development* 17(80):1-12.
- Behrman, J., R. Meinzen D. and A. Quisumbing. 2012. The gender implications of largescale land deals. *The Journal of Peasant Studies* 39(1):49-79.
- Camas, G. R., A. Turrent F., J. I. Cortes F., M. Livera M., A. González E., B. Villar S., J. López M., N. Espinoza P. y P. Cadena I. 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 3(2):231-243.
- Canales, T. y M. Corilla. 2019. Factores que incidieron en la productividad agrícola en la Región Junín -2017. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5517/T010_47473929_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y [consultado el 15 de junio de 2023].



Cortés, F. J. I. y A. Turrent F. 2021. Milpa Intercalada en árboles frutales (MIAF) Tecnología multiobjetivo para el desarrollo de la agricultura en laderas. Aportaciones del Colegio de Postgraduados al sector agroalimentario. Casos de éxito. 1 p. https://www.colpos.mx/cp_pdf/casos-de-exito/2021/cde_diciembre2021.pdf [consultado el 12 de febrero de 2023].

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. https://www.dof.gob.mx/index_113.php?year=2002&month=12&day=30#gsc.tab=0 [consultado el 7 de julio de 2023].

García, S. J. A., F. Bautista M. y E. Reyes S. 2023. Factors conditioning the adoption rate of technified irrigation systems in Mexico. *Agron. Mesoam.* 34(2):51202.

Hernández, Ch. J., I. González L. y M. Q. Galván I. 2022. La productividad en los distritos agrícolas de Durango, México. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera: División de Ciencias Económicas y Sociales* 37(37):1-34. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi37.441>

Hernández, Á. C. E. y N. Carpio. 2019. Introducción a los tipos de muestreo. *Alerta* 22(1):75-79.

INMUJERES (Instituto Nacional de las Mujeres). 2020. Desigualdad en cifras. Las mujeres y el acceso a la tierra. Año 6. Boletín Núm. 5. 2 p. http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/BA6N05.pdf [consultado el 22 de marzo de 2021].

Montatixe, S. C. I. y M. D. Eche. 2021. “Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro” en *Siembra*. Vol. 8. No. 1. Quito. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1735/3301> [consultado el 6 de octubre de 2021].

Mucha, E. L. F. y M. G. Lora L. 2021. Técnicas de muestreo para investigación cuantitativa: aplicación informática. 1a. ed. Fondo Editorial Universidad César Vallejo. Lima, Perú. 137 p.



- Orozco, C. S., L. Jiménez S., N. Estrella C., B. Ramírez V., B.V. Peña O., A. Ramos S. y G. Morales. 2008. Escuelas de campo y adopción de ecotecnia agrícola. *Ecosistemas* 17:94-102.
- Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology* 35(1):227-232.
- Paz, R. 1998. Construcción de tipologías de sistemas de producción a partir del análisis estadístico multivariante. *Argentina* 2:105-126.
- Ramírez, J. J. 2022. Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13(3):553-565.
- RAN (Registro Agrario Nacional). 2022. Sujetos de núcleos agrarios certificados y no certificados. http://www.ran.gob.mx/ran/indic_gen/nucag-certynocert-avance-2022-abr.pdf [consultado el 20 de junio de 2023].
- RAN (Registro Agrario Nacional). 2019. Estadística con perspectiva de género. Tabulados. <https://www.gob.mx/ran> [consultado el 20 de junio de 2023].
- RAN (Registro Agrario Nacional). 2021. Indicadores básicos de la propiedad social 2021. http://www.ran.gob.mx/ran/indic_bps/1_ER-2021.pdf [consultado el 6 de junio de 2023].
- Ruiz, M. A D., L. Jiménez S., O. L. Figueroa R. y M. Morales G. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(81):1605-1621.
- Sánchez, A. A. C. 2022. Desarrollo empresarial de las MyPES del sector frutícola en la comunidad de Teapa, Tabasco (México). *Revista de Investigaciones Universidad de El Quindío* 34(2):178-187.



SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2022. Amplía Secretaría de Bienestar cobertura de Sembrando Vida en Guerrero. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/amplia-secretaria-de-bienestar-cobertura-de-sembrando-vida-en-guerrero> [consultado el 6 de junio de 2023].

Urquía, F. N., S. Salcedo B. y A. González C. 2012. Diagnóstico del sector rural y pesquero: identificación de la problemática que atiende PROCAMPO. SAGARPA. FAO. Ciudad de México, México. 173 p.

Vargas, C. J. M. 2022. El sector agroalimentario mexicano y las nuevas tecnologías. E-Agronegocios 8(2):89-113.

Vázquez, G. V. 2020. Género y privatización del ejido en San Salvador Atenco, México. Perfiles latinoamericanos 28(55):325-348.

Vilboa, A. J. y R. P. Díaz. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical 27(4):427-436.

Zayas, B. R. A., P. Saiz A., M. Romero L. y J. A. Castro M. 2014. La educación como factor de desarrollo agropecuario en el Évora, Sinaloa, México. Revista Mexicana de Agronegocios 35:1132-1144.



EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE FRIJOL EN SIERRA ORIENTAL, COXCATLÁN-TEHUACÁN Y TECAMACHALCO-CHALCHICOMULA DE SESMA, PUEBLA

Francisco Javier Ugalde Acosta^{110*}, Simón Alvarado Mendoza¹¹⁰, Simón Leyva Vela¹¹⁰, Leónides Bernabé Santiago¹¹¹, Antonio Rosas Rodríguez¹¹¹, Ernesto Díaz López¹¹¹, Humberto Rafael Bravo Delgado¹¹², Isidro López Sánchez¹¹³, Arturo Olivar Hernández¹¹³, Hugo Castro Cerecer y Áureo Martínez¹¹³

Resumen

En las regiones Sierra Oriental, Coxcatlán - Tehuacán y Tecamachalco - Chachicomula de Sesma, que forman parte de la Cuenca Hidrológica del Papaloapan, se siembra frijol con un rendimiento menor a 480 kg/ha. La falta de alternativas tecnológicas en variedades mejoradas de frijol, es la causa de la reducida productividad y de la tendencia a la baja de áreas dedicadas a la siembra de la leguminosa, lo que disminuye el abasto familiar, comunal y la rentabilidad de productores comerciales. Las variedades de frijol del INIFAP por su alta productividad y con tolerancia a factores bióticos y abióticos, son consideradas después de las evaluaciones en campo, la opción para elevar la productividad y abasto familiar para los productores y el fomento rentable del cultivo. Las evaluaciones de frijol de diferentes clases comerciales se iniciaron en los ciclos P-V 2011 temporal e I-P 2012 de humedad residual y se reiniciaron en P-V 2021 y 2022, en los municipios de Chichiquila, Tehuacán y Tecamachalco. En la región de Chichiquila en el ciclo P-V 2011, se identificaron un grupo de variedades mejoradas y genotipos experimentales del INIFAP, que fueron superiores en rendimiento en 141% con respecto testigo regional y de 301% al testigo local y en el ciclo I-P 2012 el rendimiento fue hasta 163% más, con respecto al testigo regional y de 445% más al testigo local (386 kg/ha). En el módulo de Tehuacán ciclo P-V 2021 en un suelo con pH de 8.4, las variedades Negro Veracruz y Negro Cotaxtla presentaron un rendimiento superior a las dos toneladas por hectárea en respuesta a la enmienda nutritiva y riego por goteo. En la región de Tecamachalco durante los ciclos P-V 2021 y 22 de temporal con un evento de

¹¹⁰Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campos Experimentales de Cotaxtla – Tecamachalco. *Autor por correspondencia: agrotecnia7@yahoo.com.mx

¹¹¹ Técnicos PSP de Puebla

¹¹² Universidad Tecnológica de Tehuacán.

¹¹³ Distrito de Desarrollo Rural Tehuacán



riego de auxilio, las variedades mejoradas de frijol fueron superiores en 180% al promedio regional de 1100 kg/ha con un programa de riego rodado.

Palabras clave: Plasticidad genética, adaptabilidad edafoclimática, resiliencia alimenticia

Introducción

Las regiones Sierra Oriental, Coxcatlán-Tehuacán y Tecamachalco- Chachicomula de Sesma, forman parte de la Cuenca Hidrológica del Papaloapan que inicia en la parte sureste de Puebla, y dan origen a las sub-cuencas del Río Blanco, Jamapa, Cuenca baja y media del Papaloapan en los estados de Veracruz y Oaxaca. En la referida región se siembran 2,370 ha del cultivo de frijol y de acuerdo a la estadística oficial de los Distritos de Desarrollo Rural de Tecamachalco, Tehuacán y Libres de la Secretaría de Agricultura, el rendimiento es menor a los 480 kg/ha (SIAP, 2023). La falta de alternativas tecnológicas en variedades mejoradas de frijol es la principal causa de la reducida productividad y de la tendencia a la baja en las áreas dedicadas a la siembra de esta leguminosa, lo que a su vez disminuye el abasto familiar, comunal y la rentabilidad para los productores comerciales en las comunidades de la referida región. En la entidad existe predilección por frijol de diferente color de grano, desde los de tipo bayo, flor de mayo y negros. Entre los principales problemas que reducen la producción del frijol en la región se encuentran los siguientes: baja utilización de semilla certificada de variedades mejoradas, escaso e inadecuado uso de los fertilizantes, daños ocasionados por plagas y enfermedades, sequía intermitente o terminal, heladas tempranas y deficiente manejo del cultivo. Las evaluaciones se realizaron en los años de 2011, 2012, 2021 y 2022 en los módulos de validación establecidos por el INIFAP; los genotipos de frijol utilizados como testigos como son los criollos locales o grano comercial introducido de Estados Unidos, presentaron susceptibilidad a enfermedades, baja tolerancia a suelos de baja fertilidad y a la sequía intraestival y terminal, factores que en su conjunto influyen en la baja productividad. El desconocimiento, disponibilidad y uso de variedades mejoradas de frijol de alta productividad del INIFAP, ya que tienen tolerancia a factores bióticos y abióticos, son consideradas la opción para elevar la productividad y abasto familiar para los productores y el fomento rentable del cultivo, para las regiones del sureste de Puebla (Ugalde *et al.*, 2021). Los objetivos del presente trabajo fueron: 1. Identificar variedades de frijol con adaptación



agroclimática en el corredor agroecológico en las regiones Sierra Oriental, Tehuacán y Tecamachalco - Chalchicomula de Sesma del estado de Puebla y 2. Generar conocimiento tecnológico para nichos agroecológicos de los cuales no se dispone de información sobre la adaptación de las variedades de frijol desarrolladas por el INIFAP.

Materiales y Métodos

Las evaluaciones de frijol se iniciaron en los ciclos P-V 2011 de temporal e I-P 2012 de humedad residual y después de un periodo de inactividad por falta de presupuesto, se reiniciaron en los ciclos P-V 2021 y P-V 2022. Se establecieron cinco parcelas de validación en tres localidades. En Chichiquila municipio representativo de la Sierra Oriental en Tehuacán y Tecamachalco de las regiones Biosfera y de Chalchicomula de Sesma. En estos sitios se sembraron los módulos con diferentes variedades que agrupan diferentes clases comerciales de grano como: negro pequeño y opaco (López *et al.*, 2010), flor de mayo (Acosta *et al.*, 2011), pintos (Sánchez *et al.*, 2006), peruano y bayos de consumo regional (Rosales *et al.*, 2004). La superficie de los módulos de validación fue variable desde 1500 a 2500 m². El manejo agronómico fue diferente en cada una de las regiones; el módulo de Chichiquila ubicado a una altitud de 1780 metros, se estableció en los ciclos P-V 2011 e I-P 2012, en un suelo migajón-arenoso con pH de 5.9 (moderadamente ácido), con clima templado húmedo extremo, temperatura media anual de 17,4°C, precipitación pluvial anual de 1500 mm; no se fertilizó en ningún ciclo. En el módulo de Tehuacán, establecido en la Universidad Tecnológica de Tehuacán a una altitud de 1600 metros, durante el ciclo P-V 2021 en un suelo con pH de 8.4, por lo que fue necesario realizar enmiendas nutritivas con 150-60-60 de NPK y por la escasa lluvia del temporal en el sitio, el módulo fue conducido con riego por goteo. El módulo de Tecamachalco ubicado a 2055 de altitud, el tipo de suelo es franco-arenoso y pH 6.4 no se fertilizó; en ambos sitios se realizaron riegos, por goteo y de auxilio respectivamente. En ninguno de los módulos se aplicaron fungicidas con el propósito de verificar la reacción en susceptibilidad y tolerancia de los genotipos a las enfermedades. Al final de cada ciclo se cosechó el total del área sembrada de cada variedad, para la estimación de rendimiento en kilogramos por hectárea. Con la información referida se generó una base de datos en Excel para su análisis en una tabla dinámica, en la cual se determinaron las variedades de mayor productividad para los municipios ubicados en las dos regiones ubicadas en el sureste y oeste de Puebla.



Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en forma separada por regiones y años de evaluación. En la localidad de Chichiquila en la Sierra Oriental de Puebla, durante el ciclo de temporal P-V 2011, la presencia de lluvias y temperaturas promedio de 22°C favorecieron el ataque de la enfermedad mancha angular *Phaeoisariopsis griseola*, la cual afectó 705% el rendimiento de algunos materiales, como fue el caso de Flor de Junio León 8058 comparado con el rendimiento obtenido en el ciclo I-P 2012. Un grupo de variedades mejoradas y genotipos experimentales del INIFAP, presentaron tolerancia a la mancha angular y fueron superiores en rendimiento desde 9 a 141% con respecto a Negro Michigan (testigo regional) y de 4 a 301% al testigo local Negro Chichiquila (Cuadro 1). El comportamiento productivo y tolerancia a la mancha angular de las variedades mejoradas de INIFAP fue similar al obtenido, en el ciclo P-V 2011 de temporal en Acultzingo, Ver., ubicado a una altitud de 1,660 metros dentro de la región de Las Altas Montañas del centro de Veracruz (Ugalde *et al.*, 2010 y Ugalde *et al.*, 2012a).

Cuadro 1. Rendimiento de grano de variedades de frijol y reacción a la enfermedad mancha angular en Chichiquila, Puebla. Ciclo P-V 2011 de temporal.

Genotipo / Variedad	Rendimiento (kg/ha)	Valores de reacción a Mancha angular*
Bayo INIFAP	1,075	1
Negro Comapa	1,065	1
Flor de Mayo M-32	935	2
Pinto Saltillo	833	2
ELS 15-55	796	1
Negro Tropical	793	1
Negro 8025	784	3
DOR-448	689	4
Negro UCR-55	606	5
Negro Veracruz	586	7
Flor de Mayo Eugenia	500	7
Negro Otomí	485	7
Negro Michigan (TR)	445	7



Genotipo / Variedad	Rendimiento (kg/ha)	Valores de reacción a Mancha angular*
Peruano 1	288	7
Flor de Junio León 8058	280	7
Criollo Negro Chichiquila (TL)	268	7
Negro INIFAP	233	7
Flor de Mayo Dolores	205	7

TR = Testigo regional TL= Testigo local.

*Escala de 1 a 9, cuyos valores son: 1 a 3 = resistente, 4 a 6 = intermedia y 7 a 9 = susceptible

En el ciclo I-P 2012 de humedad residual, las variedades se cosecharon a los 110 días de la siembra (fecha de siembra 19 de marzo), esto debido a presencia de bajas temperaturas nocturnas en las primeras fases de desarrollo del cultivo, que se presentaron durante el mes de marzo que ampliaron el ciclo fenológico del cultivo. Además, se presentó un periodo de sequía de 15 días durante la finalización de la fase vegetativa V4 e inicio de la fase reproductiva R5. Las condiciones de baja humedad ambiental en la fase intermedia del ciclo fenológico no favorecieron la presencia de la mancha angular en los genotipos evaluados, por lo que los rendimientos no fueron afectados. Un grupo de variedades mejoradas y genotipos del INIFAP, presentaron mayor rendimiento desde 6 a 163% con respecto al testigo regional y de 45 a 445% más de grano por hectárea en comparación con el testigo local (Cuadro 2). Es importante destacar que las variedades Pinto Saltillo (Sánchez *et al.*, 2010), peruano 1 y Bayo INIFAP fueron dañadas por el picudo de la vaina, siendo Bayo INIFAP el más afectado, con pérdida del 60% del rendimiento de grano (Ugalde *et al.*, 2012b).

Cuadro 2. Rendimiento de grano de variedades de frijol en Chichiquila, Puebla. Ciclo I-P 2012 de humedad residual.

Genotipo / Variedad	Rendimiento (kg/ha)
León 8058	2,755
Negro UCR-55	1,650
DOR-448	1,405
Pinto Saltillo	1,390
ELS 15-55	1,289



Genotipo / Variedad	Rendimiento (kg/ha)
Negro Otomí	1,237
Negro Comapa	1,235
Negro Tropical	1,122
Flor de Mayo M-32	1,117
Negro Michigan (TR)	1,048
Peruano 1	893
Negro INIFAP	820
Negro 8025	787
Negro Jamapa	762
Flor de Mayo Eugenia	733
Criollo Negro Chichiquila (TL)	505
Flor de Mayo Dolores	490
Negro Veracruz	332
Bayo INIFAP	318

TR = Testigo regional TL= Testigo local.

En los años 2021 y 22 la conducción del módulo de Tecamachalco fue durante el ciclo primavera-verano de temporal con apoyo de un evento de riego de auxilio mediante el sistema de rodado. En ambos ciclos productivos se registraron importantes datos de rendimiento del comportamiento de las variedades mejoradas de frijol, superiores en 180% al promedio regional. La respuesta de las variedades a suelos pobres en materia orgánica de 0.09% y bajo uso de insumos fue muy buena, con rendimientos que superaron los obtenidos con el frijol nativo. Se presentaron incidencias leves por enfermedades como roya, antracnosis y tizón común, con incidencias que variaron del 2-5%. Poca presencia de plagas como mosca blanca y picudo del ejote. El número de días a floración promedio fue de 54 días y 86 días a madurez fisiológica. Los materiales más sobresalientes fueron las variedades Negro Tacaná, Negro Veracruz y Negro Cotaxtla 91. En variedades de grano pinto, los mejores fueron Pinto Saltillo y Pinto Zapata. Las mejores variedades de grano tipo Flor de Mayo fueron Flor de Mayo Dolores y Flor de mayo 32. (Cuadro 3).



Cuadro 3. Rendimiento promedio de grano de variedades de frijol de diferentes clases comerciales de frijol kg ha⁻¹. Ciclos P-V 2021 y P-V 2022 en Tecamachalco, Puebla.

Genotipo	Rendimiento Promedio
	(kg/ha)
Pinto Zapata	3,188
Negro Tacaná	3,125
Pinto Saltillo	2,875
Negro Veracruz	2,353
Flor de Mayo Dolores	2,156
N. Huasteco 81	2,140
Negro Cotaxtla 91	2,045
Negro Comapa	1,990
Negro Albicampo	1,879
Negro Primavera A-28	1,843
Negro Michigan	1,822
Negro Tropical	1,791
Negro 8025	1,628
Negro Jamapa	1,587
Negro INIFAP	1,577
Flor de Mayo 32	1,375
Negro Medellín	1,223
Negro Papaloapan	1,094
Peruano 1	1,031
Peruano 3	938
Bayo INIFAP	938

En el módulo de Tehuacán, las variedades Negro Veracruz y Negro Cotaxtla tuvieron un rendimiento superior debido al manejo de la nutrición y la aplicación de un programa de riego por goteo (Cuadro 4).



Cuadro 4. Rendimiento promedio de grano de variedades de frijol negro. Ciclo P-V 2021 en Tehuacán, Puebla.

Genotipo	Rendimiento Promedio (kg/ha)
Negro Veracruz	2,830
Negro Cotaxtla	2,747
Negro Huasteco 81	1,873
Negro Michigan	1,831
Negro Jamapa	1,581
Negro Comapa	1,541
Negro Primavera A-28	1,373
Negro INIFAP	1,373
Negro Tropical	1,332
Negro Albicampo	1,290
Negro Medellín	1,165
Negro 8025	1,040

El comportamiento de las variedades de frijol en rendimiento fue diferente en todos los años y ciclos de producción (Cuadro 5), lo que permite contar con un dominio de recomendación para cada región agroecológica (Ugalde *et al.*, 2022).

Cuadro 5. Rendimiento promedio de grano de variedades de frijol en las regiones de Sierra Oriental, Tehuacán y Tecamachalco-Chachicomula de Sesma, Puebla. Durante los ciclos P-V 2011, I-P 2012, P-V 2020, P-V 2021 y P-V 2022.

Genotipo	CHI P-V 2011	CHI I-P 2012	TEH P-V 2020	TEC P-V 2021	TEH P-V 2021	TEC P-V 2022	Rend. Prom. (kg/ha)
Pinto Zapata				3,188			3,188
Negro Tacaná				3,125			3,125
Negro 17-99				2,656			2,656
Flor de Mayo Dolores				2,156			2,156
Negro Huasteco 81				2,406	1,873		2,140



Genotipo	CHI P-V 2011	CHI I-P 2012	TEH P-V 2020	TEC P-V 2021	TEH P-V 2021	TEC P-V 2022	Rend. Prom. (kg/ha)
Negro Cotaxtla 91				1,344	2,747		2,045
Negro Albicampo				2,469	1,290		1,879
Negro Primavera A-28				2,313	1,373		1,843
Negro ELS 15-55	796	1,289		3,125			1,737
Pinto Saltillo	833	1,390		2,875			1,699
Negro Comapa	1,065	1,235	2,133	2,297	1,541		1,654
Negro Tropical	793	1,122		2,250	1,332		1,374
Negro Michigan	445	1,408		1,813	1,831		1,374
DOR-448	689	1,405		1,906			1,333
Negro Veracruz	586	332		1,875	2,830	1,000	1,325
Negro Jamapa Cotaxtla		762		1,594	1,581		1,312
Flor de Mayo León	280	2,755				900	1,312
Negro 8025	784	787	2,000	1,844	1,040		1,291
Negro UCR-55	606	1,650		1,594			1,283
Flor de Mayo M-32	935	1,117		1,375			1,142
Negro INIFAP	233	820		1,781	1,373		1,052
Negro Medellín				1,281	1,165	600	1,015
Peruano 3				938			938
Negro Otomí	485	1,237					861
Negro Papaloapan				1,094		600	847
Bayo INIFAP	1,075			938		500	838
Peruano 1	288	893		1,031			737
Flor de Mayo Eugenia	500	733					617
Criollo	268	505					387
Flor de Mayo Dolores	205					500	353

CHI = Chichiquila, TEH = Tehuacán y TEC = Tecamachalco.

Transferencia de tecnología a productores de las regiones de Sierra Oriental, Coxcatlán - Tehuacán y Tecamachalco - Chachicomula de Sesma, Puebla

Durante los periodos de evaluación de variedades de frijol, paralelamente se realizaron acciones de



transferencia a 457 productores, con el establecimiento de módulos demostrativos con tres variedades en pequeñas parcelas, en las cuales se obtuvo un rendimiento potencial promedio de 1,318 kg/ha superior en 174% al promedio regional, lo cual comprueba el impacto de la productividad de las variedades observada en los módulos de evaluación (Cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento promedio de grano de variedades de frijol sembradas por productores de las regiones de Sierra Oriental, Coxcatlán - Tehuacán y Tecamachalco - Chachicomula de Sesma, Puebla. Ciclos P-V 2011, I-P 2012, P-V 2020, P-V 2021 y P-V 2022.

Ciclo	Región	Localidad	Productores usuarios	Genotipo	Rendimiento (kg/ha)	
2011	P-V	Sierra Oriental	Chichiquila	127	Negro Comapa	1575
2012	I-P	Sierra Oriental	Chichiquila	245	Negro Tropical	1356
2020	P-V	Sierra Negra	Coxcatlán	20	Negro Comapa	1680
2020	P-V	Tehuacán	San Diego Chalma	10	Negro Comapa	1762
2020	P-V	Tehuacán	Magdalena Cuayucatepec	8	Negro 8025	2006
2021	P-V	Tehuacán	Varios sitios	39	Negro Comapa	646
2022	P-V	Sierra Oriental	Coxcatlán	5	Negro Comapa	2016
2022	P-V	Chachicomula de Sesma	San Francisco	1	Negro 8025	750
2022	P-V	Tlachichuca	Tlachichuca	1	Negro 8025	745
2022	P-V	Zautla	Zautla	1	Negro 8025	650

Conclusiones

1. Se identificaron un grupo de 12 variedades de frijol de INIFAP de diversas clases comerciales con adaptación edafoclimática a nichos ecológicamente desconocidos, lo que contribuirá a la productividad sustentable del frijol, abasto y rentabilidad de los productores del sureste de Puebla.



Agradecimientos

Al Ayuntamiento de Chichiquila, Puebla 2010-2012 por el financiamiento del proyecto Modelo de transferencia de tecnología de maíz y frijol, para fomentar la siembra y autoabasto familiar en comunidades marginadas de Chichiquila, Puebla.

Al CONACYT por el financiamiento del proyecto Desarrollo de variedades de frijol de alto rendimiento, tolerantes a sequía, resistentes a patógenos y con la calidad que demanda el consumidor 2010-2013.

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto Innovación y transferencia de variedades de frijol modalidad municipal, para incrementar productividad, rentabilidad y abasto, para los productores de las cuencas hidrológicas del Golfo México 2020-22.

Literatura Citada

Acosta, G. J. A., B. M. Sánchez G., Y. Jiménez H., V. Montero T., F. M. Mendoza H., G. Herrera H. *et al.* 2011. Flor de Mayo Dolores: nueva variedad de Frijol para riego y temporal en Guanajuato. REMEXCA 2(6):993-999.

López, S. E., O. H. Tosquy V., B. Villar S., J. R. Rodríguez R., F. J. Ugalde A., A. Morales R. *et al.* 2010. Negro Comapa, nueva variedad de frijol para el estado de Veracruz. Descripción de cultivar. REMEXCA 1(5):715-721.

Rosales, S. R., J. A. Acosta G., J. S. Muruaga M., J. M. Hernández C., G. Esquivel E. y P. Pérez H. 2004. Variedades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. de Méx., México. 148 p.

Sánchez V. I., J. A. Acosta, G., F. J. Ibarra P., R. Rosales S. y E. I. Cuellar R. 2006. Pinto Saltillo, nueva variedad de frijol para el Altiplano de México. Folleto Técnico Núm. 22. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Saltillo. Saltillo, Coah., México. 22 p.



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). <https://www.gob.mx/siap> SADER. México, D. F. [consultado el 8 junio de 2023].

Ugalde, A. F. J. 2021. Logros productivos por productores de frijol en la Cuenca hidrológica del Papaloapan en pandemia-COVID. p. 31. *In: Memoria del XVI Simposio Internacional y XI Congreso Nacional de Agricultura Sostenible.*

Ugalde, A. F. J., G. Díaz, P., R. Guajardo P., S. Barrón F., A. Guiris G., S. Alvarado M. *et al.* 2022. Variedades de frijol eco-productivas, para mitigar efectos del cambio climático en el Golfo de México. p. 15-23. *In: Memoria de la XXXIV Reunión Científica - Tecnológica, Forestal y Agropecuaria Veracruz 2022.* Villahermosa, Tab., México.

Ugalde, A. F. J., P. C. Hernández F., S. Rosas R., A. Ramírez M., L. Bernabé A., J. B. Flores M. *et al.* 2012a. Respuesta productiva de variedades de frijol del INIFAP, en la Sierra Oriental de Puebla, México. p. 76. *In: Memoria de la LVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales.* Ciudad de Panamá, Panamá.

Ugalde, A. F. J., O. H. Tosquy V., E. López S., J. A. Acosta G., E. J. Rodríguez E., J. Romero M. *et al.* 2012b. Validación de variedades de frijol negro de clima tropical y templado en Acultzingo, Veracruz, México. p. 77. *In: Memoria de la LVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales.* Ciudad de Panamá, Panamá.

Ugalde, A. F. J., O. H. Tosquy V., E. López S., A. Morales R., E. Luna G., E. Xocua P. *et al.* 2010. Respuesta productiva de variedades de frijol en la región de las Altas Montañas del centro de Veracruz. p. 49. *In: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola Campeche 2010.* Campeche, Camp., México.



TAMAÑO DE SEMILLA Y VARIABILIDAD AGRONÓMICA DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DE MÉXICO

Antonio Villalobos González^{114*}, Ignacio Benítez Riquelme¹¹⁴, Fernando Castillo González¹¹⁴,
Ma. Del Carmen Mendoza Castillo¹¹⁴ y Alejandro Espinosa Calderón¹¹⁵

Resumen

Un tamaño uniforme de semilla en maíz es un requisito previo para rendimientos estables. Se evaluaron semillas grandes y pequeñas de cuatro genotipos: dos de grano blanco (CP-V 20 y V-60) y dos de grano amarillo (V-55 A y V-54 A) de maíz de Valles Altos de México. Se instalaron dos experimentos con un diseño de bloques completamente al azar con cinco repeticiones en 2020: el primero en octubre con semilla grande (0.13 ± 0.01 g) y el segundo en noviembre con semilla pequeña (0.10 ± 0.02 g). La siembra se realizó en bolsas negra de polietileno 40x40 con sustrato a base de peat-moss (2.5 kg) + perlita (1.5 kg) + tezontle rojo (6 kg) a una profundidad de 10 cm. El tamaño de semilla afectó ($P \leq 0.05$) la longitud (LM) y ancho de mazorca (ANM), peso de mazorca (PM), peso de grano por mazorca (PG), número de hileras (NH) y granos por hilera (NGH). Los genotipos por tamaño de semilla y color fueron distintos ($P \leq 0.05$) en la longitud y ancho de grano, PM y PG cuando las plantas provenían de semilla grande. Mientras que al utilizar semilla pequeña fueron diferentes ($P \leq 0.05$) en LM, NH y PG. Las variedades CP-V 20 y V-55 A con ambos tamaños de semilla y color fueron las que sobresalieron ($P \leq 0.05$) para la mayoría de las características agronómicas.

Palabras clave: variedad, color, caracteres

Introducción

Los rendimientos estables en maíz dependen en gran medida de la forma, tamaño, peso de la semilla, germinación y vigor, que son parámetros fisiológicos y morfológicos de calidad de la semilla

¹¹⁴ Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Colegio de Postgraduados. antonio.villalobos@colpos.mx

¹¹⁵ Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM).



(Tabakovic *et al.*, 2020). Anders *et al.* (2020) indica que la calidad de la semilla es uno de los factores que se suman a la variabilidad del rendimiento y se ha convertido en una preocupación para los productores de maíz. Los productores de semillas híbridas afirman que sus semillas brindan uniformidad en la emergencia y productividad de los cultivos, pero no siempre brindan estudios detallados para respaldar esta afirmación (Kandasamy *et al.*, 2020).

El establecimiento uniforme del cultivo es un componente clave para lograr un buen potencial de rendimiento del cultivo y garantizar la rentabilidad (Kumar *et al.*, 2018). El tamaño de la semilla es ampliamente aceptado como una medida de la calidad de la semilla, que puede afectar el porcentaje de germinación, el vigor de la plántula, la competencia de la planta con las especies de malezas competidoras, el rendimiento del grano y la calidad del grano producido (Kaydan y Yagmur, 2008). La separación comercial por tamaño de semilla que se realiza en los lotes de semilla por las empresas semilleras es importante para obtener siembras uniformes con objeto de obtener mayor rendimiento de grano (Kimmelshue *et al.*, 2022).

El maíz (*Zea mays* L.) en los Valles Altos de México (2 200 a 2 600 m) es producido por pequeños y medianos productores que no cuentan con recursos económicos y tecnologías adecuadas en la realización de su cultivo, alcanzando este límite los máximos potenciales de rendimiento de grano (Martínez *et al.*, 2022) y a pesar de que hay materiales ya mejorados con estabilidad de rendimiento (Vázquez *et al.*, 2020), existe una insuficiencia en la producción de maíz, que se traduce en la importación de hasta 15 millones de toneladas de grano, urge aumentar la productividad de este cultivo, utilizando más y mejores variedades de grano blanco y amarillo (Martínez *et al.*, 2018).

En este contexto es muy importante el estudio del tamaño de semilla de maíz de grano blanco y amarillo sobre el comportamiento agronómico, rendimiento y sus componentes en maíces de Valles Altos, donde se busca variedades promisorias para siembras en la región.

Materiales y Métodos

Se establecieron dos experimentos en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, México (19° 21' LN, 98° 55' LO; altitud 2250 m) durante el ciclo de verano-otoño (V-O) 2020. Se evaluaron cuatro variedades: tres (V-60, V-55 A, V-54) obtenidas por INIFAP para áreas de Valles Altos de México y una variedad (CP V-20) obtenidas por el Colegio de Postgraduados para áreas de Valles



Altos de México. Los experimentos se establecieron en octubre y noviembre al utilizar semilla grande (0.13 ± 0.01 g) y pequeña (0.10 ± 0.02 g). En ambos experimentos se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La siembra se realizó en bolsas negra de polietileno 40x40 con sustrato a base de peat-moss (2.5 kg) + perlita (1.5 kg) + tezontle rojo (6 kg) a una profundidad de 10 cm. La unidad experimental consistió de una maceta por repetición. Los datos de todas las variables determinadas se registraron como promedios por planta. Se registraron las variables: longitud de mazorca (LM, en cm) y ancho de mazorca (AM, en cm); se registró al cosechar la mazorca en MF, al utilizar una regla milimétrica. Peso de mazorca (PM, en g), peso de grano por mazorca (PG, en g), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH), longitud (LG) y ancho (AG) de 10 granos se determinó al medir cada una de las cinco plantas.

Los análisis de varianza individuales y combinados se realizaron con el programa estadístico SAS®, v. 9.1 para Windows (SAS, 2009). La comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Se detectó significancia para las fuentes de variación tamaños de semilla (TS), color de semilla (CO) y genotipos (GE) en las ocho características. En el caso de la interacción GE por TS ($P \leq 0.05$) se observó significancia en longitud de mazorca, número de hileras y granos por hilera, ancho de grano, peso de mazorca y peso de grano; con acepción del ancho de mazorca y longitud de grano (Cuadro 1). Para el CO, se observó variación en el ancho de grano y peso de mazorca (Cuadro 2 y 3); lo que demuestra una amplia variación para las variables bajo estudio y entre los dos tamaños de semilla y color. Con base en la descomposición de los cuadrados medios de los factores de variación, se observó que los caracteres del número de granos por hilera, peso de mazorca y peso de grano por mazorca, presentaron mayor ($P \leq 0.05$) valor significativo para tipo de semilla, genotipo e interacción genotipo por habiente (Cuadro 1).

En relación a la comparación entre los colores de grano se observaron diferencias para la longitud y ancho de grano, peso de mazorca y grano, cuando los genotipos provenían de semilla grande (Cuadro 3).



Cuadro 1. Resultados del ANOVA para longitud y ancho de mazorca y otras características agronómicas de maíz provenientes de semilla grande y pequeña. Ciclo V-O 2020.

FV	GL	LM	ANM	LG	AG	NH	NGH	PM	PG
TS	1	74.11*	0.55 ^{ns}	0.91 ^{ns}	1.12 ^{ns}	18.00*	1352.00*	14141.41*	6421.27*
G	3	9.47*	1.06 ^{ns}	13.48*	2.08*	7.16*	67.00*	1849.65*	1502.81*
G x TS	3	12.36*	0.96 ^{ns}	0.67 ^{ns}	1.75*	2.00*	74.33*	1768.98*	1557.08*
Error	21	2.79	0.49	0.69	0.32	0.21	5.46	124.09	63.33
Total	31								
C.V. (%)		14.2	21.8	8.9	7.2	3.7	14.6	17.3	14.8

FV=fuente de variación; GL=grados de libertad; LM y ANM=longitud y ancho de mazorca; NH=número de hileras; NGH=número de granos por hilera; LG y AG=longitud y ancho de 10 granos; PM=peso de mazorca; PG=peso de grano por mazorca; TS=tamaño de semilla; G=genotipo. *= $P \leq 0.05$; ^{ns}= no significativo.

Cuadro 2. Resultados del ANOVA para características agronómicas de maíz provenientes de semilla grande y pequeña. Ciclo V-O 2020.

FV	GL	LM	ANM	LG	AG	NH	NGH	PM	PG
CO	1	2.70 ^{ns}	1.05 ^{ns}	7.80*	3.00*	4.50*	12.50 ^{ns}	552.78 ^{ns}	1421.77 ^{ns}
SB/TS	1	23.52 ^{ns}	1.27 ^{ns}	1.96 ^{ns}	0.30 ^{ns}	16.00*	841.00*	12882.25*	2835.56*
SA/TS	1	53.66*	0.01 ^{ns}	2.50 ^{ns}	4.20*	4.00 ^{ns}	529.00*	2943.06*	3609.01*
TS	1	74.11*	0.55 ^{ns}	0.91 ^{ns}	1.12 ^{ns}	18.0*	1352.00*	14070.03*	6421.27*
CO*TS	1	3.06 ^{ns}	0.72 ^{ns}	1.05 ^{ns}	3.38*	2.00 ^{ns}	18.00 ^{ns}	1755.28*	23.29 ^{ns}
Error	21	4.04	0.56	0.73	0.49	0.92	14.21	336.53	383.75
Total	31								
C.V. (%)		17.1	23.4	9.1	8.9	7.7	23.5	28.5	19.5

FV=fuente de variación; GL=grados de libertad; LM y ANM=longitud y ancho de mazorca; NH=número de hileras; NGH=número de granos por hilera; LG y AG=longitud y ancho de 10 granos; PM=peso de mazorca; PG=peso de grano por mazorca; TS=tamaño de semilla; G=genotipo. *= $P \leq 0.05$; ^{ns}= no significativo.

También en el Cuadro 3, se muestra que al utilizar semilla pequeña son diferentes en longitud de mazorca, número de hileras y peso de grano. Entre genotipos de semilla grande y color de grano blanco se obtuvo diferencias ($P \leq 0.05$) en el número de hileras y granos por hilera, longitud de grano y peso de grano por mazorca. Mientras que entre genotipos de semilla grande y color de grano amarillo se obtuvo diferencias ($P \leq 0.05$) en número de hileras. Para el tamaño de semilla pequeña y color de grano blanco se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) para longitud de grano y peso de grano por mazorca. Con respecto a



semilla pequeña y color de grano amarillo se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) en el número de hileras y granos por hilera, longitud y ancho de grano, peso de mazorca y peso de grano (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del ANOVA para características agronómicas de maíz provenientes de semilla grande y pequeña. Ciclo V-O 2020.

FV	GL	LM	ANM	NH	NGH	LG	AG	PM	PG
SG									
Genotipo	3	5.14 ^{ns}	0.08 ^{ns}	4.25*	19.50*	9.29*	2.98*	718.97*	425.23*
B	1	8.82 ^{ns}	0.13 ^{ns}	4.50*	55.13*	16.53*	2.31 ^{ns}	31.60 ^{ns}	703.13*
A	1	0.85 ^{ns}	0.10 ^{ns}	8.00*	3.13 ^{ns}	4.06 ^{ns}	0.25 ^{ns}	50.50 ^{ns}	32.00 ^{ns}
B vs A	1	5.76 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.25 ^{ns}	7.29*	6.38*	2074.80*	540.56*
Error	12	4.61	0.70	0.25	4.29	0.96	0.55	137.06	108.06
Total	15								
C.V. (%)		16.1	24.9	3.8	9.2	10.6	9.7	13.7	15.3
SP									
Genotipo	3	16.70*	1.95*	4.92*	121.83*	4.86*	0.86*	2899.68*	2634.67*
B	1	9.46 ^{ns}	1.90 ^{ns}	0.50 ^{ns}	10.13 ^{ns}	7.41*	0.78 ^{ns}	124.82 ^{ns}	1984.50*
A	1	10.13 ^{ns}	2.21 ^{ns}	8.00*	325.13*	5.61*	1.81*	8404.56*	5015.01*
B vs A	1	30.53*	1.76 ^{ns}	6.25*	30.25 ^{ns}	1.56 ^{ns}	0.01 ^{ns}	169.65 ^{ns}	904.51*
Error	12	3.66	0.48	0.25	7.54	0.56	0.24	85.95	54.51
Total	15								
C.V. (%)		18.6	22.5	4.3	28.9	7.8	6.1	21.4	18.7

FV=fuente de variación; GL=grados de libertad; LM y ANM=longitud y ancho de mazorca; NH=número de hileras; NGH=número de granos por hilera; LG y AG=longitud y ancho de 10 granos; PM=peso de mazorca; PG=peso de grano por mazorca; SG=semilla grande; SP=semilla pequeña; B=semilla de color blanco; A=semilla color amarillo. *= $P \leq 0.05$; ^{ns}= no significativo.

Longitud y ancho de mazorca

Los genotipos provenientes de SG presentaron la mayor longitud (LM) y ancho de mazorca (ANM) (Cuadro 4). La variedad V-54 A de grano amarillo (GA) sobresalió con mayor ($P \leq 0.05$) LM y ANM entre los genotipos provenientes de SP; sin embargo, al compararlo con SG fue inferior ($P \leq 0.05$) en un 6% sobre la LM y ANM. El TS también redujo en un 15% la LM y 17% el ANM en la variedad V-60



de grano blanco (GB) (Cuadro 4). Estos estudios se asimilan a los realizados por Kara (2011) al estudiar tres tamaños/formas diferentes de 4.5 a 5.5 mm, de 5.5 a 6.5 mm y de 6.5 mm, al observar que el rendimiento de grano y las características de la mazorca (diámetro de la mazorca, LM, número de granos por mazorca y peso de mazorca) se vieron afectados significativamente por el TS.

Cuadro 4. Medias de características agronómicas de maíz provenientes de semilla grande y pequeña. Ciclo V-O 2020.

Genotipo	TS	LM (cm)	ANM (cm)	NH	NGH	LG (cm)	AG (cm)	PM (g)	PG (g)
CP-V 20	G	13.7 a	3.2 a	12 b	25 a	11.3 a	8.8 a	98 a	83 a
	P	10.5 ab	3.9 a	12 a	9 b	10.8 a	8.3 a	44 b	31 b
V-60	G	11.6 a	3.5 a	14 a	20 b	8.4 b	7.7 ab	95 a	64 ab
	P	9.9 bc	2.9 ab	12 a	7 b	8.9 bc	7.6 a	36 bc	63 a
V-54 A	G	13.5 a	3.4 a	14 a	22 ab	9.2 ab	7.1 b	76 a	64 ab
	P	12.7 a	3.2 ab	12 a	17 a	10.0 ab	7.5 a	79 a	57 a
V-55 A	G	14.2 a	3.2 a	12 b	23 ab	7.8 b	6.8 b	71 a	60 b
	P	7.7 c	2.2 b	10 b	4 b	8.4 c	8.5 a	14 c	7 c
Media	G	13.2	3.3	13	22	9.2	7.6	85	68
	P	10.2	3.0	12	9	9.5	8.0	43	39
C.V. (%)	G	13.7	24.0	3.8	9.9	10.8	9.0	15.3	15.0
	P	11.6	20.1	4.3	25.7	6.0	5.6	24.2	16.4

TS=tamaño de semilla; G=grande; P=pequeña; medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$); LM y ANM=longitud y ancho de mazorca; NH=número de hileras; NGH=número de granos por hilera; LG y AG =longitud y ancho de 10 granos; PM=peso de mazorca; PG=peso de grano por mazorca.

Peso de mazorca

En promedio el TS redujo el peso de mazorca en un 49%. Las variedades provenientes de SG presentaron mayor ($P \leq 0.05$) peso de mazorca (PM) (Cuadro 4). También se observó que V-54 A sobresalió entre los genotipos provenientes de SP, al presentar una diferencia superior sobre la V-55 A del 82%, V-60 con 54% y CP-V 20 con 44%, respectivamente. Los genotipos provenientes de SG no presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) para PM. En otros estudios de maíz para Valles Altos de México (Martínez *et al.*, 2018) se obtuvo mayor PM en comparación con los del presente estudio, al observarse



una diferencia superior en el PM del 79% para SG y 58% para SP. Kara (2011) observo que el TS afecto el PM, al presentarse mayor PM con SG en comparación con las semillas medianas y pequeñas.

Número de hileras y granos por hilera

Las variedades con ambos TS presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) significativas para el número de hileras (NH) y granos por hilera (NGH). El TS redujo ($P \leq 0.05$) el NH en un 8% y en un 59% el NGH. La variedad V-55 A presentó el menor ($P \leq 0.05$) NH entre los genotipos provenientes de SP. Mientras que V-60 y V-54 sobresalieron con mayor ($P \leq 0.05$) NH entre los genotipos provenientes de SG (Cuadro 4). Estudios relacionados con el TS de maíz (EnayatGholizadeh *et al.*, 2012) indican que el TS desempeña un papel importante en la vida útil de la planta y determina parcialmente el número de semillas producidas en la mazorca, que se ve afectado por factores ambientales complejos. En relación con NGH para los genotipos provenientes de SG, la variedad CP-V 20 presentó el mayor ($P \leq 0.05$) NGH con una diferencia superior del 20% sobre V-60, 12% sobre V-54 A y con 8% para V-55 A. Mientras que, para el tamaño de SP, la variedad que sobresalió con mayor ($P \leq 0.05$) fue V-54 A con una diferencia superior del 76% sobre V-55 A, 59% sobre V-60 y con 47% para CP-V 20. Resultados similares se presentaron en el trabajo de EnayatGholizadeh *et al.* (2012) al estudiar una variedad de maíz bajo diferentes TS (6, 6.5 y 7 mm) al observar que el TS afecto el número de semillas en la mazorca, NH, NGH y el peso de 1000 granos. Adicionalmente el rendimiento de grano aumentó con semillas de mayor tamaño.

Peso de grano por mazorca

El tamaño de semilla también afecto el peso de grano por mazorca (PG) de las variedades, al disminuir el PG en un 43% (Cuadro 4). Esta reducción fue mayor ($P \leq 0.05$) al comparar la variedad V-55 A de GA y CP-V 20 de GB, donde el TS disminuyo el PG en un 88% para V-55 A y 62% para CP-V 20. Mientras que V-60 obtuvo la menor ($P \leq 0.05$) variación por efecto del TS con un 1.5%. Trabajos efectuados por Kimmelshue *et al.* (2022) en maíz, observaron que importante seleccionar buenos materiales de siembra con tamaño grande de semilla, porque algunos presentan variabilidad a la emergencia, peso de grano y rendimiento de grano. También observaron que las interacciones bidireccionales entre el tamaño de la semilla y la genética híbrida, la profundidad de siembra o los sistemas de cultivo no fueron significativas.

Longitud y ancho de grano

El tamaño de semilla también ocasiono efectos en la longitud (LG) y ancho de grano (AG) (Cuadro 4). La variedad CP-V 20 con ambos TS presentó la mayor ($P \leq 0.05$) LG y AG, con excepción del tamaño



de SP para AG. Estas diferencias se observaron con mayor ($P \leq 0.05$) magnitud sobre las variedades V-55 A y V-60 provenientes de SP con una LG superior del 28% y 22% sobre la V-55 A proveniente de SG; y además se observase, que la variedad CP-V 20 de GB presentó una variación superior en el AG del 21% sobre V-55 A y V-54 A de GA. Estos estudios coinciden con los trabajos de Pérez *et al.* (2006), al observar que el tamaño de semilla ocasiono cambios en el tamaño de semilla de seis híbridos (Promesa, HS-2, H-157, H-135, H-358 y A-791), dos variedades sintéticas VS-2000 y VS-22 y el criollo (Campeón). También Acosta *et al.* (2013) observaron resultados similares a los del presente trabajo sobre la longitud y ancho de grano, al obtener longitudes de 1.04 a 1.15 cm y 0.87 a 1.0 cm de ancho. Batistella *et al* (2002) reportaron la caracterización de variedades de maíz con base en la longitud de semilla, y en cuanto al tamaño, indican que el peso de mil semillas es el más conveniente, independientemente de la variedad.

Color de semilla

En relación con color de la semilla, en promedio las variedades de GB provenientes de SP presentaron mayor ($P \leq 0.05$) NH, que las variedades de GA, con excepción en semillas de tamaño grande, al no observarse diferencias ($P \leq 0.05$) entre el tipo de color de semilla (Cuadro 5). También las variedades de GB provenientes de SG presentaron mayor ($P \leq 0.05$) LG (con 13%), AG (con 15%), PM (con 23%) y PG (con 16%), con excepción en los genotipos de SP para LG, AG y PM. En este estudio se logró observar que las variedades e independientemente del color y genotipo presentan una variabilidad en la LG y AG, lo que sugiere que es importante identificar esta variable de calidad física para clasificarlas. Pérez *et al.* (2006) indica que las variables de calidad física de mayor importancia para clasificar variedades por su TS fueron las medidas de longitud, ancho y espesor y en menor proporción el peso de mil semillas, al sobresalir las variedades: Campeón, VS-2000 y VS-22. Batistella *et al* (2002) reportaron la caracterización de variedades de maíz con base en la longitud de semilla, y en cuanto al tamaño, indican que el peso de mil semillas es el más conveniente, independientemente de la variedad.

Cuadro 5. Media de características de maíz de grano blanco y amarillo provenientes de semilla grande y pequeña. Ciclo V-O 2020.

Color de grano	LM (cm)	ANM (cm)	NH	NGH	LG (cm)	AG (cm)	PM (g)	PG (g)
Semilla grande								
Blanco	12.6 a	3.3 a	13 a	23 a	9.8 a	8.2 a	96.5 a	73.6 a
Amarillo	13.8 a	3.3 a	13 a	22 a	8.5 b	7.0 b	73.8 b	62.0 b



Color de grano	LM (cm)	ANM (cm)	NH	NGH	LG (cm)	AG (cm)	PM (g)	PG (g)
C.V. (%)	13.7	24.0	3.8	9.9	10.8	9.0	15.3	15.0
Semilla pequeña								
Blanco	10.2 a	3.4 a	12 a	8 a	9.8 a	7.9 a	39.9 a	47.0 a
Amarillo	10.2 a	2.7 a	11 b	11 a	9.2 a	8.0 a	46.4 a	31.9 b
C.V. (%)	11.6	20.1	4.3	25.7	6.0	5.6	24.2	16.4

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$); LM y ANM= longitud y ancho de mazorca; NH=número de hileras; NGH=número de granos por hilera; LG y AG=longitud y ancho de 10 granos; PM=peso de mazorca; PG=peso de grano por mazorca; LM=longitud de mazorca; ANM=ancho de mazorca.

Conclusiones

1. El tamaño de semilla afectó la longitud y ancho de mazorca, peso de mazorca, peso de grano por mazorca, número de hileras y granos por hilera.
2. Por tamaño de semilla y color son distintos en la longitud y ancho de grano, peso de mazorca y peso de grano cuando se utiliza semilla grande. Al utilizar semilla pequeña son diferentes en longitud de mazorca, número de hileras y peso de grano.
3. CP-V 20 y V 55 A con ambos tamaños de semilla y color fueron las que sobresalieron para la mayoría de las variables.

Literatura Citada

- Acosta, R. R., L. Colomer A.R., L. Ríos H. y C. Martínez M. 2013. Evaluación morfológica de una población de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabano, provincia Mayabeque. *Cultivos tropicales* 34 (2):53-60.
- Anders, A., P. Markowski, S. Konopka, Y. Kaliniewicz, A. Lipinski J. and D. Choszcz J. 2020. Effect of seeding rate on selected physical parameters and biomass yield of maize. *Chilean Journal of Agricultural Research* 80 (2):171-180.



- Batistella, F. F., V. Moro F. and M. De Carvalho N. 2002. Relationships between physical, morphological, and physiological characteristics of seeds developed at different positions of the ear of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Seed Sci. Tech.* 30 (1):97-106.
- EnayatGholizadeh, M. R., A. Bakhshandeh M., M. Dehghan S., M. Ghaineh H., K. Alami H. S. and M. Sharafizadeh. 2012. Effect of source and seed size on yield component of corn S.C704 in Khuzestan. *African Journal of Biotechnology* 11 (12):2938-2944.
- Kandasamy, S., N. Weerasuriya, D. Gritsiouk, G. Patterson, S. Saldias, S. Ali. *et al.* 2020. Size variability in seed lot impact seed nutritional balance, seedling vigor, microbial composition and plant performance of common corn hybrids. *Agronomy* 10 (157):1-17.
- Kara, B. 2011. Effect of seed size and shape on grain yield and some ear characteristics of maize. *Research on Crops* 12 (3):680-685.
- Kaydan, D. and M. Yagmur. 2008. Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *Afr. J. Biotechnol* 7 (16):2862–2868.
- Kumar, V., S. Jat H., C. Sharma P., S. Balwinder, K. Gathala M., K. Malik R. *et al.* 2018. Can productivity and profitability be enhanced in intensively managed cereal systems while reducing the environmental footprint of production? Assessing sustainable intensification options in the breadbasket of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 252:132-147.
- Kimmelshue, C. L., S. Goggi and K. Moore J. 2022. Seed size, planting depth, and a perennial groundcover system effect on corn emergence and grain yield. *Agronomy* 12 (2):1-19.
- Martínez, G. A., B. Zamudio, G. M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. C. Cardoso G., G. Vázquez C. *et al.* 2018. Performance of white grain corn hybrids in five locations in High Valleys de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (7):1447-1458.



- Martínez, G. A., B. Zamudio G. M. Tadeo R., A. Espinosa C., J. C. Cardoso G. and M. G. Vázquez C. 2022. Yield of corn hybrids in response to foliar fertilization with biostimulants. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13 (2):289-301.
- Pérez, C. M., A. Hernández L., F. V. González C., G. García D.S., A. Carballo C., T. Vázquez R. *et al.* 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México* 32 (3):341-352.
- Tabakovic, M., M. Simic., R. Stanisavljevic, M. Milivojevic, M. Secanski and D. Postic. 2020. Effects of shape and size of hybrid maize seed on germination and vigour of different genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research* 80 (3):381-392.
- Vázquez, C. G., G. Martínez A., G. Zamudio B., C. Espinosa A., R. Tadeo M. y F. Turrent A. 2020. Estabilidad de rendimiento y características fisicoquímicas de grano de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(11):1803-1814.



HETEROSIS EN CRUZAMIENTOS VARIETALES DE MAÍZ PROSPECTOS PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

Mauro Sierra Macías^{116*}, Clara Ríos Isidro¹¹⁶, Noel Gómez Montiel¹¹⁷, Sabel Barrón Freyre¹¹⁸,
Francisco Javier Ugalde Acosta¹¹⁶, Arturo Guiris Guzmán¹¹⁹, José Manuel Almendras León¹¹⁹
y Reyna Michelle Fierro López¹²⁰

Resumen

Los híbridos varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz híbrido debido a la heterosis que resulta de cruzar dos variedades de polinización libre con buena aptitud combinatoria específica. Así, con el objetivo de conocer el rendimiento, la heterosis y las características agronómicas de híbridos varietales de maíz, durante los ciclos primavera verano 2016, 2017, 2018 y 2022 y otoño invierno 2022/23, se evaluaron en Veracruz y Tabasco 20 cruza varietales de maíz, cinco sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 utilizado como testigo. Dichos experimentos se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm en una densidad de 62,500 plantas ha⁻¹. Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano, se encontró significancia estadística $\alpha=0.01$ para Genotipos (G), para Ambientes (A) y para la interacción GxA. Los híbridos varietales sobresalientes en rendimiento con $\alpha=0.01$ fueron: SINT2BxVS-536, SINT4BxVS-536 (HV-570), SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-536, SINT-5BxVS-537C y SINT-1BQxVS-536, SINT-3BxSINT-1BQ, con rendimiento de grano de 6.39 a 6.96 t ha⁻¹, altamente significativos, rendimiento estadísticamente similar al testigo comercial H-520; Así también, los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 17.70, 15.80, 10.78, 5.93, 4.91, 5.25 y 4.85%, para cada híbrido, respectivamente. De las comparaciones y pruebas de t, las cruza varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t ha⁻¹, significativamente mayor en 9% en relación con los progenitores. Particularmente, el híbrido varietal SINT-4BxVS-536 registró un rendimiento promedio de 6.84 t ha⁻¹,

¹¹⁶ Programa de Maíz Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. * Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx; mauro_s55@hotmail.com

¹¹⁷ Campo Experimental Iguala, INIFAP

¹¹⁸ Campo Experimental Huimanguillo, INIFAP

¹¹⁹ CBTA 84, SEP de Carlos A. Carrillo, Ver.

¹²⁰ Instituto Tecnológico de San Bartolo Tuxtepec, Oax. SEP. Campus Cuenca del Papaloapan.



heterosis con respecto al mejor progenitor de 15.80%, es de planta y mazorca baja, con una relación altura de mazorca/ altura de planta de 0.54, es decir, la posición de la mazorca prácticamente a la mitad con relación a la altura de planta, buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, buena cobertura, no presenta pudrición de mazorca y las hojas arriba de la mazorca son en posición semierecta; Por lo anterior, esta craza varietal ha sido definida como prospecto para su liberación oficial ante el SNICS como HV-570.

Palabras clave: *Zea mays* L., divergencia genética, híbridos varietales

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada y generar el 36% del valor de la producción agrícola. El uso principal es el consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. Durante 2018, fueron sembradas en México, 7.95 millones de hectáreas con maíz, de las cuales 7.345 millones fueron para grano, con un rendimiento medio de 3.75 t/ha y una producción de 26.67 millones de toneladas, de las cuales se utilizan para el consumo directo 12.6 millones de toneladas; de estas, el 35% es a través de la industria harinera y 65% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización; durante 2018 se importaron 17.095 millones de toneladas de grano amarillo (SIAP, 2018).

En la región tropical del país se siembran 2.8 millones de hectáreas con maíz, de las cuales, un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 91 mil hectáreas son sembradas bajo condiciones de riego (Espinosa *et al.*, 2012); En esta superficie, es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas con buen potencial de rendimiento bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al.*, 2019).

En la formación de híbridos es importante identificar progenitores con buena aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), buen rendimiento *per se*, tolerancia a stress biótico y abiótico, facilidad y rentabilidad en la producción comercial de semilla (Sierra *et al.*, 2018; Gómez *et al.*, 2017; Trachsel *et al.*, 2016; Tadeo *et al.*, 2021; Tadeo *et al.* 2015; López *et al.*, 2021; Ramírez *et al.*, 2019;). La semilla mejorada es el insumo más importante en la producción de maíz, pues representa el potencial genético y la calidad de la producción (Sierra *et al.*, 2019). En el uso de semilla híbrida, se



aprovecha la varianza genética desviación de aditividad y las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz, dada por la heterocigocis al cruzar progenitores de maíz con relativa divergencia genética (Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 2019; Sierra *et al.*, 2018; Esquivel, *et al.*, 2011; Córdova *et al.*, 2007; Velasco *et al.*, 2019). Para la región tropical, Reyes (1985), usó el patrón heterótico Trópico húmedo x Trópico seco en la formación de los híbridos H-503 y H-507. Sierra *et al.*, (2004), usaron como probadores líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria específica (ACE), LT154, LT155, CML247 y CML254, las cuales permitieron identificar líneas avanzadas y separar grupos heteróticos.

Los híbridos varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz debido a la heterosis que resulta de cruzar dos progenitores variedades de polinización libre; Así también, solamente hay que mantener dos progenitores, por lo tanto, es más fácil y rentable la producción comercial de semilla (Sierra *et al.*, 2018; Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2014; Reyes, 1985; Tadeo *et al.*, 2016; Espinosa *et al.*, 2012; Cervantes *et al.*, 2016; Palemón *et al.*, 2012).

La adaptabilidad de los genotipos permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico (Reyes 1990; Andrés *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018). El modelo de Eberhart y Russell (1966), utiliza el coeficiente de regresión para medir la respuesta de una variedad a distintos ambientes y la desviación de regresión que mide la consistencia de dicha respuesta; Variedad estable es aquella con coeficiente de variación igual a 1 y desviación de regresión igual a 0. El objetivo de la investigación fue conocer el rendimiento, adaptabilidad y las características agronómicas de híbridos varietales de maíz a través de ambientes en los estados de Veracruz y Tabasco, determinar la heterosis con respecto al mejor progenitor y presentar al HV-570, como un nuevo híbrido varietal prospecto para el trópico húmedo de México.

Materiales y Métodos

Localización. La formación de cruza varietales de maíz, se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al INIFAP, ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, localizado a los 18° 56' Latitud Norte y 96° 11' Longitud Oeste y una altitud de 15 msnm; el clima de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (2004), engloba, el grupo climático A (Aw, Am y Af), cálido húmedo y subhúmedo con temperatura media de 25°C y precipitación anual de 1400 mm,



distribuidos de junio a noviembre. El suelo es de origen aluvial, profundo, con textura media a través de todo el perfil, pendiente menor de 1%, buen drenaje y pH ligeramente ácido (6.6). Las localidades de evaluación fueron: Campo Experimental Cotaxtla, CBTA 84 del municipio de Carlos A. Carrillo en Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco con clima Aw1, Aw2 y Am, respectivamente.

Germoplasma utilizado. El germoplasma de maíz utilizado en la presente investigación, son cruza varietales de maíz formadas con variedades sintéticas experimentales pertenecientes a la raza Tuxpeño; Se evaluaron 28 genotipos, de los cuales, 20 son cruza varietales, 5 sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520, utilizado como testigo. El HV-570, equivale a la cruza de SINT4B con VS-536, ambas variedades sintéticas de polinización libre en las cuales se les ha practicado 4 ciclos de selección masal y un ciclo de selección recurrente de progenies S1. Particularmente, SINT 4B es de planta baja, de hoja semierecta, con buen rendimiento, de grano blanco y textura semicristalina; Por lo que se refiere a la versión mejorada de VS-536, se ha hecho énfasis en seleccionar planta y mazorca baja, buena sanidad, vigor, buena carga y grano dentado, con buena cobertura de mazorca y tolerancia al acame (Sierra *et al.*, 2019).

Descripción de los experimentos. Durante primavera verano y otoño invierno 2016 al 2023 se evaluaron 20 cruza varietales de maíz, cinco sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 como testigo, fueron distribuidos bajo un diseño bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, en una densidad de 62,500 plantas/ha, (Reyes, 1990). Para el control de malezas se aplicó Atrazina en forma preemergente; Se fertilizó con la fórmula 161-46-00, aplicando todo el Fósforo y un tercio del Nitrógeno al momento de la siembra, el resto del Nitrógeno en etapa de amacollamiento, usando Urea como fuente Nitrogenada.

Variables y registro de datos. Durante el desarrollo del cultivo y al momento de la cosecha, fueron registradas en los experimentos, las siguientes variables agronómicas: rendimiento de grano, días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca; aspecto y sanidad de planta y mazorca usando la escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a la mejor expresión fenotípica y 5 para lo peor, número de plantas total, porcentaje de plantas acamadas, porcentaje de mazorcas con mala cobertura. En la cosecha, se registraron las variables número de mazorcas total, porcentaje de materia seca en el grano y porcentaje de mazorcas podridas.



Métodos estadísticos. Los diseños utilizados fueron bloques al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5m de largo separados a 80cm en densidad de 62,500 plantas/ha. Se realizó un análisis individual para cada experimento y un análisis combinado de las cruza varietales en los diez ambientes de evaluación y para la separación de medias se aplicó la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS), $\alpha=0.05$ y 0.01 (Reyes, 1990). Se utilizó el modelo estadístico Eberhart y Russell (1966), el cual utiliza el coeficiente de regresión para medir la respuesta de una variedad a distintos ambientes y la desviación de regresión que mide la consistencia de dicha respuesta; Se requiere seleccionar genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente. Variedad estable es aquella con coeficiente de variación igual a 1 y desviación de regresión igual a 0. Se hicieron comparaciones y pruebas de t $\alpha=0.05$ y 0.01 para cruza varietales y sus progenitores; Se calcularon los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor (Reyes, 1985), con la fórmula:

$$\% \text{ de Heterosis} = \frac{\text{F1} - \text{Mejor progenitor}}{\text{Mejor progenitor}} \times 100$$

Resultados y Discusión

Rendimiento de grano. Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano en las cruza varietales a través de diez ambientes de evaluación, se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para Genotipos (G), para Ambientes (A) y para la interacción G x A. La significancia para la interacción sugiere que el rendimiento de grano de los híbridos a través de los ambientes es diferente (Reyes, 1990; Andrés *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de híbridos varietales de maíz en diez ambientes de Veracruz y Tabasco. 2016 a 2023.

Fuente Variación	GL	SC	CM	F Calc	Ft0.05	Ft0.01
Genotipos (G)	27	92.07	3.41**	4.32	1.46	1.70
Ambiente (A)	9	394.78	68.84**	61.33	1.88	2.41
Interacción GxA	243	306.14	1.26**	1.76	1.0	1.0
Error	455		0.7151			
CV (%)			13.44%			

GL= Grados de libertad; SC= Suma de cuadrados; CM= Cuadrados medios; CV= Coeficiente de variación.



En este análisis, la varianza mayor fue registrada para la fuente de variación ambientes, con un valor de 68.84**, lo que significa que el ambiente, que hace referencia al clima, al suelo y al manejo agronómico de los experimentos, definitivamente es importante en la expresión de los cruzamientos varietales; Así también, el coeficiente de variación registrado fue de 13.44% valor relativamente bajo, que sugiere que la conducción de los experimentos y los resultados obtenidos son confiables (Reyes, 1990). El rendimiento de los híbridos varietales de maíz a través de los 10 ambientes de evaluación, identificó un grupo sobresaliente al 0.01 de probabilidad, tales fueron: SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536 (HV-570), SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-536, SINT-5BxVS-537C, SINT-1BQxVS-536 y SINT-3BxSINT-1BQ, con rendimiento de grano de 6.39 a 6.96 t/ ha, estadísticamente similar al registrado por el híbrido H-520, de mayor uso en el sureste mexicano (Sierra *et al.*, 2019), como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Rendimiento de cruzas varietales de maíz a través de 10 ambientes en los estados de Veracruz y Tabasco 2016-2023.

Trat	Genealogía	Rend t ha ⁻¹	% Relativo	% Heterosis
1	SINT2BxVS-536 (HV1)	6.96*	103	17.70
14	SINT4BxVS-536 (HV570)	6.84*	102	15.80
28	H-520	6.73*	100	
17	SINT4BxSINT2B	6.55*	97	10.78
16	SINT-5B x VS-536	6.48**	96	5.93
9	SINT-5B x V-537C	6.42*	95	4.91
13	SINT-1BQ xVS-536	6.41**	95	5.25
10	H-518	6.39**	95	
18	SINT-3BxSINT-1BQ	6.39**	95	4.85
12	SINT-4B x SINT-3B	6.37	95	7.75
19	SINT-2BxVS-537C	6.34	94	7.32
4	V-537CxVS-536 (HV3)	6.34	94	11.21
20	VS536xV537C	6.33	94	11.07
15	SINT-5BxSINT-1BQ	6.32	94	3.28
3	SINT-5B x SINT-4B	6.32	94	3.27
6	SINT-3BxVS-537C	6.31	94	7.24



Trat	Genealogía	Rend t ha ⁻¹	% Relativo	% Heterosis
11	SINT-3B x SINT-2B	6.30	94	6.54
2	SINT-5B x SINT-2B	6.29	93	2.81
25	SINT-5B	6.12	91	
5	SINT-4BxVS-537C	6.10	91	3.27
8	SINT-4BxSINT-1BQ	6.09	90	-0.03
21	SINT-1BQ	6.09	90	
7	SINT-5B x SINT-3B	6.07	90	-0.76
22	SINT-2B	5.91	88	
24	SINT-4B	5.91	88	
23	SINT-3B	5.88	87	
27	V-537 C	5.70	85	
26	VS-536	5.46	81	
	PROMEDIO	6.26		
	CV (%)	13.44		
	CME	0.7151		
	DMS 0.05	0.4279		
	DMS 0.01	0.5633		

*/= Significancia de los tratamientos al 0.05 de probabilidad; **/= Significancia de los tratamientos al 0.01 de probabilidad; Trat= Tratamiento; Rend= Rendimiento de grano promedio de 10 ambientes de evaluación del 2016 al 2023 en Veracruz y Tabasco.

En los valores de heterosis con respecto al mejor progenitor, se encontraron valores de 4.85 hasta 17.70; Particularmente, los mayores porcentajes fueron para los híbridos varietales SINT-2BxVS-536 (17.70%), SINT-4BxVS-536 (HV-570) (15.80%), SINT-4BxSINT-2B (10.78%), V-537CxVS-536 (HV2) (11.21%). Estos valores de heterosis, sugieren que existe divergencia genética entre las variedades progenitoras (Reyes, 1985; Córdova *et al.*, 2007; Sierra *et al.*, 2004; Esquivel, *et al.*, 2011; Palemón *et al.*, 2012; Velasco *et al.*, 2019) (Figura 1).

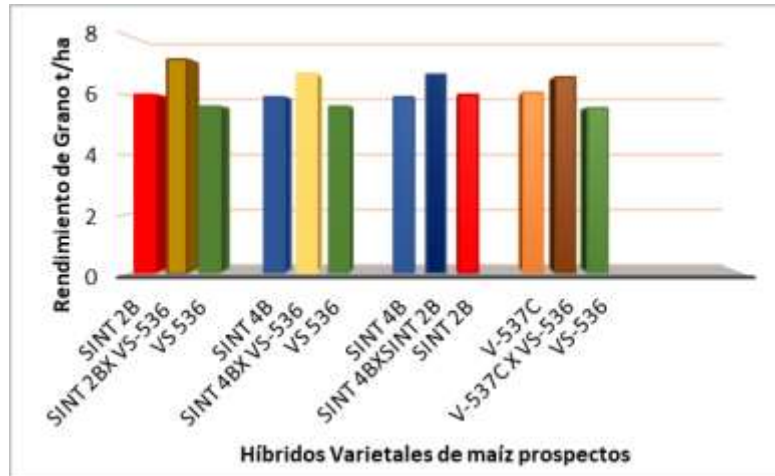


Figura 1. Heterosis en híbridos varietales de maíz Veracruz y Tabasco 2016-2023.

Estos híbridos varietales fueron similares en rendimiento con porcentajes relativos de 95 a 103% en relación con el H-520, híbrido de mayor uso en el sureste mexicano y tienen la ventaja adicional desde el punto de vista del mantenimiento de solamente dos progenitores, variedades de polinización libre con buen rendimiento, mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla (Espinosa *et al.*, 2012; Cervantes *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2018; Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2017; López *et al.*, 2021; Ramírez *et al.*, 2019; Tadeo *et al.*, 2021; Tadeo *et al.*, 2015; Tadeo *et al.*, 2016).

En la interacción genotipo ambiente y de acuerdo con los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966), los 28 genotipos fueron caracterizados como estables, (Reyes 1990; Andrés *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018); Así también, en los mejores híbridos varietales se observa la presencia de VS-536, variedad de mayor uso en el sureste de México (Sierra *et al.*, 2016).

Índices ambientales. Con relación a los índices ambientales, de acuerdo con Eberhart y Russell (1966), los ambientes de Carlos A. Carrillo, Ver. 2016B y Cotaxtla, Ver., 2016B, registraron rendimientos promedio significativamente más altos con 7.29** y 7.27** t ha⁻¹ y valores positivos en los índices ambientales con 1.03 y 1.01 para cada ambiente respectivamente, mientras que Huimanguillo Tabasco en 2016 y 2018B y Cotaxtla en 2023A registraron los rendimientos medios más bajos con índices ambientales negativos de -1.08, -0.86 y -0.54 para cada ambiente respectivamente (Cuadro 3).



Cuadro 3. Índices ambientales de híbridos varietales de maíz. CIRGOC 2016-2023.

Ambiente	Rend t ha ⁻¹	Índices ambientales
Carlos A. Carrillo, Ver. 2016B	7.29**	1.03
Cotaxtla, Ver 2016B	7.27**	1.01
Cotaxtla, Ver., 2018B	6.48	0.22
Carlos A. Carrillo, Ver. 2023A	6.46	0.20
Huimanguillo, Tab 2023A	6.39	0.13
Cotaxtla, Ver., 2022B	6.36	0.10
Cotaxtla, Ver., 2017B	6.03	-0.23
Cotaxtla, Ver., 2023A	5.72	-0.54
Huimanguillo 2018B	5.40	-0.86
Huimanguillo, Tab 2016B	5.18	-1.08
Promedio	6.26	

Rend t ha⁻¹= Rendimiento de grano en toneladas por hectárea; B= Ciclo agrícola primavera verano.

Características agronómicas. Por lo que se refiere a las características agronómicas, estas cruza varietales registraron ciclo biológico intermedio con 51 a 53 días a floración masculina, altura de planta y mazorca baja con 217 a 255 cm y de 108 a 132 cm para altura de planta y mazorca, respectivamente. Estos cruzamientos presentan buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, son tolerantes al acame, con buena cobertura de mazorca, presentan bajo porcentaje de mazorcas podridas y con una relación altura de mazorca/altura de planta entre 0.49 y 0.58, es decir, posición de la mazorca a la mitad de la altura de planta lo que se refleja en su tolerancia al acame (Sierra *et al.*, 2018; Gómez *et al.*, 2017; Trachsel *et al.*, 2016; Tadeo *et al.* 2015). (Cuadro 4).

Cuadro 4. Características agronómicas de cruza varietales de maíz. Cotaxtla 2016B.

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl	Alt mz	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	% Cob	% Pod	Alt mz/Alt pl
1	SINT2BxVS-536	51	238	130	1.7	2.3	1.8	2.2	0.79	3.73	0.55
2	SINT-5BxSINT-2B	52	225	117	2.3	2.2	2.5	2.2	9.41	2.81	0.52
3	SINT-5B X SINT-4B	53	237	128	2.7	2.7	2.3	2.3	9.15	4.61	0.54
4	V-537CxVS-536 (HV3)	51	227	122	2.2	2.8	2.3	2.3	2.98	6.39	0.54



Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl	Alt mz	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	% Cob	% Pod	Alt mz/Alt pl
5	SINT-4B X VS-537C	51	223	110	2.5	2.5	2.2	2.5	4.14	4.59	0.49
6	SINT-3B X VS-537C	52	245	120	2.5	2.5	2.5	2.7	4.45	4.35	0.49
7	SINT-5B X SINT-3B	52	227	117	2.3	2.7	2.3	2.2	6.03	5.89	0.52
8	SINT-4B X SINT-1BQ	52	235	118	2	2.2	2	2.2	0.67	1.33	0.5
9	SINT-5B X VS-537C	51	225	113	2.3	2.2	2.3	2.2	5.02	3.56	0.5
10	H-518	52	222	112	1.5	2.0	1.5	2.0	4.11	4.36	0.5
11	SINT-3BxSINT-2B	52	225	132	2.5	2.3	2.2	2.3	1.39	2.75	0.58
12	SINT-4B X SINT-3B	52	223	117	1.8	2.5	2.2	2.3	3.35	2.99	0.52
13	SINT-1BQ X VS-536	53	238	130	2.3	2.5	2.5	2.2	2.54	3.38	0.54
14	SINT4BxVS-536 (HV570)	51	228	123	2.3	2.2	2.2	2.3	5	1.74	0.54
15	SINT-5B X SINT-1BQ	52	217	108	2.2	2.3	2.2	2.3	2.18	3	0.5
16	SINT-5B X VS-536	51	235	132	2.3	2.3	2.2	2.2	3.69	4.07	0.56
17	SINT4BxSINT2B	52	227	115	2.2	2.7	2.3	2.7	3.29	5.67	0.51
18	SINT-3BxSINT-1BQ	51	230	112	2.3	2.5	2.3	2.3	2.56	3.89	0.49
19	SINT-2B X VS-537C	51	255	140	2.2	2.2	2.7	2.2	8.99	4.56	0.55
20	VS-536xV-537C	52	253	142	2.2	2.8	2.2	2.7	2.66	5.77	0.56
21	SINT-1BQ	51	220	112	2.3	2.2	2.7	2.2	3.27	4.53	0.51
22	SINT-2B	52	212	115	2.7	2.3	2.3	2.3	1.95	2.53	0.54
23	SINT-3B	51	242	137	2.5	2.8	2.5	2.3	8.82	4.2	0.55
24	SINT-4B	52	225	118	2.3	2.5	2.3	2.3	2.38	5.14	0.53
25	SINT-5B	52	223	127	2	2.3	2.3	2	8.83	2.17	0.57
26	VS-536	52	232	132	2.5	2.7	1.7	2.7	4.78	3.98	0.57
27	V-537 C	52	225	115	2.3	2.8	2.5	2.5	5.87	6.98	0.51
28	H-520	51	228	122	2.2	2.3	2	2.2	4.11	4.04	0.53
	Promedio	51.7	230.07	122	2.28	2.45	2.28	2.32	4.33	4.04	0.53
	CME	0.97	687.3	589.1	0.27	0.30	0.30	0.25	42.45	11.8	50.3
	CV (%)	1.91	11.39	19.89	22.79	22.35	24.02	21.15	150.47	85.03	13.38

Trat= Tratamiento; Alt pl= Altura de planta; Alt mz= Altura de mazorca; Asp pl= Aspecto de planta; Asp mz= Aspecto de mazorca; San pl= Sanidad de planta; San mz= Sanidad de mazorca; % Cob= Porcentaje de mazorcas con mala cobertura; % Pod= Porcentaje de mazorcas podridas.



Los híbridos varietales SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536 (HV-570), SINT-4BxSINT-2B (SINT-5BxVS-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-5BxSINT-1BQ sobresalientes en rendimiento y características agronómicas, pueden ser una alternativa en la producción comercial de maíz en virtud de que se adaptan a las condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores en el Sureste de México (Sierra *et al.*, 2019).

Considerando el rendimiento y características agronómicas, se sugiere que la cruza varietal SINT4BxVS-536, debe ser liberada como HV-570, nuevo híbrido de maíz para el trópico húmedo de México. El híbrido HV-570, presenta buen rendimiento y adaptación al trópico húmedo de México, es de ciclo biológico intermedio con 52 días a la floración masculina y femenina, 90 días a la madurez fisiológica y de 120 días de la siembra a la cosecha durante el ciclo primavera verano y bajo condiciones de temporal; Este híbrido presenta altura de planta y mazorca baja, tolerante al acame, presenta buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca y las hojas arriba de la mazorca en posición semierecta; La posición de la mazorca es desviada al plano distal de las hojas; HV-570 presenta excelente cobertura de la mazorca, es tolerante a la pudrición de la mazorca, el grano es de color blanco y textura semidentada (Figuras 2a y 2b).



Figura 2a y 2b. HV-570 presenta planta y mazorca baja, buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, buena cobertura de mazorca, hojas arriba de la mazorca son en posición semierecta, grano blanco y textura semidentada.

Los progenitores del HV-570 son SINT4B y VS-536, ambas variedades sintéticas de polinización libre en las cuales se les ha practicado 4 ciclos de selección masal y un ciclo de selección recurrente de progenies S1. Particularmente, la versión mejorada de SINT 4B es de planta y mazorca baja, de hoja



semierecta, con buen rendimiento, de grano blanco y de textura semicristalina; En la versión mejorada de VS-536, se ha seleccionado planta y mazorca baja, buena sanidad, vigor, buena cobertura de mazorca y tolerancia al acame, buena carga, grano blanco y textura dentada (Sierra *et al.*, 2019)

Comparaciones y pruebas de t. De las comparaciones y pruebas de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad, se encontró que las cruza varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t ha⁻¹, significativamente mayor en 9% en relación con el rendimiento promedio de los progenitores, con un valor de t calculada de 5.07** (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparaciones y pruebas de t para híbridos varietales y sus progenitores. CIRGOC 2016-2023.

Comparación	Rend t ha ⁻¹	% Rel	t Calc	Alt pl	% Rel	t Calc	Asp pl ^{2/}	% Rel	t Calc	Asp mz ^{2/}	% Rel	t Calc
Cruzas	6.38	109	5.07**	231.75	103	0.93NS	2.25	100	0.92NS	2.43	100	0.57NS
Progenitores	5.87	100		225.57	100		2.37	105		2.51	103	

t0.05 (54 GL) = 2.00; t0.01 (54 GL) = 2.66. Rend= Rendimiento de grano; % Rel= Porcentaje relativo; t Calc= t calculada para la comparación; Alt pl= Altura de planta; Asp pl= Aspecto de planta; Asp mz= Aspecto de mazorca; ^{2/}= Escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 es lo peor.

Así también, se registró ventaja en las calificaciones de aspecto de planta y de mazorca, sin embargo, no hubo significancia estadística (Reyes, 1990). Lo anterior, sugiere que existe divergencia genética entre los progenitores, lo cual es también reflejado en los valores de heterosis con respecto al mejor progenitor que varió en las cruza sobresalientes desde 4.85 a 17.70%; (Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 2004; Córdova *et al.*, 2007; Esquivel, *et al.*, 2011; Palemón *et al.*, 2012; Velasco *et al.*, 2019)

Conclusiones

1. Los híbridos varietales sobresalientes al 0.01 de probabilidad, fueron: SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536 (HV-570), SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-536, SINT-5BxVS-537C, SINT-1BQxVS-536, SINT-3BxSINT-1BQ, con rendimiento de grano de 6.39 a 6.96 t/ha, rendimiento estadísticamente similar al registrado por el híbrido comercial H-520.



2. Los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor en las cruzas varietales sobresalientes fueron: SINT-2BxVS-536 (17.70%), SINT-4BxVS-536 (HV-570) (15.80%), SINT-4BxSINT-2B (10.78%), V-537CxVS-536 (HV2) (11.21%).
3. Las cruzas registraron un rendimiento promedio de 6.39 t/ha, 9% más en relación con los progenitores, así también mejor calificación de aspecto de planta y de mazorca.
4. Con base en el rendimiento y características agronómicas se propone la cruza SINT-4BxVS-536, para su registro oficial ante el SNICS como HV-570, Nuevo híbrido de maíz para el trópico húmedo de México.

Literatura Citada

- Andrés M., P., Vásquez C., G., Sierra, M. M., Mejía C., A., Molina G., J.D., Espinosa, C., A., *et al.* 2017. Genotype environment interaction on productivity and protein quality of synthetic tropical maize (*Zea Mays* L.) varieties. *Interciencia* 42 (9): 578-585.
- Cervantes O., F., Hernandez E., J., Rangel L., J.A., Andrio E., E., Mendoza E., M., Rodríguez P., G., *et al.*, 2016. Aptitud combinatoria general y específica en la calidad de semilla de líneas S3 de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39 (3): 259-268.
- Córdova O., H, Trifunovic S, Ramírez A. y Sierra M., M. 2007. CIMMYT Maize Hybrids for Latin América. Head to Head analysis and probability of outperforming the best check. *Maydica* 52: 471-476
- Eberhart S.A. and Russell W.A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40
- Esquivel E., G., Castillo G., F., Hernández C., J.M., Santacruz V., A., García S., G., Acosta G., J.A., *et al.* 2011. Heterosis en maíz del altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. *REMEXCA* 2 (3): 331-344.



- Espinosa C., A., Tadeo R., M., Virgen V., J., Rojas M., I., Gómez M., N., Sierra M., M., *et al.*, 2012. H-51AE, híbrido de maíz para áreas de humedad residual, buen temporal y riego en Valles Altos Centrales de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (4): 347-349.
- García., M.E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª Ed. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México DF México 246p.
- Gómez, M., N., Cantú A., M.A., Vásquez C., G., Hernández G., C.A., Espinosa, C., A. Sierra, M. M. *et al.* 2017. Híbrido de maíz H-568: Nueva opción para las áreas de alta productividad del trópico bajo de México. *REMEXCA* 8 (5): 1213-1218.
- López L., C., Tadeo R., M., García Z., J.J., Espinosa C., A., Mejía C., A. 2021. Aptitud combinatoria general y específica de híbridos varietales de maíz amarillo de baja endogamia. *REMEXCA* 12 (4): 699-711.
- Palemón A., F., Gómez, Castillo, Ramírez V., P., Molina G., J.D., Miranda C., S. 2012. Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *REMEXCA* 3 (1): 157-171.
- Ramírez D., J.L., Vidal M., V., Alemán T., I., Ledesma M., A., Gómez M., N., Salinas M., Y., *et al.*, 2019. Selección de líneas y cruza de maíz combinando las pruebas de mestizos y cruza dialélicas. *Revista Fitotecnia mexicana* 42 (4): 335-346.
- Reyes C., P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas 3ª Ed. 348p.
- Reyes C., P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT Editor S.A. México. 460p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2018. Acciones y programas Producción agrícola. SAGARPA. Disponible en: http://www.gob.mx/siap/acciones_y_programas_de_produccion_agricola. (consultado. El 22 de noviembre del 2020). s/p.



Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A., Gómez M., N., Espinosa, C., A., Ugalde A., F.J., Andrés M., P. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. En: Avances en Investigación agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de Tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TECNIM, Medellín, Ver. p. 482-499.

Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A., Espinosa, C., A., Andrés M., P. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales 4 (11): 15-19.

Sierra M., M., Palafox C., A., Rodríguez M., F., Espinosa C., A., Andrés M., P., Gómez M., N., *et al.*, 2016. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520 en el trópico de México. Revista Agricultura Sociedad y Desarrollo 13 (1): 19-32.

Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A., Palafox, C. A., Gómez M., N., Espinosa, C., A. 2014. Impacto del H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Revista Biológico y Agropecuario Tuxpan 2 (1): 277-282.

Sierra, M. M., Rodríguez, M. F. A., Palafox, C. A., Espinosa, C., A. 2016. Adopción e impacto de la variedad VS-536 en la región tropical del sureste de México. Revista de Desarrollo Económico 3 (9): 32-40

Sierra M., M., Márquez S., F., Valdivia B., R., Córdoba O., H., Lezama G., R. y Pescador R., A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agric. Téc. Méx.* México 30 (2): 169-181.

Tadeo R., M., Espinosa C., A., Zaragoza E., J., López L., C., Canales I., E.I., Zamudio G., B., *et al.*, 2021. Tlaoli Puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. Revista Fitotecnia Mexicana 44 (2): 265-267



- Tadeo R., M., Espinosa C., A., García Z., J.J., Lobato O., R., Gómez M., N., Sierra M., M. *et al.*, 2016. Tsiri Puma, híbrido de maíz para Valles altos de México, con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 39 (3): 331-333
- Tadeo R., M., Espinosa C., A., Guzmán M., R., Turrent F., A., Zaragoza E., J., Virgen V., J. 2015. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agronomía mesoamericana* 26(1): 65-72.
- Trachsel S., Leyva M., López M., Suarez E., A., Mendoza A., Gómez M., N., Sierra M., M., Burgueno J., San Vicente F. 2016. Identification of Tropical Maize Germplasm with tolerance to Drought, Nitrogen Deficiency, and combined Heat and Drought Stresses. *Crop sci.* Vol 56(6): 3031-3045.
- Velasco G., A.M., García Z., J.J., Sahagún C., J., Lobato O., R., Sanchez A., C., Marín M., I.M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(4): 367-374



DISEÑO DE MARCADORES MOLECULARES PARA LA DETECCIÓN DEL AGENTE CAUSAL DE LA PUDRICIÓN EN VAINILLA

Carmen G. Lucas de la Cruz¹²¹, Ricardo Santillán Mendoza^{122*}, Felipe R. Flores de la Rosa¹²², Juan Hernández Hernández¹²², María Hernández Sánchez¹²¹, Cristian Matilde Hernández¹²² y Humberto Estrella Maldonado¹²²

Resumen

La vainilla (*Vanilla planifolia*) es una planta hemiepipífita de la familia de las orquídeas, es ampliamente comercializada a nivel mundial (industria alimentaria, farmacéutica, cosmetológica, etc.), y es de gran importancia biocultural en la región del Totonacapan, Veracruz, dado que es su centro de origen, distribución y comercialización, siendo la principal región productora de México. El cuidado del cultivo es primordial debido a que existen diversos problemas fitosanitarios que pueden atacar las plantaciones de vainilla disminuyendo la producción, siendo la pudrición y marchitamiento de raíces y tallos causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*, Fusariosis), la principal enfermedad del cultivo en todas las regiones del mundo donde se cultiva la vainilla. Aunado a lo antes mencionado, la escasez de variabilidad genética del cultivo conlleva a que estos sean igual de susceptibles a *Fov*, por lo cual la detección temprana del patógeno mediante herramientas moleculares rápidas y de bajo costo, es crucial en el establecimiento de estrategias preventivas y de control de la enfermedad. El objetivo del presente estudio fue, diseñar y caracterizar marcadores moleculares específicos para la detección del agente causal de la pudrición y marchitamiento de la vainilla; a partir del genoma completo de aislados previamente caracterizados molecular y patogénicamente en el C. E. Ixtacuaco del INIFAP. Mediante análisis bioinformáticos, se diseñaron doce marcadores moleculares para la detección de *Fov*, para posteriormente evaluar la especificidad, sensibilidad y universalidad en condiciones *in silico*. Los resultados indicaron que los marcadores moleculares servirán para la resolución de los aislados patogénicos de *Fov*, además, discriminarán a los aislados no patogénicos, y a aquellos que pertenecen a otras especies del género *Fusarium* y a otros géneros fúngicos. Análisis preliminares, indican que los

¹²¹ Facultad De Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Región Tuxpan.

¹²² Campo Experimental Ixtacuaco, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *santillan.ricardo@inifap.gob.mx



marcadores moleculares diseñados, son eficaces en reacciones de PCR punto final y qPCR, lo cual servirá en un futuro cercano como una tecnología para la detección temprana de esta importante especie fitopatógena en suelos en donde se quieran establecer plantaciones de vainilla. Sin embargo, es importante realizar los análisis en condiciones experimentales de laboratorio, para determinar la utilidad de dichos marcadores moleculares.

Palabras clave: *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*, *Vanilla planifolia*, análisis bioinformáticos

Introducción

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos, fue descrito por primera vez por Link en 1809, muchas de las especies son consideradas fitopatógenas (Al-Hatmi *et al.*, 2016). Las especies de este género, tienen una gran importancia económica debido a que son responsables de considerables pérdidas de cosechas anualmente, afectando al menos al 70% de las especies de importancia agrícola (Sharma y Marques, 2018). Dentro del género, *Fusarium oxysporum* y *Fusarium solani* destacan por ser las únicas que afectan a una amplia diversidad de plantas y por encontrarse presentes en casi todo el planeta, a diferencia de otras especies que se limitan a ciertas regiones geográficas y cultivos (Edel-Hermann y Lecomte, 2019).

Además de encontrarse ampliamente distribuidos, *F. oxysporum* y *F. solani*, comparten características morfológicas y nichos ecológicos que las vuelven muy semejantes y difíciles de diferenciar (Leslie y Summerell, 2006), otra particularidad que comparten son los hospedantes, por ejemplo, la vainilla suele encontrarse dentro del amplia gama de hospedantes de dichos patógenos, pues se ha reportado la presencia de los mismos en cultivos de las principales zonas productoras de vainilla del mundo, siendo *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* el agente causal de la Fusariosis en *V. planifolia* (Koyyappurath *et al.*, 2016).

A nivel mundial se ha reportado la Fusariosis en vainilla en todos los cultivos de los principales países productores del mundo como lo son Madagascar e Indonesia (Koyyappurath *et al.*, 2016), que de acuerdo con datos de la FAO en 2020 ocuparon respectivamente el primer y segundo lugar en producción, seguidos por México, Papúa Nueva Guinea y China continental (FAOSTAT, 2020). En México esta enfermedad también se ha reportado en vainillales de Nayarit (Casillas-Isiordia *et al.*,



2017), en la región de la Huasteca Potosina, SLP (Hernández-Martínez *et al.*, 2020) y en la región del Totonacapan, Veracruz (Adame-García *et al.*, 2015).

En la región del Totonacapan ubicada en la zona Golfo-Centro de México, se ha reportado a la especie *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* como el agente causal de la Fusariosis en vainilla manifestándose como pudrición negra en raíces, causando la marchitez de las plantas y en casos severos la muerte de las mismas (Adame-García *et al.*, 2015), trayendo como consecuencia la pérdida de las plantaciones y la reducción en la producción de las cosechas.

El género *Vanilla* incluye aproximadamente 110 especies de orquídeas distribuidas en diferentes regiones tropicales del mundo, entre ellas *Vanilla planifolia* y *Vanilla tahitiensis* siendo las especies de mayor importancia económica en el mercado; la primera es la más conocida en el mundo y es la referencia cuando se habla de vainilla (Kelso-Bucio *et al.*, 2012). *Vanilla planifolia* presenta crecimiento hemiepífito con tallo cilíndrico conformado por entrenudos con hojas lanceoladas, ambos suculentos, crece en climas subtropicales, cálidos y húmedos (Castillo *et al.*, 1993), carece de una raíz pivotante, posee un sistema radical fasciculado, el cual tiene un rango exploratorio no mayor a 30 cm de profundidad, que se desarrolla entre la materia orgánica, además, genera raíces a nivel de entrenudos y raíces adventicias utilizadas para sujetarse y para absorber nutrientes (Hernández-Hernández, 2011).

El problema con *Fusarium* en el Totonacapan debe ser considerado como primordial, debido a que como indican Lubinsky *et al.* (2008), a nivel mundial, la vainilla tiene sus orígenes en esta zona y el que ésta sea un cultivo de propagación clonal trae como consecuencia que exista poca variabilidad genética, por lo que a su vez la mayoría de los cultivos se vuelven igual de susceptibles a dicho patógeno. De este modo, surge la necesidad de diseñar y caracterizar marcadores moleculares específicos para la detección del agente causal de la pudrición y marchitamiento de la vainilla, con el desarrollo de esta investigación, se sientan las bases para la generación de tecnologías que ayuden en la detección más eficiente y de bajo costo, lo que podría conducir al desarrollo de estrategias de control de este importante patógeno.



Materiales y Métodos

Colecta y procesamiento de raíces de vainilla con pudrición

El tejido de vainilla consistió en raíces con síntomas de pudrición colectado en los municipios de Papantla, Gutiérrez Zamora, Actopan, Vega de Alatorre, San Rafael y Tlapacoyan (región del Totonacapan), Veracruz; en el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA), se realizó el aislamiento y purificación de *Fusarium* siguiendo los protocolos descritos en el Manual de Laboratorio de *Fusarium* (Leslie y Summerell, 2006). Los aislados fueron obtenidos y preservados por Sánchez-Guzmán (2022) y se encuentran a 15°C en la colección de cepas del CEIXTA.

Extracción de ADN

De la colección de cepas, se inocularon 50 µl de solución de esporas en tubos cónicos de 15 ml conteniendo caldo papa dextrosa (PDB) y se incubaron a 25°C durante siete días, posteriormente las pastillas de micelio formadas en los tubos se lavaron, secaron y molieron con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino, el cual se colocó en microtubos de 2 ml, con lo que se procedió a extraer el ADN con CTAB (Santillán-Mendoza *et al.*, 2018).

Secuenciación del genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*

La identidad y patogenicidad de las cepas IXF41, IXF50 e IXF53 fue corroborada mediante la amplificación y secuenciación del gen *TEF1* y mediante pruebas de patogenicidad en hojas de acuerdo a protocolos reportados en la literatura (Adame-García, 2011), una vez caracterizadas, las cepas se enviaron a la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática (UUSMB) en el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México para la secuenciación. En la UUSMB el genoma fue secuenciado empleando la plataforma Illumina NextSeq 500.

Ensamble, anotación y análisis funcional del genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*

El genoma fue ensamblado usando SPAdes v3.14.1 (Nurk *et al.*, 2013) y anotado mediante PAT v0.3 pipeline y MAKER pipeline (Campbell *et al.*, 2014). Por último, el análisis funcional se realizó a través de diferentes enfoques: agrupación de grupos ortólogos (COG) de proteínas (Tatusov, 2000), ontología de genes (GO) (Gene Ontology Consortium, 2004), número de comisión de enzimas (EC) (Boyce y Tipton, 2001) y la anotación de rutas mediante la Enciclopedia de genes y genomas de Kyoto (KEGG) (Kanehisa *et al.*, 2016). La integridad del genoma se evaluó utilizando el software de evaluación comparativa de ortólogos universales de copia única (BUSCO v5.2.2) (Mann *et al.*, 2021), con *F.*



oxysporum f. sp. *lycopersici* Fol4287 (GCF_000271745.1) como base de datos del genoma de referencia con parámetros predeterminados (Ayhan *et al.*, 2018).

Análisis BLAST

Los Scaffolds de las secuencias genómicas de las cepas IXF41, IXF50 e IXF53 fueron analizadas en programa BLAST [Basic Local Alignment Search Tool, NCBI, National Center for Biotechnology Information (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>)] para determinar aquellos scaffolds de las cepas de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* con un mayor número de polimorfismos con respecto a las secuencias de *Fusarium* presentes en la base de datos del NCBI.

Diseño de oligonucleótidos

Para el análisis de polimorfismos entre las secuencias obtenidas de la base de datos del NCBI, se empleó el programa Bioedit v. 7.2.5 (Hall, 1999). El programa Primer 3 fue empleado para el diseño de los marcadores moleculares (Untergasser *et al.*, 2012; <https://primer3.ut.ee/>), los cuales fueron sintetizados por la compañía T4 oligo (México).

Ensayos de especificidad, sensibilidad y universalidad mediante PCR *in silico*

Se llevaron a cabo experimentos *in silico* para probar la especificidad de los marcadores moleculares, para lo cual se empleó la herramienta ThermonucleotideBLAST (Gans y Wolinsky, 2008), Una base de datos conteniendo los genomas de *Fusarium* disponibles en el GenBank fue usada como fuente de secuencias blanco para realizar la amplificación *in silico*.

Resultados y Discusión

Obtención de aislados fúngicos y caracterización molecular

Se obtuvieron un total de 103 aislados fúngicos (IXF1 a IXF103) a partir de tejido vegetal de vainilla con síntomas de pudrición proveniente de los municipios de Papantla, Gutiérrez Zamora, Actopan, Vega de Alatorre, San Rafael y Tlapacoyan en la región del Totonacapan en el estado de Veracruz, a los cuales se les amplificó y secuenció el gen que codifica para el factor de alargamiento de la traducción 1 α (*TEF1*) (Flores-de la Rosa *et al.*, 2023). Los resultados después de los análisis BLAST se indican en la Figura 1.

El que 18 aislados sean *F. solani* no es de sorprender, debido a que en otros trabajos en vainilla, esta especie se encuentra altamente representada en el tejido de *V. planifolia* y *V. tahitensis* (Koyyappurath



et al., 2016); mientras que el complejo FIESC, es un habitante común de suelos y se ha reportado como saprofito y asociado a plantas infectadas con otras especies de *Fusarium* (Santillán-Mendoza *et al.*, 2018); por último, *Colletotrichum gloesporioides* es un patógeno causante de la antracnosis en hojas y frutos de vainilla (Hernández-Hernández, 2011).

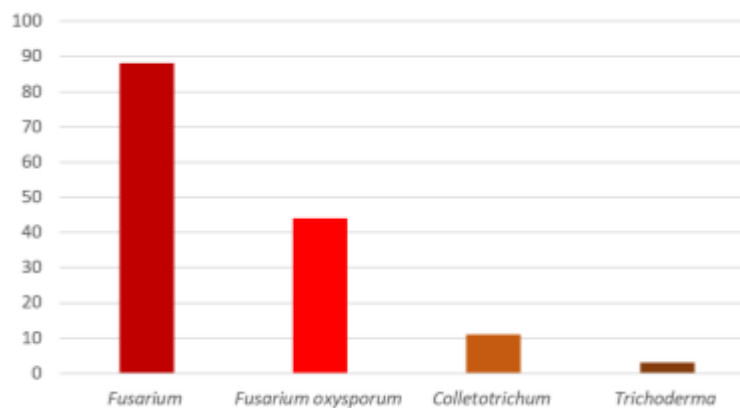


Figura 1. Aislados obtenidos de raíces de vainilla con síntomas de pudrición. De los 103 aislados 88 (85.4%) pertenecen al género *Fusarium*; 44 corresponden a la especie *F. oxysporum*; 18 son *F. solani*, 14 pertenecen al complejo de especies *Fusarium incarnatum-equiseti* (FIESC), y 12 pertenecen a las especies *F. fujikuroi*, *F. lateritium*, *F. irregulare*, *F. pseudocircinatum*, *F. sulawesiense* y *F. culmorum*. De los 15 aislados restantes (14.6%), 10 aislados se identificaron como *Colletotrichum* spp., tres como *Trichoderma* spp. y de dos aislados no se obtuvieron secuencias.

Selección de aislados de *Fusarium oxysporum* y secuenciación del genoma

Los genomas de las cepas IXF41, IXF50 e IXF53 fueron secuenciados con base en la caracterización molecular y patogénica, la selección de las cepas se basó en su virulencia. Los tamaños de los genomas fueron: 47,3 Mb con 312 scaffolds; 47,25 Mb con 290 scaffolds y 47,2 Mb con 260 scaffolds respectivamente (Cuadro 1), las secuencias de los genomas se encuentran depositadas en el repositorio público del NCBI, BioProject PRJNA855480 (Santillán-Mendoza *et al.*, 2023).

Diseño de marcadores moleculares para *Fusarium oxysporum*

Debido a la gran similitud entre los tres genomas secuenciados (Cuadro 1), para el diseño de los oligonucleótidos se emplearon los 312 scaffolds del genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41, en donde las secuencias de cada scaffold fueron alineadas en el programa BLAST del NCBI, los resultados indicaron que 49 scaffolds presentaron polimorfismos con respecto a las secuencias de *Fusarium* de la base de datos del NCBI (Cuadro 2).



Cuadro 1. Genomas de *Fusarium oxysporum* (modificado de Santillán-Mendoza et al., 2023).

Características ^a	IXF41	IXF50	IXF53
Tamaño del genoma (bp)	47,307,583	47,255,009	47,202,656
Scaffolds	312	290	260
Scaffold N ₅₀ ^b (Mb)	0.930	0.935	1.007
Longitud Máxima del scaffold (pb)	2,229,517	1,828,281	2,591,969
Longitud Mínima del scaffold (pb)	1,008	1,010	1,011
Contenido de GC (%)	48	48	48
Número de CDS	18,139	18,143	18,136
Número de RNA Ribosomal	2	2	1
Proteínas hipotéticas	18,139	18,143	18,136
Asignación de proteínas con COG	4,881	4,871	4,868
Asignación de proteínas con KEGG	6,597	6,587	6,585
Asignación de proteínas con GO	11,158	11,144	11,143
Asignación de proteínas con Pfam and BLASTP	12,806	12,801	12,805
Asignación de proteínas con EC	5,573	5,555	5,557
BUSCOs			
BUSCOs completos	754 (99.5)	754 (99.5)	753 (99.4)

^aAbreviaciones: CDS = secuencia codificante, COG = agrupación de grupos ortólogos, KEGG = Enciclopedia de genes y genomas de Kioto, GO = ontología de genes, Pfam = base de datos de familias de proteínas, BLASTP = Herramienta de búsqueda de alineación local básica, EC = número de comisión de enzimas y BUSCO = software de evaluación comparativa de ortólogos universales de copia única.

Cuadro 2. Posibles Scaffolds candidatos para el diseño de marcadores moleculares para la detección de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*.

Scaffold	mRNA	Cobertura (%)	Identidad (%)	Accesión GenBank
<i>Fusarium_4a_031050383</i> ¹	Proteína hipotética	100	98.5	XM_018381613
<i>Fusarium_4a_031050376</i> ¹	Nitrate reductase (NADH)	100	98.8	XM_031173591
<i>Fusarium_4a_031050375</i> ¹	Endoglucanase	99	97.67	XM_031173590
<i>Fusarium_4a_031050373</i>	Proteína hipotética	100	98.88	XM_018381623



Scaffold	mRNA	Cobertura (%)	Identidad (%)	Accesión GenBank
<i>Fusarium_4a_031050372</i> ¹	Na ⁺ /H ⁺ -exchanging protein	99	88.84	XM_031228626
<i>Fusarium_4a_031050356</i> ¹	CTP synthase	100	98.62	XM_018381636
<i>Fusarium_4a_031050327</i>	Proline dehydrogenase	100	96.16	XM_031216553
<i>Fusarium_4a_031050330</i>	Acyl transferase	99	92	XM_046192556
<i>Fusarium_4a_031050325</i>	Proteína no caracterizada	100	94.62	XM_054703344
<i>Fusarium_4a_031050227</i>	NAD-dependent aldehyde dehydrogenase	94	98	XM_018398817
<i>Fusarium_4a_031050179</i>	Catalase	96	98.08	XM_054703311
<i>Fusarium_4a_031050177</i> ²	Proteína no caracterizada	100	89.91	XM_046187662
<i>Fusarium_4a_031050176</i> ²	Lipolytic G-D-S-L family	100	90.18	XM_036681754
<i>Fusarium_4a_031050143</i> ²	Proteína no caracterizada	100	99.6	XM_054703304
<i>Fusarium_4a_031050128</i>	Transaldolase	100	98.36	XM_018381830.1

¹ Indica los Scaffolds empleados para el diseño de oligonucleótidos (marcadores moleculares).

² Indica los Scaffolds con alto número de polimorfismos que pueden servir para el diseño de más oligonucleótidos (marcadores moleculares).

Posteriormente, con base en los alineamientos de los scaffolds con respecto a secuencias específicas del NCBI y con ayuda del programa Primer 3 se diseñaron doce pares de oligonucleótidos. El tamaño óptimo requerido para los oligonucleótidos diseñados fue de 20 a 30 nucleótidos con temperaturas de alineamiento de entre 60 y 62°C y con rangos esperados de tamaño de amplificación de 70 a 650 pb. Las características de los oligonucleótidos diseñados que han mostrado mejores resultados de amplificación PCR se muestran en el Cuadro 3, ejemplos del análisis de polimorfismos entre las secuencias obtenidas de la base de datos del NCBI mediante alineamientos realizados en el programa Bioedit se muestran en la Figura 2.



Cuadro 3. Oligonucleótidos (marcadores moleculares) diseñados para la detección de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*.

Nombre	Secuencia 5'-3'	Región	Amplicón (pb)	Tm
Fov383 F1	GCGGGTATGGCTCAACTCCCTC	Proteína	621	62
Fov383 R1	ACTTCGGCTTCTGGATGTGACTAATTCACCCG	hipotetica		
NADH F1	AAGGAAGAGAAGAAGAAGAAGAAGAAGAAGT	Nitrate reductase	321	60
NADH R1	GTTCGTCGATTGAGATCTGCGT	(NADH)		
ENDO F1	TCACTTAAGAAATCTTCACTCCTCGCT	Endoglucanase	135	60
ENDO R1	GGGGTTCCAGCTCATCTCTG			
Na ⁺ /H ⁺ F1	GCAGCTAAAGCTGTGCGCCGAAGGG	Na ⁺ /H ⁺ -	322	62
Na ⁺ /H ⁺ R1	CAGCGCCAGCACCGATCGGC	exchanging protein		
CTP F1	GCAATGTTAGCCAGTAGCGCTGG	CTP synthase	407	60
CTP R3	CCAATTGTTCCGCCTAACGTACT			



Figura 2. Alineamientos de los Scaffolds de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* respecto a secuencias obtenidas de la base de datos del NCBI. A) alineamiento del scaffold 031050375 de *Fov* IXF41 respecto a la secuencia endoglucanase XM_031173590 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. B) alineamiento del scaffold 031050376 de *Fov* IXF41 respecto a la secuencia nitrate reductase (NADH) XM_031173591 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*. C) alineamiento del scaffold 031050372 de *Fov* IXF41 respecto a la secuencia Na⁺/H⁺-exchanging protein XM_031228626 de *Fusarium* sp.



Ensayos de especificidad, sensibilidad y universalidad mediante PCR *in silico*

Los experimentos *in silico* para probar la especificidad de los marcadores moleculares se realizaron mediante la herramienta ThermonucleotideBLAST (Gans y Wolinsky, 2008), la cual realiza una búsqueda de fragmentos de ADN en una base de datos; sin embargo, a diferencia del algoritmo BLAST (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>), ThermonucleotideBLAST utiliza parámetros de alineación adicionales basados en variables bioquímicas presentes en las reacciones de PCR, especialmente la energía libre de Gibbs y la temperatura de alineación. Una base de datos conteniendo el genoma de referencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Fol4287, BioProject PRJNA640265, disponible en el NCBI fue usada como fuente de secuencias blanco para realizar la amplificación *in silico*. Se seleccionaron oligonucleótidos que no se emparejaban en un más de un 90% con respecto a las especies de referencia, así como aquellos cuyas temperaturas de alineación estimadas eran similares para los oligonucleótidos directos e inversos (Figura 3). En general, los doce pares de oligonucleótidos diseñados presentaron resultados alentadores para los posteriores ensayos de amplificación PCR en condiciones *in vitro*.

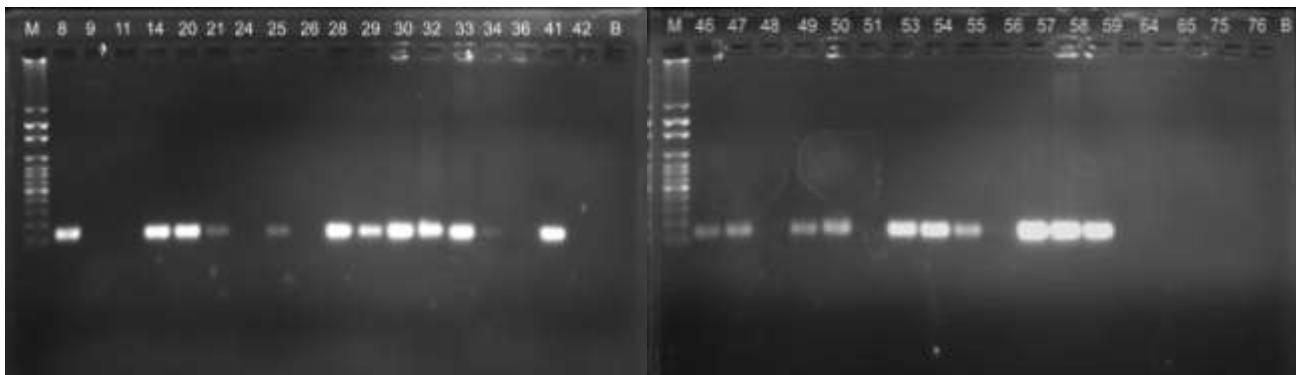


Figura 3. Imagen representativa de la amplificación PCR empleando los oligonucleótidos ENDO F1 y ENDO R1. Los carriles con números indican muestras de ADN de *Fusarium oxysporum* obtenidos de *V. planifolia* empleados en la amplificación PCR, las bandas amplificadas de 135 pb únicamente se presentan en aislados patogénicos, previamente caracterizados (Santillán-Mendoza *et al.*, 2023). Los carriles “M” indican el marcador de pesos moleculares de 100 pb y los carriles “B” indican el control negativo empleando agua biología molecular en lugar de ADN.



Conclusiones

El desarrollo de marcadores moleculares para la detección de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*, podría ser empleado en un futuro cercano como una tecnología para la detección rápida de este importante fitopatógeno de la vainilla, lo cual contribuiría en el desarrollo de nuevas estrategias para prevenir y controlar la enfermedad. Sin embargo, ensayos de especificidad, universalidad y sensibilidad mediante PCR y qPCR necesitan ser realizados exhaustivamente para determinar la funcionalidad de los marcadores moleculares.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico por el financiamiento para la realización del proyecto de investigación 15 1755/2021 “Diseño y validación de marcadores moleculares para la detección del agente causal de la Fusariosis en vainilla mediante genómica comparativa”.

Literatura Citada

- Adame-García, J., Á. R. Trigos, L. Iglesias-Andreu, N. Flores y M. Luna-Rodríguez. 2011. Variaciones isoenzimática y patogénica de *Fusarium* spp. asociadas con la pudrición de tallo y raíz de vainilla. *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 13(3):299-306. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93920942006>
- Adame-García, J., R. Rodríguez-Guerra, L. G. Iglesias-Andreu, J. M. Ramos-Prado y M. Luna-Rodríguez. 2015. Molecular identification and pathogenic variation of *Fusarium* species isolated from *Vanilla planifolia* in Papantla Mexico. *Bot. Sci.* 93(3):669-678. <https://doi.org/10.17129/botsci.142>



- Al-Hatmi, A. M. S., J. F. Meis and G. S. de Hoog. 2016. *Fusarium*: Molecular diversity and intrinsic drug resistance. PLoS Pathog. 12:e1005464. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005464>
- Base de Datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. Cultivos y Productos de Ganadería. FAOSTAT: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [Consultado el 10 de julio de 2023].
- Ayhan, D. H., C. López-Díaz, A. Di Pietro and L. J. Ma. 2018. Improved assembly of reference genome *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* strain Fol4287. Microbiol. Resour. Announc. 7:e00910-18. DOI10.1128/MRA.00910-18
- Boyce, S. and K. F. Tipton. 2001. Enzyme classification and nomenclature. Encyclopedia of Life Sciences. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0000710>
- Flores-de la Rosa, F. R., C. Martínez-Gendrán, M. Torres-Olaya, C. Matilde-Hernández, H. J. Estrella-Maldonado and R. Santillán-Mendoza. 2023. Fungal species characterization associated with vanilla root rot in the Totonacapan, Veracruz, Mexico. Int. J. Sci. Res. Arch. 8(1):66-70. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2023.8.1.0362>
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. Nucleic Acids Symp. Ser. 41:95-98.
- Kanehisa, M., Y. Sato, M. Kawashima, M. Furumichi and M. Tanabe. 2016. KEGG as a reference resource for gene and protein annotation. Nucleic Acids Res. 44(D1):D457-D462. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1070>
- Kelso-Bucio, H. A., B. Khalidou-Mamadou, S. Sánchez-Morales y D. Reyes-López. 2012. Estudio experimental para la determinación de los coeficientes de cultivo de la vainilla (*Vanilla* spp.) Rev. Mex. Cs. Agríc. 4:659-663 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263125299007>



- Campbell, M. S., C. Holt, B. Moore and M. Yandell. 2014. Genome annotation and curation using MAKER and MAKER-P. *Curr. Prot. Bioinform.* 48:4.11.1-4.11.39. <https://doi.org/10.1002/0471250953.bi0411s48>
- Casillas-Isiordia, R., F. R. Flores-de la Rosa, Á. Can-Chulim, G. Luna Esquivel, R. Rodríguez-Guerra, L. C. Ramírez-Guerrero, *et al.* 2017. *Fusarium* sp. associated with vanilla sp. rot in Nayarit, México. *ARN J. Agric. Biol. Sci.* 12(2):43-50. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/2207>
- Edel-Hermann, V. and C. Lecomte. 2019. Current status of *Fusarium oxysporum formae speciales* and races. *Phytopathology* 109:512-530. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
- Gans, J. D. and M. Wolinsky. 2008. Improved assay-dependent searching of nucleic acid sequence databases. *Nucleic Acids Res.* 36(12):e74. <https://doi.org/10.1093/nar/gkn301>
- Hernández-Hernández, J. 2011. Paquete tecnológico vainilla (*Vainilla planifolia* Jackson) establecimiento y mantenimiento. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Ixtacuaco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Hernández-Martínez, J., C. Carranza-Álvarez, J. Maldonado-Miranda and D. Martínez-Soto. 2020. Aislamiento de *Fusarium* de plantas de vainilla cultivadas en la Huasteca Potosina México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 38(3):475-484. <https://doi.org/https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2004-4>
- Koyyappurath, S., T. Atuahiva, R. Le Guen, H. Batina, S. Le Squin, N. Gautheron, *et al.* 2016. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae* is the causal agent of root and stem rot of vanilla. *Plant Pathol.* 65:612-625. <https://doi.org/10.1111/ppa.12445>
- Leslie, J. F. and B. A. Summerell. 2006. The *Fusarium* Laboratory Manual. Blackwell Publishing, USA. 388 p. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470278376>



- Lubinsky, P., S. Bory, J. Hernández-Hernández, S. C. Kim and A. Gómez-Pompa. 2008. Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. [Orchidaceae]). *Econ. Bot.* 62(2):127-138. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12231-008-9014-y>
- Mann, M., M. R. Berkeley, M. Sepp, F. A. Simão and E. V. Zdobnov. 2021. BUSCO Update: novel and streamlined workflows along with broader and deeper phylogenetic coverage for scoring of eukaryotic, prokaryotic, and viral genomes. *Mol. Biol. Evol.* 38(10):4647-4654.
- Nurk, S., A. Bankevich, D. Antipov, A. Gurevich, A. Korobeynikov, A. Lapidus, *et al.* 2013. Assembling genomes and mini-metagenomes from highly chimeric reads. p. 158-170. *In:* M. Deng, R., F. Jiang-Sun and X. Zhang (eds.). *Research in Computational Molecular Biology. Lecture Notes in Computer Science.* Springer, Berlin, Heidelberg. Vol. 7821.
- Sánchez-Guzmán C. J. 2022. Generación y caracterización de una colección de aislados de *Fusarium* spp. provenientes de vainillas con pudrición del Totonacapan. Tecnológico Nacional de México, Campus Misantla. Misantla, Veracruz, México. 74 p. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/5352>
- Santillán-Mendoza, R., S. P. Fernández-Pavía, K. O'Donnell, R. C. Ploetz, R. Ortega-Arreola, G. Vázquez-Marrufo, *et al.* 2018. A novel disease of big-leaf mahogany caused by two *Fusarium* species in Mexico. *Plant Dis.* 102(10):1965-1972. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-18-0060-RE>
- Santillán-Mendoza R., H. Estrella-Maldonado, C. Matilde-Hernández, M. Luna-Rodríguez, C. G. Rodríguez-Quibrera, C. González-Cruz, *et al.* 2023. Genome Sequence Resource of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41 and IXF50 alongside the Endophyte *F. oxysporum* IXF53, Isolated from Vanilla Root Rot. *Plant Dis.* 107(3):899-902. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-22-1543-A>
- Sharma, L. and G. Marques. 2018. *Fusarium*, an entomopathogen-a myth or reality? *Pathogens* 7:93. <https://doi.org/10.3390/pathogens7040093>



Tatusov, R. L. 2000. The COG database: a tool for genome-scale analysis of protein functions and evolution. *Nucleic Acids Res.* 28(1):33-36. <https://doi.org/10.1093/nar/28.1.33>

Untergasser, A., I. Cutcutache, T. Koressaar, J. Ye, B. C. Faircloth, M. Remm, *et al.* 2012. Primer3-new capabilities and interfaces. *Nucleic Acids Res.* 40(15):e115. <https://doi.org/10.1093/nar/gks596>



GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AISLADOS FÚNGICOS ASOCIADOS A MUERTE-DESCENDENTE EN LIMÓN PERSA Y NARANJA EN VERACRUZ

Lucero Marín Oluarte¹²³, Kandy Tapia Parceró¹²⁴, Felipe R. Flores de la Rosa¹²⁵, Humberto Estrella Maldonado¹²⁵,
Cristian Matilde Hernández¹²⁵, Sylvia P. Fernández Pavía¹²⁶, Gerardo Rodríguez Alvarado¹²⁶
y Ricardo Santillán Mendoza^{125*}

Resumen

En México, la citricultura ocupa el primer lugar en producción dentro de la fruticultura nacional con más de 8.8 millones de toneladas y una derrama económica de más de 47 mil millones de pesos al año. Sin embargo, las enfermedades son la principal causa de la reducción en la producción, lo cual se refleja en grandes pérdidas económicas, destacando las enfermedades fúngicas en troncos y ramas, debido a que colonizan los tejidos vasculares pudiendo ocasionar la muerte del árbol. La muerte descendente destaca por ser una enfermedad emergente en limón Persa y naranja dulce (Valencia), cultivos de gran importancia en Veracruz, cuyos agentes etiológicos son especies de la familia Botryosphaeriaceae. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue generar una colección de cepas fúngicas aisladas de ramas de limón Persa y naranja con síntomas de muerte descendente en seis municipios de la principal zona productora de cítricos de la región centro-norte del estado de Veracruz, México; para posteriormente caracterizar molecular y patogénicamente la diversidad, riqueza y virulencia de las especies de Botryosphaeriaceae obtenidas. Se colectaron 38 ramas en 13 huertas de limón Persa y 18 ramas en ocho huertas de naranja con síntomas de canchales, grietas, muerte regresiva y/o gomosis en los municipios de Cazones de Herrera, Espinal, Martínez de la Torre, Misantla, San Rafael y Tlapacoyan, Veracruz. En el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco del INIFAP (CEIXTA), se realizaron los aislamientos a partir del tejido vegetal empleando medio de cultivo Agar Papa-Dextrrosa suplementado con antibióticos, lo que hizo posible

¹²³ Tecnológico Nacional de México, campus Úrsulo Galván, extensión Tlapacoyan.

¹²⁴ Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Facultad de Manejo de Recursos Naturales.

¹²⁵ Campo Experimental Ixtacuaco, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

¹²⁶ Laboratorio de Patología Vegetal, IIAF, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.



generar una colección de 112 cepas, 76 de limón Persa y 36 de naranja, las cuales se encuentran resguardadas a 15°C en la colección Micológica del CEIXTA, actualmente se están corroborando los postulados de Koch, a la fecha se han inoculado 26 cepas de limón Persa, el resto de cepas aún se encuentran en el proceso de caracterización patogénica, mientras que la caracterización molecular de las 112 cepas se realizará en conjunto con la caracterización de los reaislamientos de las cepas que sean positivas en las pruebas de patogenicidad.

Palabras clave: *Citrus latifolia*, *Citrus sinensis*, Botryosphaeriaceae, Dieback

Introducción

México es el cuarto mayor productor de cítricos con 8.8 millones de toneladas lo que equivale al 5.5% de la producción mundial de cítricos, representando un valor de producción superior a los 47 mil millones de pesos en el año 2021 (FAOSTAT, 2021; SIAP, 2022). En México se cultivan un total de 852,717 ha de varias especies de *Citrus*, que incluyen naranja dulce (*Citrus sinensis* L.), limón Persa (*C. latifolia* Tan.) limón ácido (*C. aurantifolia* (Christm.) Swingle), mandarina (*C. reticulata* Blanco) y toronja (*C. paradisi* Macfad). Los principales estados productores de cítricos del país son Veracruz, Michoacán y Tamaulipas, que en conjunto producen más de 5.7 millones de toneladas lo que representa el 65% de la producción nacional, sin embargo, el estado de Veracruz ocupa el primer lugar a nivel nacional con 3.7 millones de toneladas (43.4%), lo que asciende a 14 mil 500 millones de pesos al año, siendo la naranja dulce y el limón Persa los principales cítricos producidos con 2 millones 500 mil toneladas y 859 mil toneladas, respectivamente (SIAP, 2022).

No obstante, las enfermedades en troncos y ramas causan pérdidas importantes en la producción de cítricos, estas enfermedades son causadas por una amplia gama de hongos no relacionados taxonómicamente que infectan principalmente a través de las heridas de poda de invierno, colonizando así los tejidos vasculares (Espargham *et al.*, 2020). En este grupo de hongos se incluyen miembros de la familia Botryosphaeriaceae, la cual contiene 22 géneros con distribución cosmopolita, las especies se asocian como endófitos, saprofitos, y patógenas causando canchales y muerte descendente (Dissanayake *et al.*, 2016; Rathnayaka *et al.*, 2022).



Las especies de los géneros *Lasiodiplodia*, *Diplodia*, *Dothiorella*, *Neofusicoccum* y *Neoscytalidium*, han sido reportadas enfermado a los árboles de cítricos en China, Egipto, España, Estados Unidos, Irán, Italia, entre otros (Mayorquin *et al.*, 2016; Espargham *et al.*, 2020; Mondragón-Flores *et al.*, 2021; Pereira-Bezerra *et al.*, 2021; Xiao *et al.*, 2021; El-Ganainy *et al.*, 2022).

En México, la investigación sobre los agentes causales de la muerte descendente en cítricos es escasa, a la fecha únicamente existen tres reportes que demuestran que, *Lasiodiplodia theobromae* es el agente causal de la muerte descendente en naranja valencia (*C. sinensis*) en los estados de Nuevo León y Tamaulipas (Polanco-Florian *et al.*, 2019); mientras que en limón Persa (*C. latifolia*) se ha reportado que *L. theobromae*, *L. citrícola* y *L. pseudotheobromae* son los agentes etiológicos en el estado de Morelos (Valle-de la Paz *et al.*, 2019), *L. theobromae*, *L. pseudotheobromae*, *L. brasiliense*, *L. subglobosa* y *L. citrícola* en el estado de Puebla, y *L. theobromae*, *L. pseudotheobromae*, *L. iraniensis* y *L. subglobosa* en el estado de Veracruz (Bautista-Cruz *et al.*, 2019). Por último, en naranja, toronja, mandarina y limón Italiano ha sido reportado a *Lasiodiplodia theobromae* asociado con pudrición de frutos, gomosis y muerte descendente en ramas en el estado de Tamaulipas, sin embargo, la patogenicidad no fue corroborada sobre esas especies de cítricos (Flores-Hernández *et al.*, 2021).

Debido a que, a la fecha no se ha determinado cuál es el agente causal de la muerte descendente en naranja en Veracruz, así como a que no existen otros reportes de la enfermedad en limón Persa en el estado desde el año 2019 (colectas realizadas en el 2015), es necesario investigar el estado actual de la enfermedad, en limón Persa y naranja dulce en la región centro-norte del estado de Veracruz, principal zona productora de cítricos del país.

Materiales y Métodos

Colecta de tejido vegetal de limón Persa y naranja dulce con síntomas de muerte descendente

La colecta de las ramas con muerte descendente se llevó a cabo en 13 huertas comerciales de limón Persa y ocho huertas comerciales de naranja dulce en los municipios de Cazonas de Herrera, Espinal, Martínez de la Torre, Misantla, San Rafael y Tlapacoyan en el estado de Veracruz, México, durante los meses de abril, mayo y junio de 2023. Se colectó una rama con síntomas por árbol, utilizando un muestreo completamente al azar a lo largo de las huertas. Las ramas de aproximadamente 30 cm se cortaron directamente de los árboles (Figura 1 A-B), se guardaron en bolsas de plástico marcadas y se

almacenaron en un contenedor de plástico con hielo para su transporte al Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.



Figura 1. Colecta y procesamiento de tejido vegetal de limón Persa con síntomas de muerte descendente. A) árbol de limón Persa con ramas que presentan muerte de la parte aérea hacia el tronco, los cuales son síntomas característicos de la enfermedad. B) tejido de limón Persa colectado para su procesamiento en el laboratorio del CEIXTA. C) rama de ~20 cm desinfectada para el aislamiento de cepas fúngicas. D) siembra de explantes de ~0.5 cm² en medio de cultivo agar papa-dextrosa suplementado con antibióticos.



Aislamiento de cepas fúngicas

El aislamiento de los hongos asociados con las ramas con muerte descendente se llevó a cabo primero desinfectando la superficie, las cuales se lavaron con detergente en polvo diluido en agua al 1%, tallando suavemente la superficie con una fibra, después se sumergieron en una solución de cloro comercial al 10% durante 2 min, por último, se realizaron tres enjuagues con agua estéril, y a continuación se secaron con toallas de papel estériles (Figura 1 C). Posteriormente, se cortaron explantes de $\sim 0.5 \text{ cm}^2$ del tejido en la periferia de las lesiones, incluyendo tejido enfermo y tejido sin síntomas; adicionalmente. Los explantes se sembraron en cajas de Petri (90 x 15 mm) con medio agar papa-dextrosa (PDA) suplementado con 0.7 g de ampicilina y 10 mg de rifampicina por litro (Figura 1 D) y se incubaron a 26°C por 24 a 48 h. Las colonias fúngicas que emergieron de los explantes se transfirieron a cajas con agar agua 2%, donde se purificaron mediante la transferencia de una punta de hifa a cajas con medio PDA. Los aislados purificados se cultivaron a 26°C por 7 días. Discos de medio y micelio de cada uno de los aislados se almacenaron en microtubos estériles de 2 mL, con agua desionizada estéril a 15°C , en la colección Micológica del Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario del CEIXTA, INIFAP.

Caracterización cultural y morfológica

Todos los aislamientos fúngicos de Botryosphaeriaceae, se caracterizaron culturalmente en función de la apariencia y color de la colonia, así como la pigmentación del medio de cultivo, posteriormente, las colonias fueron tentativamente identificados, mediante la observación de la morfología y de las principales estructuras microscópicas utilizando artículos y descripciones publicados (Phillips *et al.*, 2013).

Pruebas de patogenicidad

Se colectaron ramas de árboles sanos de una parcela demostrativa del Campo Experimental Ixtacuaco, ubicada en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz ($20^\circ 18' 37'' \text{ LN}$ y $96^\circ 59' 29'' \text{ LW}$, 105 m). Las ramas se lavaron con agua jabonosa, seguido de una inmersión en una solución de cloro comercial, se enjuagaron con agua destilada estéril, y se asperjaron con alcohol al 70%. La inoculación se llevó a cabo siguiendo el protocolo descrito por Bautista-Cruz *et al.* (2019) con ligeras modificaciones. Brevemente, tres ramas por cada aislado fueron colocadas en cámaras húmedas independientes, se les realizó una herida de aproximadamente 1 cm, lugar donde se colocó un disco de 0.5 cm de medio PDA con micelio con cada uno de los aislados analizados, mientras que para el control se emplearon discos de medio sin micelio, posteriormente se cubrieron con parafilm para evitar la desecación, se incubaron



a 25°C durante 16 días con un fotoperiodo de 16/8 horas luz/oscuridad, realizando observaciones cada 48 h.

Caracterización molecular

Extracción de ADN

De la colección de cepas, se inocularon 50 µl de solución de esporas en tubos cónicos de 15 ml conteniendo caldo papa-dextrosa (PDB) y se incubaron a 25°C durante siete días, posteriormente las pastillas de micelio formadas en los tubos se lavaron, secaron y molieron con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino, el cual se colocó en microtubos de 2 ml, con el que se procedió a extraer el ADN con CTAB (Santillán-Mendoza *et al.*, 2018) en donde, el micelio molido fue incubado en buffer de lisis a 65°C por una hora, se incubó a 37°C con la enzima RNAsa, el ADN se precipitó con isopropanol y la pastilla de ADN se lavó con etanol absoluto y posteriormente fue resuspendida en agua grado biología molecular.

Amplificaciones preliminares por PCR del ADNr

Las secuencias parciales de la región ribosomal de los espaciadores transcritos internos (ITS) [~600 pb], se obtendrán por PCR usando los oligonucleótidos ITS5 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') e ITS4 (5'-GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3') (White *et al.*, 1990), si es necesario será empleado un segundo marcador molecular para la correcta identificación de los aislados. Las reacciones de PCR que se llevan hasta el momento se realizaron en un termociclador (Thermo Scientific, MiniAmp plus) con un volumen final de 50 µl empleando el Master Mix Blast Taq 2x PCR (ABM). Las condiciones de PCR fueron 94°C durante 2 min, 35 ciclos a 94°C durante 15 s, 60°C durante 15 s y 72°C durante 15 s, finalizando con un paso a 72°C durante 2 min. Los productos de ADN de la PCR se analizaron mediante electroforesis en geles de agarosa al 1.5%. Las bandas de ADN de interés se cortaron y purificaron utilizando un kit comercial (Wizard SV Gel and PCR Clean-Up System, Promega). Los productos de ADN purificados fueron secuenciados por el IPICYT (San Luis Potosí). Las secuencias de ADN sin procesar se editarán manualmente con PreGap y Gap (<http://staden.sourceforge.net>) para obtener secuencias de consenso, para luego analizarlas con el programa Blast del NCBI [(Centro Nacional de Información Biotecnológica) (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)] para determinar porcentajes de similitud e identidad con respecto a otras secuencias.



Resultados y Discusión

Obtención de aislados fúngicos

Se colectaron un total de 56 ramas con síntomas de canchros, grietas, muerte regresiva y/o gomosis en 13 huertas de limón Persa (38 ramas) y en ocho huertas de naranja dulce (18 ramas). Se generó una colección de 112 aislados fúngicos, 76 a partir de tejido vegetal de limón Persa y 36 de tejido de naranja con síntomas de muerte descendente provenientes de los municipios de Cazones de Herrera, Espinal, Martínez de la Torre, Misantla, San Rafael y Tlapacoyan en el estado de Veracruz (Cuadro 1).

Cuadro 1. Aislados obtenidos de ramas de limón Persa y naranja dulce con síntomas de muerte descendente.

Aislados obtenidos	Especie	Localidad o Huerta	Municipio	Muestras
IXBL1 a IXBL9	<i>Citrus latifolia</i>	El Cortijo	Tlapacoyan	4
IXBL10 a IXBL15	<i>C. latifolia</i>	Rojo Gómez	Tlapacoyan	3
IXBL16 a IXBL25	<i>C. latifolia</i>	Puntilla Aldama 1	San Rafael	4
IXBL26 a IXBL31	<i>C. latifolia</i>	Puntilla Aldama 2	San Rafael	3
IXBL32 a IXBL34	<i>C. latifolia</i>	Las Pilas	Espinal	2
IXBL35 a IXBL39	<i>C. latifolia</i>	El 17	Espinal	3
IXBL40 a IXBL43	<i>C. latifolia</i>	El Tablón	Espinal	2
IXBL44 a IXBL49	<i>C. latifolia</i>	El Bohemio	Cazones de Herrera	3
IXBL50 a IXBL53	<i>C. latifolia</i>	Cazones 1	Cazones de Herrera	2
IXBL54 a IXBL59	<i>C. latifolia</i>	Lomas de Arena 1	Martínez de la Torre	3
IXBL60 a IXBL64	<i>C. latifolia</i>	Lomas de Arena 2	Martínez de la Torre	3
IXBL65 a IXBL70	<i>C. latifolia</i>	La Frontera	Misantla	3
IXBL71 a IXBL76	<i>C. latifolia</i>	Brazo Seco	Misantla	3
IXBN1 a IXBN4	<i>C. sinensis</i>	Rojo Gómez	Tlapacoyan	2
IXBN5 a IXBN8	<i>C. sinensis</i>	Puntilla Aldama 1	San Rafael	2
IXBN9 a IXBN12	<i>C. sinensis</i>	Puntilla Aldama 2	San Rafael	2
IXBN13 a IXBN18	<i>C. sinensis</i>	Lomas de Arena 1	Martínez de la Torre	3
IXBN19 a IXBN23	<i>C. sinensis</i>	Lomas de Arena 2	Martínez de la Torre	3
IXBN24 a IXBN30	<i>C. sinensis</i>	La Frontera	Misantla	3

Aislados obtenidos	Especie	Localidad o Huerta	Municipio	Muestras
IXBN31 a IXBN36	<i>C. sinensis</i>	Brazo Seco	Misantla	3

Caracterización cultural y morfológica

La caracterización cultural y morfológica de los aislados fúngicos obtenidos del tejido de limón Persa y naranja dulce con síntomas de muerte descendente (Figura 2), se realizó de forma observacional en microscopio estereoscópico y compuesto de acuerdo con lo reportado por Phillips *et al.* (2013), sin embargo, estas características son muy variables y en ocasiones no son distintivas, debido a que se comparten entre especies, además, son influenciadas por la edad y el sustrato donde crecen los aislados, por lo tanto, es necesario el uso de herramientas moleculares (Alves *et al.*, 2007; Bautista-Cruz *et al.*, 2019; Mondragón-Flores *et al.*, 2021).

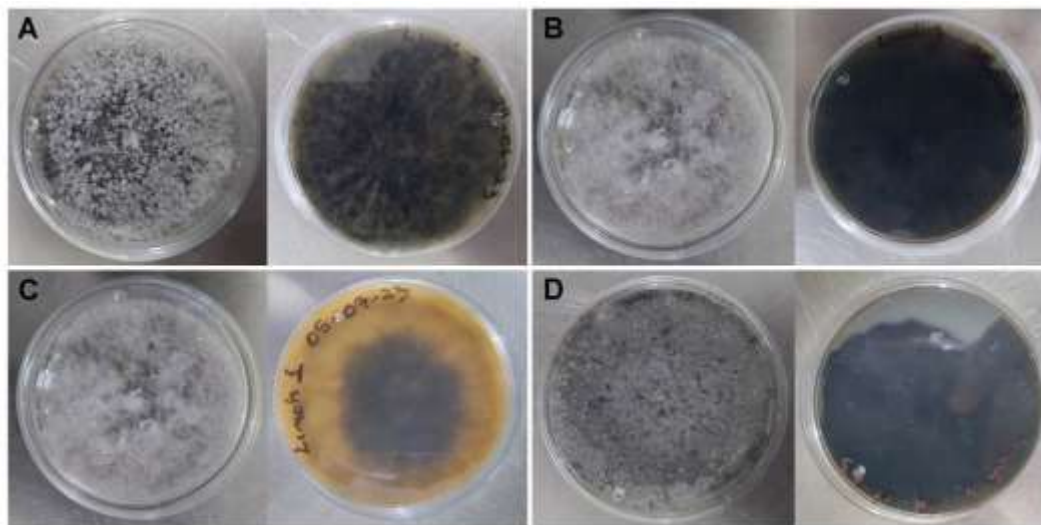


Figura 2. Caracterización cultural de los aislados fúngicos obtenidos del tejido de limón Persa y naranja dulce con síntomas de muerte descendente. A-D) imágenes del lado izquierdo muestran el crecimiento del micelio sobre el medio de cultivo, en todos los casos se presenta micelio aéreo algodonoso de coloración gris a negra, las imágenes de la derecha muestran la pigmentación producida por los hongos sobre el medio de cultivo, así como la coloración del micelio que se encuentra pegado al medio de cultivo, la cual va de colores cremas intensos a grises y negros con más de un color por cepa.

Pruebas de patogenicidad

Actualmente se están corroborando los postulados de Koch, a la fecha se han inoculado 43 de las 76 cepas aisladas de tejido vegetal de limón Persa y una de naranja dulce, en ramas de limón Persa, el resto de cepas aún se encuentran en el proceso de caracterización patogénica. La inoculación se realizó en tres ramas por cada aislado, se colocaron en cámara húmeda y se incubaron a 25°C durante 16 días, realizando observaciones cada 48 h. Un total de 33 de las 44 cepas inoculadas presentaron síntomas sobre las ramas de limón Persa, como son heridas de color café o negro y gomosis, mientras que, los testigos inoculados con medio PDA sin micelio no mostraron síntomas (Figura 3).



Figura 3. Resultados de las pruebas de patogenicidad en ramas de limón Persa 16 días después de la inoculación. A) control negativo inoculado con un disco de medio PDA sin micelio; B) cepa IXBL1 aislada de limón Persa; C) cepa IXBL3 aislada de limón Persa; D) cepa IXBN1 aislada de naranja dulce. Los recuadros rojos en la parte inferior derecha de cada panel, muestran el daño interno causado por los hongos en el tejido inoculado.



Caracterización molecular

Hasta el momento, se ha realizado la extracción de ADN de 50 de las 112 cepas con las que cuenta la colección Micológica del CEIXTA, de estas, únicamente se ha amplificado la región ribosomal de los espaciadores transcritos internos (ITS) de 18 cepas obtenidas de tejido de limón Persa con síntomas de muerte descendente (Figura 4), dichas muestras ya fueron purificadas y enviadas para su secuenciación al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), a la fecha, nos encontramos a la espera de los resultados de la secuenciación. Sin embargo, aún falta caracterizar las 94 cepas restantes y los reaislamientos de las pruebas de patogenicidad.

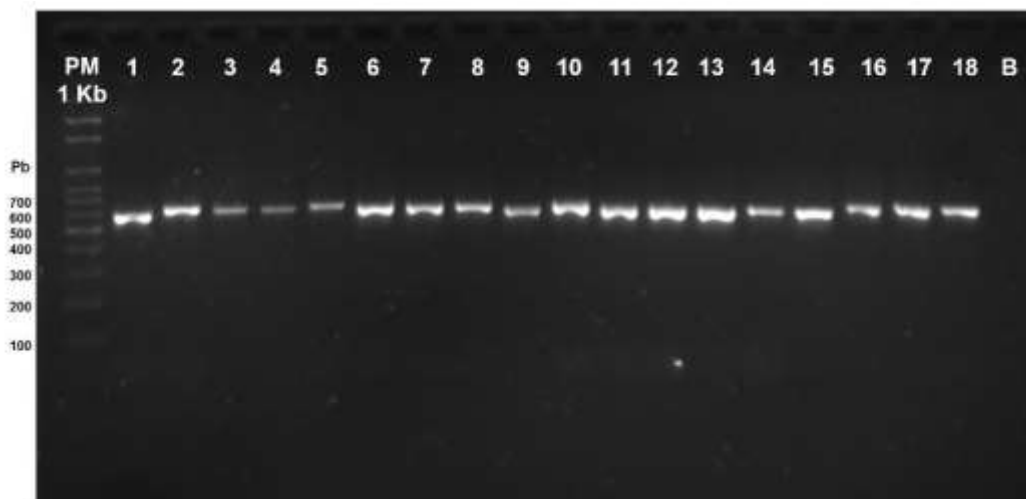


Figura 4. Electroforesis en gel de agarosa al 1.5% de los productos de PCR de la región del ADN_r, ITS. El carril PM indica el marcador de pesos moleculares de 1 Kb, carriles 1 a 18 productos de PCR ITS de 18 cepas obtenidas de tejido de limón Persa con síntomas de muerte descendente, carril B control negativo.

Conclusiones

1. En este estudio se caracteriza la distribución y patogenicidad de aislados fúngicos obtenidos de limón Persa y naranja dulce con muerte descendente y gomosis en la principal zona productora de cítricos de México.



2. El estudio del estado actual de la muerte descendente en limón Persa y naranja, sentará las bases para el desarrollo de estrategias adecuadas para el manejo de la enfermedad. Sin embargo, la caracterización completa de las cepas es necesaria para poder desarrollar dichas estrategias.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el financiamiento para la realización del proyecto de Fortalecimiento de Infraestructura y Desarrollo de Capacidades Científicas No. 322068 denominado “Fortalecimiento del equipo e infraestructura para el estudio y control de las principales enfermedades de cítricos para incidir en el bienestar social de la zona citrícola de Veracruz”. Además, el primer autor agradece la beca recibida por el CONAHCYT para la realización de su tesis de licenciatura, otorgada mediante el proyecto antes mencionado.

Literatura Citada

- Alves, A., A. J. L. Phillips, I. Henriques and A. Correia. 2007. Rapid differentiation of species of Botryosphaeriaceae by PCR fingerprinting. *Res. Microbiol.* 158(2):112-121. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2006.10.003>.
- Bautista-Cruz, M. A., G. Almaguer-Vargas, G. Leyva-Mir, M. T. Colinas-León, K. Correia, M. Camacho-Tapia, *et al.* 2019. Phylogeny, distribution, and pathogenicity of *Lasiodiplodia* species associated with cankers and dieback symptoms of persian lime in Mexico. *Plant Dis.* 103(6):1156-1165. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1036-RE>.
- Dissanayake, A. J., A. J. L. Phillips, X. H. Li and K. D. Hyde. 2016. Botryosphaeriaceae: Current status of genera and species. *Mycosphere.* 7:1001-1073. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/si/1b/13>.



- El-Ganainy, S. M., A. M. Ismail, Z. Iqbal, E. S. Elshewy, K. A. Alhudaib, M. I. Almaghasla and D. Magistà. 2022. Diversity among *Lasiodiplodia* Species Causing Dieback, Root Rot and Leaf Spot on Fruit Trees in Egypt, and a Description of *Lasiodiplodia newvalleyensis* sp. nov. *J. Fungi*. 8:1203. <https://doi.org/10.3390/jof8111203>
- Espargham, N., H. Mohammadi and D. Gramaje. 2020. A Survey of Trunk Disease Pathogens within Citrus Trees in Iran. *Plants*. 9:754. <https://doi.org/10.3390/plants9060754>.
- FAOSTAT, Production Crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021. <http://www.fao.org/faostat/> Accedido Julio, 2023.
- Flores-Hernández, H., J. Flores-Gracia, S. E. Varela-Fuentes, A. Pérez-Rodríguez, A. Azuara-Domínguez y A. Monteon-Ojeda. 2021. Reporte de *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) Griffon y Maubl. en árboles cítricos de Tamaulipas. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 12(3):499-511. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2640>
- Mayorquin, J. S., D. H. Wang, M. Twizeyimana and A. Eskalen. 2016. Identification, distribution, and pathogenicity of Diatrypaceae and Botryosphaeriaceae associated with citrus branch canker in the southern California desert. *Plant Dis.* 100:2402-2413. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0362-RE>.
- Mondragón-Flores, A., G. Rodríguez-Alvarado, N. Gómez-Dorantes, J. J. Guerra-Santos y S. P. Fernández-Pavía. 2021. Botryosphaeriaceae: una familia de hongos, compleja, diversa y cosmopolita. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 12(4):643-654. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2620>
- Pereira-Bezerra, J. D., P. W. Crous, D. Aiello, M. L. Gullino, G. G. Polizzi and V. Guarnaccia. 2021. Genetic Diversity and Pathogenicity of Botryosphaeriaceae Species Associated with Symptomatic Citrus Plants in Europe. *Plants*. 10:492. <https://doi.org/10.3390/plants10030492>



- Phillips, A. J. L., A. Alves, J. Abdollahzadeh, B. Slippers, M. J. Wingfield, J. Z. Groenewald and P. W. Crous. 2013. The Botryosphaeriaceae: Genera and species known from culture. *Stud. Mycol.* 76: 51-167. <https://doi.org/10.3114/sim0021>
- Polanco-Florián, L. G., O. G. Alvarado-Gómez, O. Pérez-González, R. González-Garza y E. Olivares-Sáenz. 2019. Hongos asociados con la muerte regresiva de los cítricos en Nuevo León y Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10(4):757-764. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1417>.
- Rathnayaka, A. R., K.W. Thilini-Chethana, A. J. L. Phillips and E. B. G. Jones. 2022. Two new species of Botryosphaeriaceae (Botryosphaeriales) and new host/geographical records. *Phytotaxa.* 564(1):008-038. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.564.1.2>.
- Santillán-Mendoza, R., S. P. Fernández-Pavía, K. O'Donnell, R. C. Ploetz, R. Ortega-Arreola, G. Vázquez-Marrufo, *et al.* 2018. A novel disease of big-leaf mahogany caused by two *Fusarium* species in Mexico. *Plant Dis.* 102(10):1965-1972. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-18-0060-RE>
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022. <https://www.gob.mx/siap> Accedido el 10 de Julio, 2023.
- Valle-De la Paz, M., D. Guillén-Sánchez, D. Perales-Rosas, V. López-Martínez, P. Juárez-López, E. Martínez-Fernández, *et al.* 2019. Distribution, incidence and severity of dieback (*Lasiodiplodia* spp.) in persa lime in Morelos, Mexico. *Mex. J. Phytopathol.* 37(3):464-478. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1904-7>.
- White, T. J., T. Bruns, S. Lee and J. Taylor. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR Protoc. A Guide Methods Appl.* 18: 315-322. https://www.researchgate.net/publication/262687766_Amplification_and_Direct_Sequencing_of_Fungal_Ribosomal_RNA_Genes_for_Phylogenetics



Xiao, X. E., W. Wang, P. W. Crous, H. K. Wang, C. Jiao, F. Huang, *et al.* 2021. Species of Botryosphaeriaceae associated with citrus branch diseases in China. *Persoonia*. 47:106-135. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2021.47.03>.



RENDIMIENTO DE GRANO Y TOTOMOXTLE BAJO EL SISTEMA DE TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA EN MAÍZ NATIVO

Juan Manuel García Toral¹²⁷, Isaac Meneses Márquez^{128*}, Enedina Sánchez González¹²⁷, Eloy Meneses Márquez, Santiago Domínguez Monge¹²⁹ y Rosi Edith Santes Olmedo¹²⁷

Resumen

El objetivo fue determinar el incremento en la producción de grano y totomoxtle en una población de maíz nativo de la región del Totonacapan, al implementar un proceso de transición agroecológico en comparación con el manejo convencional. El material vegetal fue una población de maíz nativo de la raza tuxpeño que los productores han venido utilizando desde hace al menos 15 años. El trabajo se realizó en la localidad de Plan de Hidalgo, Papantla, Veracruz, en la parcela muestra de tres productores innovadores denominadas Escuelas de Capacitación y Aprendizaje (ECA), en la que el cultivo se encuentra en transición agroecológica como parte de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) del Programa Producción para el Bienestar (PPB) de la Región 18. El manejo agroecológico consistió de la implementación de componentes tecnológicos, tales como inoculación a la semilla con micorriza INIFAP, siembra en sentido contrario a la pendiente del terreno, bioinsumos que cumplieron funciones de fertilización, control de plagas y enfermedades, y el uso de trampas para el control del adulto del gusano cogollero. Los productos orgánicos fueron elaborados por el productor innovador de manera artesanal con materia prima local y de fácil acceso. Al considerar el diagnóstico de la línea base (ciclo primavera-verano 2022) y contrastarlo con la implementación del sistema de manejo agroecológico (ciclo otoño-invierno 2022/23) se logró un aumento en promedio del rendimiento de grano de 25.6%, lo que equivale a 320 kilogramos de diferencia, adicional a las ventajas del menor impacto negativo al ambiente, derivado de la disminución del uso de productos químicos con el manejo agronómico del cultivo. Se pudo constatar que con el manejo agroecológico se logró un incremento en el rendimiento de grano de maíz del 27% de productividad respecto al manejo convencional, situación contraria a lo observado en la producción de totomoxtle, donde con el manejo

¹²⁷ Técnico del Programa Producción para el Bienestar-Región 18. SADER. Correo: torales1992@gmail.com

¹²⁸ Investigador del Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. *Autor por correspondencia: meneses.isaac@inifap.gob.mx

¹²⁹ Investigador del Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP.



convencional se logra mayor peso de la hoja, con un valor superior de al menos 79 kilogramos, lo que traducido en dinero representa un ingreso de al menos \$1580 si se considera un precio estándar de \$20 por kilogramo de totomoxtle.

Palabras clave: agricultura orgánica, bajo impacto ambiental, selección empírica

Introducción

El incremento poblacional, el deterioro ambiental y el modelo de la agricultura intensiva, ha generado interés en la sociedad sobre la creación de nuevas estrategias encaminadas al desarrollo sustentable, que logren la producción de alimentos sin afectar los ecosistemas naturales. Lo anterior, conlleva a generar rendimientos sostenidos a largo plazo a través del uso de tecnologías y prácticas que mejoren la eficiencia del sistema de producción, y no altos rendimientos a corto plazo. Es decir, se busca la optimización del sistema mediante las interacciones de los componentes bióticos y abióticos (Altieri, 1994).

Desde la segunda parte del siglo XX, en México, las políticas gubernamentales promovieron el monocultivo y la utilización de estrategias como la mecanización, el mejoramiento de variedades en centros de investigación y el desarrollo de agroquímicos para el control de plagas, enfermedades y arvenses, así como el uso de fertilizantes sintéticos (Ebel *et al.*, 2017).

En México, el cultivo de maíz es el más importante por su superficie sembrada, valor de la producción, por ser el alimento principal del 20% de la población económicamente activa y aportar el 59% de la energía y el 39% de la proteína que se consume en nuestro país.

Durante el periodo de 2018 a 2021, la producción nacional de maíz ha tenido un crecimiento de 1.2%, lo cual equivale a un total de 27.5 millones de toneladas de maíz (FAOSTAT, 2023).

En la región Golfo Centro de México, que comprende los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, el rendimiento medio por hectárea es de 1.84 t. Del total de la superficie sembrada, el 80% se siembra durante el ciclo primavera-verano en condiciones de temporal y 20% en el ciclo otoño-invierno en condiciones de tonalmil, que se logra con la humedad residual del temporal y las lluvias ocasionadas por los vientos denominados “nortes”, sobre todo en las regiones norte y sur de Veracruz, oriente de Puebla y el estado de Tabasco (Sierra *et al.*, 2012). Estos rendimientos de maíz generalmente se ven



afectados por varios factores, como el tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo, dado que, en suelos de la región de centro de Veracruz, donde se han realizado evaluación de materiales, se tienen rendimientos de hasta 7 t/ha, mientras que, en el sur, éstos disminuyen hasta 2.7 t/ha (Sierra *et al.*, 2009). No obstante, la media potencial de rendimiento para el estado de Veracruz es de 4 t/ha (Cumpian, 2009).

El estado de Veracruz representa una de las principales entidades productoras de maíz, sobresaliendo el municipio de Papantla, como el de mayor producción de este grano. En este municipio se trabaja con el sistema de producción en monocultivo, donde el producto de mayor interés es el totomoxtle de la mazorca, dejando en segundo término la producción de grano, siendo toda la producción de temporal. Dado que el municipio es uno de los más extensos de la entidad, y sus variantes en suelo y clima permiten suponer una variación en las razas de maíz que se están desarrollando en esa región, está más que justificado en que, previo a la implementación de alguna propuesta de cambio en el manejo del cultivo, sea acompañado de un diagnóstico de línea base que permita el conocimiento real de las características del suelo (Pérez *et al.*, 2009).

La defensa del maíz tiene su fortaleza mayor en la cotidianidad de las zonas que milenariamente han producido este cereal. Es en el México profundo donde el grano vital sigue siendo parte del tejido económico, social y cultural del campesino, y precisamente al que le deben sus particularidades de color, sabor y usos (Morales y Ayala, 2010). Actualmente los productores de maíz de la zona del Totonacapan, en especial aquellos que pertenecen a varias comunidades del municipio de Papantla (entre las que sobresalen Plan de Hidalgo y Plan del Palmar), están siendo objeto de apoyo por parte de la EAT-PPB de la SADER para la implementación de un modelo de producción agroecológica, libre de agroquímicos y que busca el incremento de la producción de maíz tanto en el sistema de monocultivo, como con la interacción con cultivos locales en un mismo espacio.

En este esquema se encuadra la agroecología, entendiendo ésta como un conjunto de prácticas que busca sistemas agrícolas sostenibles que optimizan y estabilizan la producción (FAO, 2023). Para lograr el proceso de adopción de nuevas prácticas, se plantea a los productores la utilización del instrumento denominado Plan de Transición Agroecológico, que toma como base el sistema de producción actual, en el cual se identifican las actividades, prácticas agrícolas e insumos que se pueden sustituir de manera total o parcial para transitar a sistemas sustentables. La implementación de un plan de transición agroecológica es loable; sin embargo, es importante que a corto plazo se realice la evaluación de la sustentabilidad, con la finalidad de determinar los Índices de Sustentabilidad (IS):



socioculturales (ISC), ecológicos (IE) y económicos (IK); lo anterior permitirá conocer el Índice de Sustentabilidad General, y de esta manera determinar si el sistema de producción agroecológica de maíz es o no sustentable (Hasang-Moran *et al.*, 2021). La agricultura sustentable no sólo se refiere a una agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, sino que ha promovido la necesidad de realizar ajustes en la agricultura convencional para que ésta se vuelva ambiental, social, y económicamente viable y compatible (Edwards *et al.*, 1990). De esta manera, la sustentabilidad en el contexto de los sistemas agrícolas considera la creación de sistemas productivos de recursos naturales, estables y adaptables, que distribuyan los costos y beneficios en forma equitativa, generando procesos autogestivos entre otros beneficiarios (Maserá *et al.*, 2000).

Estudios realizados por González *et al.* (2020) relacionados con la evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas, señalan que a partir de los resultados significativos que destaca la medición, se muestra nivel bajo de sustentabilidad en el agroecosistema; sin embargo, en el ámbito económico el sistema productivo refleja un nivel sustentable fortalecido en las categorías de beneficio económico y eficiencia económica, pero vulnerable y frágil en la dimensión social y ambiental, por bajos niveles de sustentabilidad en la participación social equitativa, cambio e innovación, organización social, vulnerabilidad biológica y conservación y protección de los recursos naturales. En ese sentido, se vislumbra que el sistema es afectado por distintas presiones sociales, económicas y ambientales que provocan y aceleran cambios en su estructura socioeconómica y ambiental, incidiendo en un escenario de alta fragilidad, situación que hace vulnerable al cultivo de maíz ante las alteraciones que presenta el sistema de producción.

Una investigación centrada en los sistemas de producción agrícola sostenible describe que, durante las últimas décadas, la autogestión de los ecosistemas rurales ha sido reevaluada y crece la conciencia de la necesidad de reorientar los sistemas de producción agrícola y desarrollar modelos alternativos de uso de la tierra. Esto implica no sólo el desarrollo de una nueva conciencia social y política, sino también la propuesta de nuevos enfoques conceptuales que permitan alcanzar los objetivos (Martínez-Castillo, 2016).

González *et al.* (2020), señalan que, para mitigar el impacto de la agricultura en el ambiente, se requiere de la aplicación de técnicas agroecológicas, que desarrollen una explotación amigable para el ambiente y donde el proceso de producción del maíz sea estable y no ser opuesto al desarrollo sustentable de la producción agrícola. La transición agroecológica tiene como objeto aumentar la producción de maíz, haciendo uso de bioinsumos racionales de elaboración artesanal, mismos que



contribuyen al aumento de la producción de grano de maíz, al cuidado al medio ambiente y a la salud humana. Cabe resaltar que el grano de maíz cultivado en la zona es una mezcla varietal criollo-tuxpeño que sirve para la obtención de grano de maíz y hoja como subproducto y de valor comercial. Por lo anterior descrito, en este trabajo se persiguen los siguientes objetivos:

1. Comparar el sistema de producción denominado manejo convencional con el manejo agroecológico.
2. Determinar el rendimiento de grano y totomoxtle en dos sistemas de producción en maíz nativo.

Materiales y Métodos

Localización del experimento. Este trabajo se realizó en la localidad de Plan de Hidalgo, en el municipio de Papantla, Veracruz, durante los ciclos primavera-verano 2022 y otoño-invierno 2022/23, en parcelas de tres productores innovadores que participan en la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) del Programa Producción para el Bienestar de la SADER. Esta localidad se ubica a 20.404991 de Latitud Norte y -97.43488 de Longitud Oeste, a una altitud de 154 m (Figura 1); presenta un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano y una precipitación anual acumulada de 1,186 mm (INIFAP, 2006) (García, 1988).

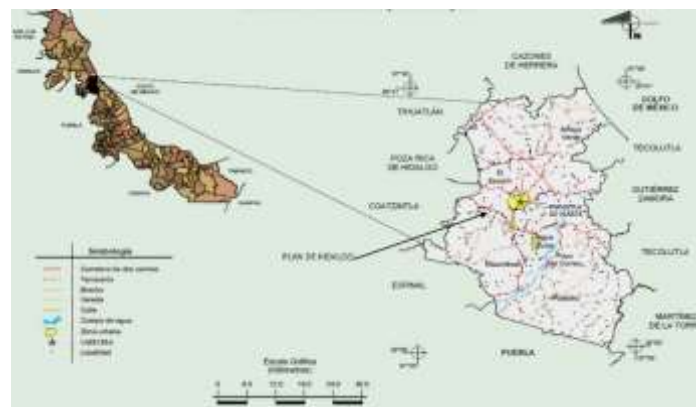


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.

En el ciclo primavera-verano del año 2022 se realizó un diagnóstico productivo considerado la línea base para cada uno de los predios. De acuerdo con las necesidades detectadas en el diagnóstico, a partir



del ciclo productivo otoño-invierno 2022/23 se implementó el Plan de Transición Agroecológico (PTA) elaborado ex profeso para cada parcela. El material vegetal utilizado fue maíz nativo, el cual por su naturaleza de obtención de semilla ciclo tras ciclo, es una población heterogénea, homo-heterocigóticas, desarrolladas y conservadas por los agricultores a través de múltiples generaciones de selección empírica para caracteres específicos como textura de grano, color, forma de mazorca, sanidad y ciclo vegetativo, entre otros (Aragón *et al.*, 2006).

Manejo agroecológico del cultivo

Se realizó la siembra en las parcelas en las siguientes fechas: productor 1, 10 de noviembre de 2022; productor 2, 15 de noviembre de 2022 y productor 3, 1 de noviembre de 2022, a una densidad de siembra de 46,875 plantas por hectárea. La germinación se inició aproximadamente a los cinco días. Con los tres productores, el manejo agroecológico dio inicio desde la siembra; como primera actividad se implementó el uso de micorrizas para inocular la semilla de maíz y promover la relación simbiótica planta-micorriza y proveer de nutrientes a la primera, utilizándose 500 g de la especie *Glomus intraradices* para inocular un total de 9 kg de maíz. Al tercer día después de la siembra se colocaron cuatro trampas con feromonas de atracción en el predio donde se estableció el cultivo, para controlar el nivel de reproducción de las palomillas de gusano cogollero y disminuir el daño a la planta de maíz. Quince días después de la siembra se realizó la aplicación de microorganismos locales en fase líquida los cuales contaron con las calidades propias y medibles con valores promedio de 4.5 de pH, 12 de conductividad eléctrica y 45 de potencial óxido reducción; estos tres valores determinaron la calidad del bioinsumo. La aplicación del bioinsumo microorganismo local activado se realizó diluyendo 30 L de microorganismos en 120 L de agua para aplicar en una hectárea; la forma de aplicación fue directo al suelo a 5 cm de distancia a la planta, lo cual cumple la función de promover el crecimiento de la planta y de adoptar microorganismos benéficos al suelo como los actinomicetos.

Continuando con el manejo agroecológico, la primera aplicación del caldo sulfocálcico fue a los 25 días después de la siembra (dds) a una dosis de 2.5 L/ha, repitiéndola a los 40 dds a la misma dosis; estas dos aplicaciones cumplieron la función de controlar la plaga de gusano cogollero e insectos de cuerpo blando, además de nutrir a la planta con los microelementos azufre y calcio, además contribuyeron también a prevenir enfermedades fúngicas como el *Fusarium verticillioides*, conocido localmente como “chamusquina”.

Se aplicó un tercer componente agroecológico a los 15 dds: uso de tierras de diatomeas en dosis de 1.5 kg disueltas en 120 L de agua como parte del control de los gusanos cogollero, trozador y barrenador



así como de grillos. La segunda aplicación de tierras de diatomeas se realizó a los 15 días posteriores a la primera aplicación.

El último componente agroecológico fue de lixiviados de composta, cuya primera aplicación foliar fue hecha a los 50 dds y la segunda a los 60 dds. Estas dos aplicaciones tuvieron como finalidad de nutrir a la planta de maíz con ácidos húmicos en estos momentos claves, para fortalecer al cultivo y promover un incremento en la producción.

Manejo convencional del cultivo

El manejo convencional fue el que los productores han venido realizando a través de los años, en combinación con sus conocimientos adquiridos a través de generación en generación, complementado con el paquete tecnológico que recomienda el INIFAP (Anónimo, 2007) y Palafox *et al.* (2010). Esto se realizó en un predio de una hectárea por cada productor, utilizando la misma densidad de población usada en el manejo agroecológico.

La principal actividad que realizaron antes de la siembra fue agregar insecticida comercial (Semevin) a la semilla de maíz, para evitar que el grano fuera dañado por hormigas u otros insectos antes y durante la germinación.

A los 15, 30 y 45 dds, se hizo la aplicación del insecticida Foley Rey para controlar el gusano cogollero, gusano trozador, barrenador, grillos y otros de menor importancia. Estas aplicaciones se realizaron en combinación con fertilizantes foliares (BASF foliar).

La cosecha se realizó aproximadamente a los 180 días después de la siembra. Las variables que se registraron y se reportan en este trabajo son:

Rendimiento de grano. Con apoyo de una báscula digital se determinó el peso del grano, una vez terminado todo el desgrane, y se expresó en kilogramos por hectárea.

Peso de totemoxtle. El corte del totemoxtle se realizó con apoyo de un kit para sacar hoja, humedeciendo previamente las mazorcas para facilitar el corte. Se pesó con una báscula digital y se expresó en kilogramos por hectárea.

Es importante señalar que, aunado al manejo agroecológico del cultivo, se ha iniciado la implementación de la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE), lo que incluye los criterios para mayor producción de grano y también para mayor cantidad de totemoxtle, buscando atender de manera integral estos dos productos importantes para los productores.



Resultados y Discusión

Al considerar el diagnóstico de la línea base (ciclo primavera-verano 2022) y contrastarlo con la implementación del sistema de producción de maíz nativo con manejo agroecológico (ciclo otoño-invierno 2022/23) se logró un aumento en promedio del rendimiento de grano de 25.6%, lo que equivale a 320 kg de diferencia, adicional a las ventajas del menor impacto negativo al ambiente derivado de la disminución del uso de productos químicos con el manejo agronómico del cultivo (Figura 2).

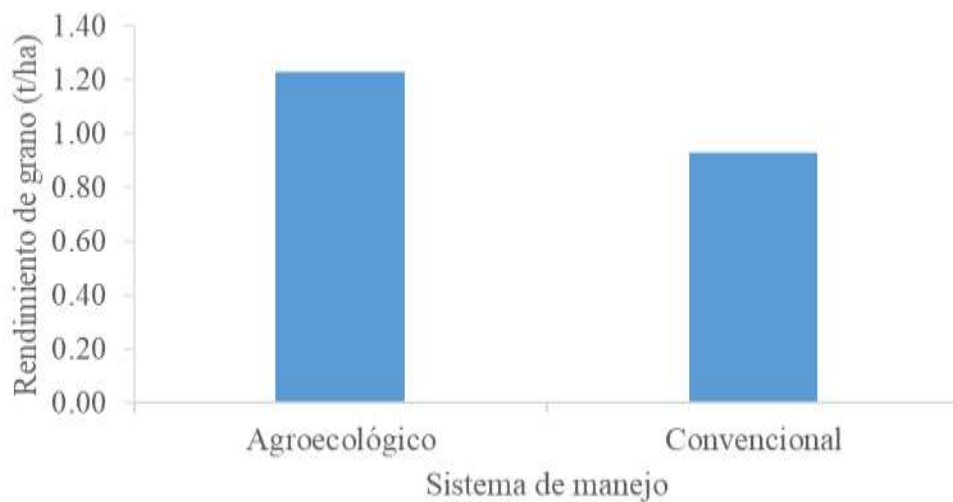


Figura 2. Efecto sobre el rendimiento de grano al cambiar el sistema de manejo en maíz nativo.

En la Figura 3 se aprecia que con el manejo convencional que realizaban los tres productores innovadores ciclo tras ciclo, el rendimiento de grano de maíz nativo, fue inferior al obtenido a partir de la implementación del manejo agroecológico del cultivo. Este último sistema de manejo permitió lograr incrementos desde 8% hasta 50%. A este respecto, Mendoza *et al.* (2000) señalan que las mermas que de manera normal se presentan en la producción de maíces tropicales se deben principalmente a factores bióticos y abióticos, entre ellos la alta incidencia de malezas en épocas críticas del cultivo, el ataque de plagas, enfermedades y suelos pobres; la falta de tecnología y las pocas dependencias o empresas dedicadas al mejoramiento genético, también se hacen partícipes. Lo anterior se nota al implementar un sistema de manejo agroecológico, donde la inoculación de la semilla con micorriza ayuda a atender el problema de los suelos pobres, lo que en definitiva puede explicar y lograr un

incremento en el rendimiento de grano que se obtuvo en este trabajo (Aguado, 2012; Duran *et al.*, 2015).

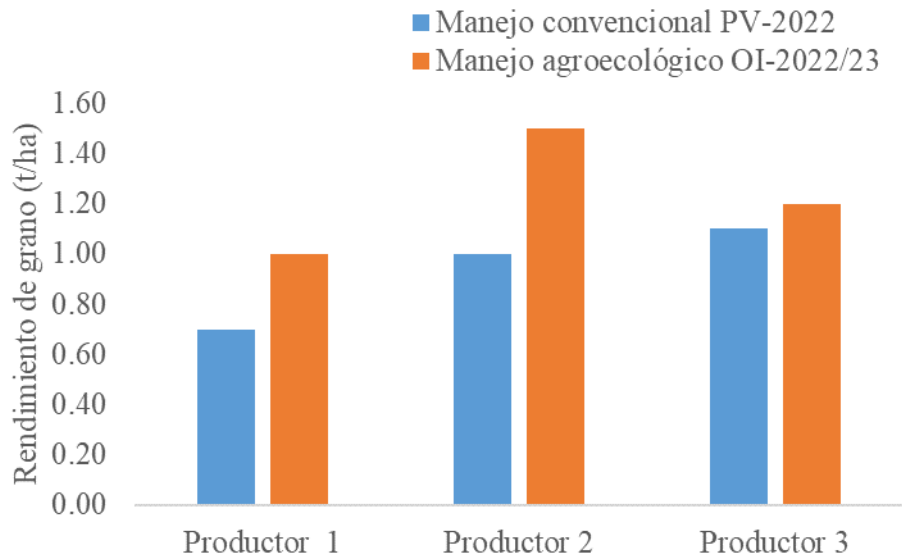


Figura 3. Efecto del manejo agroecológico en maíz nativo en el rendimiento de grano.

En la Figura 4, se aprecia que bajo el modelo agroecológico en la parcela del productor dos se mantiene el aumento del 50% en el rendimiento de grano (t/ha) en comparación con el modelo convencional en el ciclo otoño-invierno 2022/23.

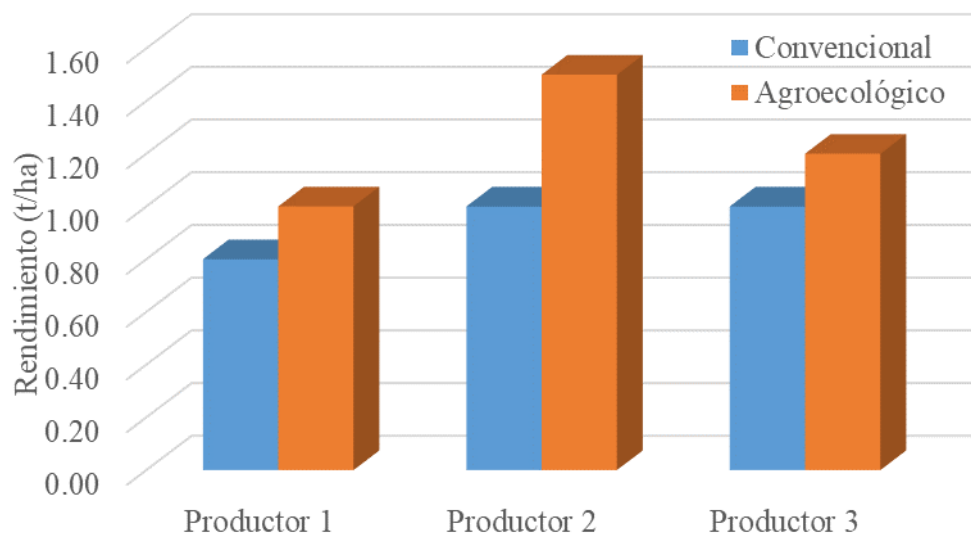


Figura 4. Comparación de los dos modelos productivos en el rendimiento de maíz con tres productores en el ciclo otoño-invierno 2022/23.



En el mismo ciclo productivo otoño-invierno 2022/23, el rendimiento promedio de las tres parcelas de los productores innovadores mantuvo el incremento del 27% de productividad con el manejo agroecológico respecto al manejo convencional (Figura 5). Por lo general, el cultivo de maíz responde bien a la inoculación de la semilla con micorrizas, en combinación con vermicomposta, e incluso no hay cambios en otros aspectos, tal como lo señalan Oliva *et al.* (2019), en el sentido de que es posible cultivar maíz usando vermicomposta como fertilizante, porque las características químicas, los parámetros energéticos y el perfil de aminoácidos en el grano de maíz no se ven afectados en comparación con el maíz cultivado con vermicomposta adicionada con biofertilizantes (V+M) o con el maíz cultivado con fertilizantes químicos (CF). El hecho de utilizar humus en este tipo de manejo favorece la retención de grandes cantidades de nutrientes, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, así también, funcionan como un estabilizador de la estructura del suelo y retienen grandes cantidades de agua (Zetina *et al.*, 2015).

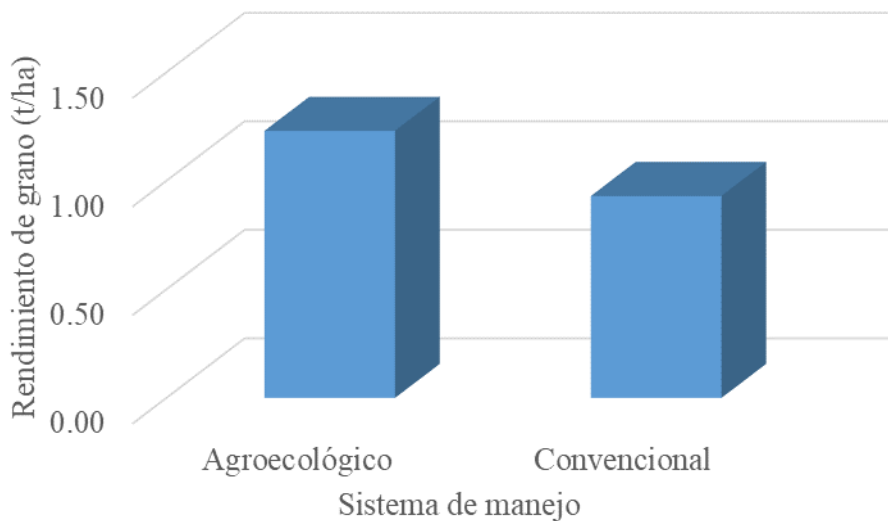


Figura 5. Efecto del sistema de manejo sobre el rendimiento de grano en maíz nativo ciclo O-I 2022/23.

De acuerdo a estos resultados, es importante señalar que el manejo agroecológico es una opción para los millones de unidades rurales menores de 5 ha, con fuertes limitantes productivas y que, normalmente requieren contar con tecnología que responda a la gran diversidad ambiental y edáfica que las caracteriza, y que dentro de todo esto también está en incursionar en el mejoramiento de los maíces nativos en el terreno de los productores (Sandoval *et al.*, 2003)



La producción de totomoxtle es superior en un 47% bajo el modelo convencional respecto al modelo agroecológico con el productor uno y con el productor dos, apenas se encuentra una diferencia de 9% en producción de hoja siendo superior el convencional respecto al agroecológico (Figura 6).

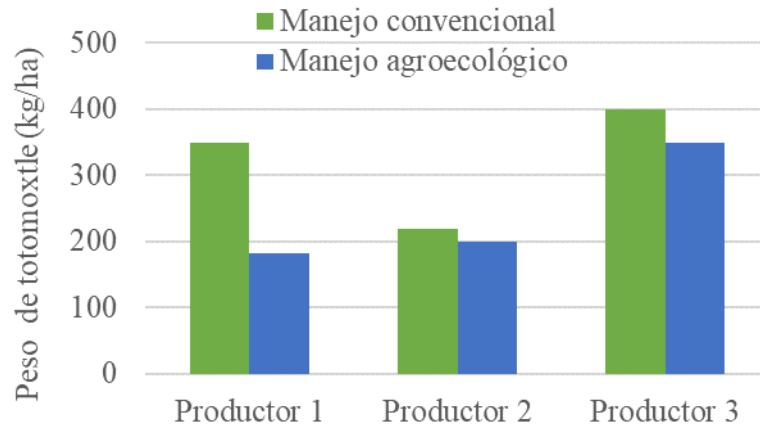


Figura 6. Efecto del sistema de manejo sobre el rendimiento de totomoxtle de maíz en diferentes ECA's.

En promedio, el sistema de manejo convencional supera ampliamente al sistema de manejo agroecológico en un 32%, lo que equivale a no menos de 79 kg de hoja, y si se considera el precio de un kilogramo a \$20.00 representa dejar de percibir la cantidad de \$1580.00 (Figura 7).

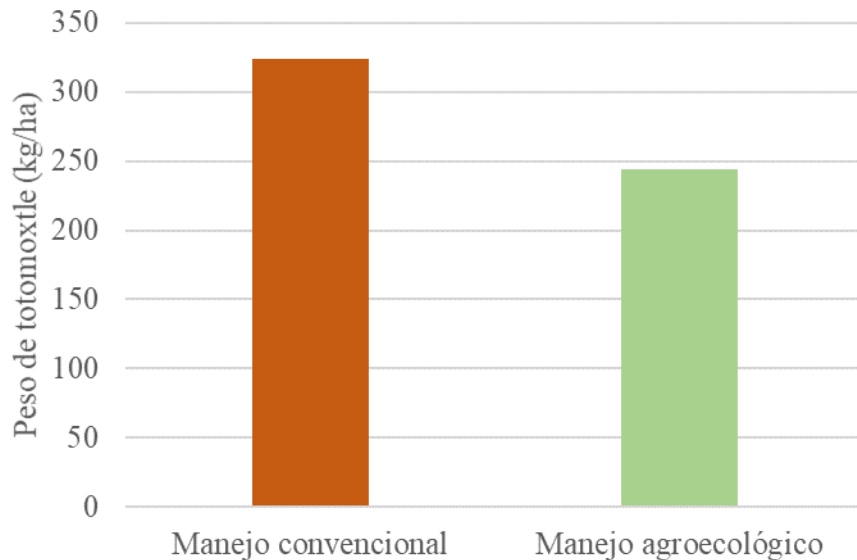


Figura 7. Obtención de totomoxtle de maíz en dos sistemas de manejo en el Ciclo O-I 2022/23.



A pesar de que el maíz es un cultivo anual importante en el estado de Veracruz y que se cuenta con un gran potencial ecológico para su producción, los rendimientos siguen siendo bajos (1.2 t/ha), tal como se constata con estos resultados; sin embargo lo anterior obedece a numerosos factores bióticos y abióticos que influyen en el cultivo, por lo que la promoción e implementación de un sistema agroecológico que permita incrementar el rendimiento a menor costo, está más que justificada (Brewbaker, 1985).

Conclusiones

El manejo agroecológico permitió un incremento del rendimiento de grano de al menos un 25.6%. Al analizar los resultados con cada parcela de los tres productores se determinó un incremento que va desde el 8 hasta el 50%. Misma tendencia se observó en cada ciclo de producción en que se evaluó el efecto del manejo agroecológico.

El sistema de manejo convencional supera ampliamente en la producción de totomoxtle al sistema de manejo agroecológico en un 32%, equivalente a 79 kg de hoja y representa un ingreso adicional de \$1580 si se considera a \$20 por kilo de totomoxtle.

Literatura Citada

- Aguado, S. G. A. 2012. Uso de microorganismos como biofertilizantes. p. 35-78. *In*: Aguado, S. G. A. (ed.). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura. Falta editorial. Ciudad, estado y país.
- Altieri, M. 1994. Biodiversity and pest management un agroecosystems. The Haworth Press. New York. 236 p.
- Anónimo. 2007. Curso Taller de actualización tecnológica para el cultivo de maíz. Memoria Técnica Num. 19. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla, Ver., México. 80 p.



- Aragón C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J. D. Figueroa C., V. Serrano A. y F. H. Castro G. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. Libro Técnico Núm. 6. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca, Oax., México. 344 p.
- Brewbaker, J. L. 1985. The tropical environment for maize cultivation. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. p. 10-22. *In*: Brandolini, A. and F. Salamini. (eds.). FAO. Roma, Italia.
- Cumpian, G., J. 2009. Comportamiento agronómico de testigos de maíz (*Zea mays* L.) en ensayos del CCVP. p. 51-58. *In*: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Durán, P. A., J. F. Aguirre M. y O. A. Grageda C. 2015. Biológicos (Biofertilizantes). p. 133-140. *In*: Hernandez, T. T. (ed.). Buenas prácticas para el uso de fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. INIFAP. CENID-COMEF. México, D. F.
- Ebel, R., J. G. Pozas C., F. Soria M. y J. Cruz G. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoam.* 35(2):149-160.
- Edwards, C. A, R. Lai, P. Madden, R. H. Miller, R. H. and G. House. 1990. Sustainable agricultural systems. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IA, USA. 696 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023.. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/> [consultado el 07 de julio de 2023].
- FAOSTAT. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [consultado el 07 de julio de 2023].



- González, F. S., L. G. Guajardo H., S. X. Almeraya Q., L. M. Pérez H. y D. M. Sangerman J. 2020. Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. REMEXCA 11(7):1565-1578.
- Hasang-Moran, E. S., S. J. García-Bendezú, M. D. Carrillo-Zenteno, W. D. Durando-Cabanilla, y F. J. Cobos-Mora. 2021. Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la Provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. J. Selva Andina Biosph. 9(1):26-40.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz. INIFAP-CECOT. Veracruz, Mexico.
- García, E. 1988. Sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 388 p.
- Martínez-Castillo, R. 2016. Sustainable agricultural production systems. Rev. Tecnol. Marcha 29 (suppl. 1):70-85.
- Masera, O. R., E. Astier, M. y S. López-R. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. GIRA, A. C. Mundi-Prensa México, S. A. de C. V. Pátzcuaro, Mich., México. 107 p.
- Mendoza M., A. Oyervides y A. López. 2000. Nuevos cultivares de maíz con potencial agronómico para el trópico húmedo. Agron. Mesoam. 11(1):83-88.
- Morales, V. J. G. y J. A. Ayala E. 2010. Maíces criollos del sureste de Jalisco. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México, Mex. 118 p.
- Oliva, L. M. A., G. Palacios P., M. Abud A., J. A. Hernández S., V. M. Ruiz V. y F. A. Gutiérrez M. 2019. Características nutricionales del maíz cultivado con vermicomposta. Terra Latinoam. 37(4):407-413.



- Palafox, C. A., M. Sierra M., F. A. Rodríguez M. y F. J. Ugalde A. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para Productores No. 14. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Veracruz. México. 14 p.
- Pérez, P. J. R., A. Montiel F. y M. F. Herrera T. 2009. Caracterización morfológica y clasificación de maíces locales del complejo racial Nal Tel en la Península de Yucatán. p. 59-68. *In*: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Sandoval, I. E., J. Sánchez M., A. Avendaño L., L. Arellano R. y T. González U. 2003. Sector semillas de México: problemática y alternativas. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jal., México. 144 p.
- Sierra M. M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., G. Vásquez C., R. Rodríguez R. *et al.* 2009. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de genotipos de maíz normal y con alta calidad proteínica para el sureste de México. p. 41-50. *In*: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Sierra, M. M., I. Meneses, M., Palafox, C.N., Francisco, N., A. Zambada, M., M. Uribe, B. *et al.* 2012. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, México. p. 33-40. *In*: Memoria del I Simposium Internacional en Producción Agroalimentaria y XXIV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2012. Cárdenas, Tab., México.
- Zetina, L. R., B. Villar S. y A. Vásquez H. 2015. El suelo, sus propiedades, funciones y relación con el uso de los fertilizantes. p. 25-42. *In*: Hernandez, T. T. (ed.). Buenas prácticas para el uso de fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. INIFAP. CENID-COMEF. México, D. F.



COMPORTAMIENTO DE LEGUMINOSAS DE COBERTURA PARA EL CONTROL DE ARVENSES EN UNA PLANTACIÓN DE LIMÓN PERSA

Javier Francisco Enríquez Quiroz^{130*}, Valentín Alberto Esqueda Esquivel¹³¹ y Cristian Matilde Hernández¹³²

Resumen

En las plantaciones de cítricos se utilizan diversos productos químicos, principalmente fertilizantes, insecticidas, fungicidas y herbicidas, los cuales, si no se aplican adecuada y racionalmente, pueden afectar la salud de las personas que los aplican y contaminan al ambiente. El objetivo de este ensayo fue evaluar el tiempo de establecimiento de leguminosas de cobertura, como alternativa para evitar la utilización de herbicidas en plantaciones de limón Persa. El estudio se realizó de agosto a diciembre de 2022, en una huerta recién establecida de limón Persa, en la localidad de Santa Rosa, municipio de Medellín, Ver. Se evaluaron siete especies de leguminosas, en comparación a un tratamiento de glifosato (una aplicación) y un testigo (chapeo inicial). Se utilizó el diseño en bloques al azar con tres repeticiones. Los resultados de cobertura aérea indican que hubo diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos, en donde las especies de leguminosas más sobresalientes fueron: *Mucuna pruriens*, *Lablab purpureus* y *Centrosema schottii*, que tuvieron 100% de cobertura a los 77 días después de siembra (DDS), mientras que *Canavalia ensiformis* y *Centrosema molle* tuvieron 53 y 17% de cobertura, respectivamente. La producción de biomasa de las leguminosas fue diferente ($p < 0.05$), siendo canavalia con mayor peso [5,663 kg/ha de materia seca (MS)] al resto de los tratamientos. Le siguió muy de cerca *Clitoria ternatea* y mucuna con valores de 4,370 y 3,735 kg/ha de MS, a los 98 DDS. La producción de materia seca de arvenses fue diferente ($p < 0.05$) entre tratamientos: el testigo del productor y la aplicación de glifosato tuvieron una producción de 1,594 y 1,636 kg/ha de MS, respectivamente; a su vez, la mayoría de las leguminosas no permitieron la presencia de arvenses, solamente centro *C. molle* y *Calopogonium caeruleum* tuvieron valores de 946 y 470 kg/ha de MS. A los 77 DDS, *M. pruriens*, *L. purpureus* y *C. schottii*, presentaron las mejores coberturas al no permitir la acumulación de arvenses debido a su velocidad de crecimiento y capacidad de cobertura del suelo.

¹³⁰Campo Experimental La Posta. CIRGOC. INIFAP. *Autor por correspondencia: enriquez.javier@inifap.gob.mx

¹³¹Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.

¹³²Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC. INIFAP.



Por su producción de materia seca, destacaron *C. ensiformis*, *M. pruriens* y *C. ternatea*, que no permitieron la aparición de arvenses y produjeron la mayor cantidad de materia seca.

Palabras clave: cítricos, arvenses, *Centrosema schottii*, *Mucuna pruriens*, *Lablab purpureus*

Introducción

México es el segundo productor de limón en el mundo; cuenta con una extensión de más de 215 mil hectáreas establecidas en 28 estados, en los que se producen aproximadamente 2.9 millones de toneladas anuales. En 2021, los principales estados productores fueron: Veracruz y Michoacán, con 804,729 y 800,219 toneladas de fruto, respectivamente. El valor de la producción de limón fue superior a 19,694 millones de pesos. La superficie dedicada a la producción de limón en México de 2011 a 2021 creció 4.1%. Cinco estados concentran el 80% del volumen de producción en el país: Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Colima y Tamaulipas, con una producción de 2'352,380 toneladas; Michoacán tuvo una aportación del valor de la producción de 30.6%, mientras que Veracruz aportó 25%, que se produjo en una superficie de 47,895 hectáreas (SIAP, 2022).

El uso de agroquímicos utilizados en las plantaciones de cítricos es importante para obtener una productividad alta, y dentro de ellos destaca el uso de herbicidas formulados con glifosato, ingrediente activo que la mayoría de los productores utilizan para controlar las arvenses de sus huertas (Pérez-López *et al.*, 2014; Fernández-Lambert *et al.*, 2017); sin embargo, el gobierno de la república ha emitido un decreto en el cual se señala que para 2024 este herbicida sea sustituido (SEGOB, 2021) por otras opciones en los cultivos, por lo que es necesario planear con tiempo alternativas agroecológicas u otras, que ya se están realizando por productores de alimentos libres de tóxicos (Arellano-Aguilar, 2020). Una de las alternativas biológicas que pueden ser útiles en el control de arvenses, son las leguminosas de cobertura que, por su tipo de crecimiento y cobertura del suelo, permiten controlar las arvenses, aportar materia orgánica, fijar nitrógeno y proteger el suelo y así, evitar la erosión, además de otras características deseables, por lo que se considera una de las opciones más viables para mantener un ambiente agroecológico más amigable para el ecosistema y sin riesgos a la salud de las personas (Pound, 1999; Sandoval y Cortés, 2004). Es muy importante que las leguminosas de cobertura tengan un crecimiento rápido para que puedan competir ventajosamente con las arvenses y tengan cierto grado



de tolerancia al sombreado (Curti-Díaz *et al.*, 2000; Enríquez *et al.*, 2016). El objetivo de este ensayo fue determinar el efecto del establecimiento de leguminosas de cobertura como una alternativa para evitar la utilización del herbicida glifosato en plantaciones de cítricos.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en un huerto de limón Persa de tres meses de edad, en la localidad de Santa Rosa, municipio de Medellín, Veracruz, el 18 de agosto de 2022, en las coordenadas geográficas 18°55'04.23" de latitud Norte, 96°13'31" de longitud Oeste, a una altitud de 6 m. El clima de la localidad se clasifica como A_{W1}, cálido húmedo con precipitación de 1,350 mm anuales (García, 1987). El suelo es de textura franco, con pH de 6.78 (ligeramente ácido), y está libre de carbonatos y sales, con un alto contenido de fósforo disponible y muy pobre en boro. Los contenidos de MO y P son de moderadamente altos a altos con valores de 2.74% y 59 ppm, respectivamente. Los contenidos de K, son moderadamente altos con 408 ppm. Se evaluaron 10 tratamientos, que fueron: mucuna (*Mucuna pruriens*), dolichos (*Lablab purpureus*), bejuco (*Centrosema schottii*), canavalia (*Canavalia ensiformis*), centro (*Centrosema molle*), calopo (*Calopogonium caeruleum*) y clitoria (*Clitoria ternatea*) una combinación de (*C. molle* y *C. schottii*), aparte de los testigos del productor (chapeo inicial) y testigo químico (glifosato en dosis de 2.5 L/ha de producto comercial). Los callejones se prepararon con dos pasos de rastra, y posteriormente se realizó la siembra de las leguminosas, usando un espeque con una separación entre líneas de 50 cm y entre plantas de 70 cm, con excepción de mucuna y canavalia, que, por ser de semillas grandes, se sembraron a 80 cm. Se utilizó el diseño en bloques al azar con tres repeticiones. En la etapa de establecimiento, que se define como el tiempo en que la mitad de los tratamientos con leguminosas alcanzan 100% de cobertura del suelo, se evaluaron: altura de plantas, la cual se midió con una regla de madera graduada, sin estirar la planta, tomando el promedio de cinco lecturas dentro de un 1 m² y cobertura aérea de plantas, utilizando un marco de madera de 1 m², donde se realizó la estimación visual de la cobertura del terreno en porcentaje; estas variables se registraron a los 35, 49 y 77 días después de la siembra (DDS). A los 98 DDS, se realizó una segunda evaluación, considerando la producción de materia seca de leguminosa, arvenses y materia seca total y cobertura de arvenses, siguiendo la metodología descrita por Toledo y Schulze-Kraft (1982), la cual consiste en registrar en un marco de 1 m², la altura y cobertura, mientras que, para la



producción de materia seca, se cosechó el material contenido en 1 m², separando el contenido en materia verde de leguminosa y arvenses, de las cuales se tomó una submuestra de 300 g, la cual se sometió a secado en una estufa de aire forzado hasta peso constante, para determinar el porcentaje de materia seca. La información se analizó mediante un diseño en bloques al azar con PROC GLM de SAS, y para la comparación de medias en los casos pertinentes se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad (SAS Institute, 2003).

Resultados y Discusión

Altura de plantas de leguminosas

La altura alcanzada por las leguminosas y arvenses a diferentes edades, se presenta en el Cuadro 1, en donde se observa que en todos los muestreos hubo diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), lo que obedece a las diferencias morfológicas y capacidad de crecimiento entre especies de leguminosas y diferentes tipos o especies de arvenses presentes en el sitio experimental. En general se puede observar que, a mayor tiempo de crecimiento, las leguminosas alcanzaron mayor altura, hasta un límite impuesto por el hábito de crecimiento; las especies en evaluación alcanzaron su mayor altura a los 77 DDS. Las arvenses ocasionaron mayor competencia en los primeros 35 DDS, ya que iniciaron su crecimiento a la par que las leguminosas; sin embargo, a los 49 y 77 DDS, éstas fueron dominadas por las leguminosas, mostrando menor altura a los 77 DDS.

Cuadro 1. Altura de plantas de leguminosas y arvenses (cm) en diferentes tratamientos y días después de la siembra (DDS), durante la fase de establecimiento en la Localidad de Santa Rosa, municipio de Medellín, Veracruz.

Tratamientos	35 DDS		49 DDS		77 DDS	
	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses
Glifosato	0 e	25 ab	0 e	12 a	2 f	27 a
<i>Centrosema schottii</i>	12 de	16 b	18 cde	10 a	34 cd	0 c
<i>Mucuna pruriens</i>	18 cd	6 b	47 ab	5 a	78 a	0 c
<i>Lablab purpureus</i>	33 ab	16 b	35 abcd	10 a	50 bc	0 c
<i>Centrosema molle</i>	9 de	10 b	10 e	4 a	9 ef	6 c



Tratamientos	35 DDS		49 DDS		77 DDS	
	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses
<i>Clitoria ternatea</i>	24 bc	10 b	45 abc	2 a	53 bc	2 c
<i>Canavalia ensiformis</i>	35 a	11 b	53 a	8 a	57 b	9 bc
<i>Calopogoniu caeruleum</i>	9 de	8 b	14 de	23 a	21 de	21 ab
<i>C. molle + C. schottii</i>	14 cd	6 b	21 bcde	7 a	36 cd	19 ab
Testigo del productor	0 e	46 a	0 e	15 a	4 ef	10 bc
Medias	15.5	15.43	24.4	9.5	34.4	9.4
CV %	23.9	57.7	38.6	79.5	18.2	62.8

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).

Cobertura aérea de plantas de leguminosas

La cobertura aérea de las arvenses (tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas) se muestra en el Cuadro 2, en éste se observa que hubo diferencia entre tratamientos en casi todas las variables evaluadas, con excepción de la cobertura de arvenses a los 35 DDS, en donde prácticamente todos los tratamientos mostraron igualdad entre ellos, lo cual era de esperarse, ya que todas las especies partieron del mismo manejo inicial para la siembra; sin embargo, posteriormente se observó una gran diferencia, destacando la cobertura del suelo obtenida por las leguminosas: *C. schottii*, *C. ternatea*, *M. pruriens* y *L. purpureus*, que alcanzaron valores prácticamente del 100% a los 77 DDS. Los tratamientos testigo y glifosato mostraron coberturas con arvenses de 72 y 33%, respectivamente, lo que obviamente fue incrementándose conforme pasó el tiempo de evaluación. Con respecto a la velocidad de establecimiento, Enríquez *et al.* (2022), indicaron que, en plantaciones de limón persa ya establecidas, las leguminosas de cobertura más sobresalientes fueron: *M. pruriens* y *L. purpureus* y que una combinación de estas dos especies proporcionaron 100% de cobertura a los 78 DDS, resultados similares a los del presente estudio. También Mulinge *et al.* (2018), indican que *M. pruriens* y *L. purpureus* son recomendadas para su uso en huertos de naranjos en Kenia.



Cuadro 2. Cobertura aérea (%) de leguminosas y arvenses en diferentes tratamientos y días después de la siembra (DDS), durante la fase de establecimiento en la localidad de Santa Rosa, municipio de Medellín, Veracruz.

Cultivar/mezcla	35 DDS		49 DDS		77 DDS	
	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses	Leguminosa	Arvenses
Testigo químico	0 c	8 a	0 d	25 ab	7 e	33 b
<i>Centrosema schottii</i>	7 bc	8 a	38 bc	13 ab	100 a	0 c
<i>Mucuna pruriens</i>	32 a	2 a	98 a	2 b	100 a	0 c
<i>Lablab purpureus</i>	15 b	2 a	70 ab	18 ab	100 a	0 c
<i>Centrosema molle</i>	1 c	1 a	5 cd	3 b	17 de	18 bc
<i>Clitoria ternatea</i>	12 b	10 a	33 cd	43 a	98 ab	2 c
<i>Canavalia ensiformis</i>	9 bc	1 a	35 bcd	17 ab	53 cd	5 c
<i>Calopogonium caeruleum</i>	5 bc	3 a	33 cd	27 ab	55 bcd	20 bc
<i>C. molle</i> + <i>C. schottii</i>	5 bc	26 a	37 bc	18 ab	85 abc	13 bc
Testigo del productor	0 c	22 a	0 d	33 a	3 e	72 a
Medias	8.54	8.2	34.9	19.96	61.8	16.3
CV %	41.14	112	35.6	51.4	24.8	57.2

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).

Altura de plantas

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de las variables medidas a los 98 DDS (21 días después de haber registrado que cuatro tratamientos alcanzaron coberturas del suelo del 100% y considerar que las parcelas estaban establecidas); en el cuadro se observa que todas las variables presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos; con respecto a la altura al momento de la cosecha, las mayores alturas se registraron con *M. pruriens* y *C. ensiformis*, con valores de 74 y 71 cm, respectivamente, y la menor, con 23 cm, se obtuvo con *C. caeruleum*, que es una leguminosa nativa rastrera, que no alcanza mayor altura a menos de que tenga algún sostén o tutor para trepar sobre él.

Cobertura aérea

A los 98 DDS, la mayoría de las leguminosas evaluadas alcanzaron coberturas del 100% (Cuadro 3), con excepción de *C. molle*, la cual fue diferente ($p < 0.05$) al resto de los tratamientos, lo cual se



consideró como una falla en el establecimiento por problemas en la germinación, y *C. caeruleum*, las cuales han tenido dificultades en su desempeño mostrando lentitud en cubrir el suelo totalmente, aunque éstas son de hábito de crecimiento voluble o rastrero; dicho retraso en la cobertura puede deberse a que hubo problemas por fallas en la germinación de la semilla (particularmente en *C. molle*); sin embargo, se espera que, con el tiempo estas leguminosas cubran totalmente el suelo, ya que son dos especies nativas y están adaptadas a la región donde se realizó el estudio.

Cuadro 3. Altura, cobertura y producción de materia seca de leguminosas de cobertura y arvenses en una plantación de limón persa en la localidad de Santa Rosa, municipio de Medellín, Veracruz a los 98 DDA.

Especie/mezcla	Altura	Cobertura	Materia seca (kg/ha)		
	(cm)	(%)	Leguminosa	Arvenses	Total
Testigo químico	25 cd	82 a	882 de	1,636 a	2,518 bcd
<i>Centrosema schottii</i>	50 abc	98 a	3,308 bc	0 b	3,305 bcd
<i>Mucuna pruriens</i>	71 a	99 a	3,735 abc	0 b	3,735 abc
<i>Lablab purpureus</i>	50 abc	99 a	2,596 bcd	0 b	2,596 bcd
<i>Centrosema molle</i>	34 bcd	30 b	394 e	946 ab	1,241 d
<i>Clitoria ternatea</i>	49 abcd	100 a	4,370 ab	0 b	4,370 ab
<i>Canavalia ensiformis</i>	74 a	100 a	5,663 a	0 b	5,663 a
<i>Calopogonium caeruleum</i>	23 d	70 a	2,152 cde	470 b	2,622 bcd
<i>C. molle</i> + <i>C. schottii</i>	53 ab	98 a	3,085 bcd	0 b	3,085 bcd
Testigo del productor	30 dc	72 a	183 e	1,594 a	1,777 cd
Media	45.93	84.80	2627	464	3092
C.V.%	19.85	12.69	28.78	80.24	25.6

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).

Producción de materia seca

La producción de materia seca de los diversos tratamientos se muestra en el Cuadro 3; cabe señalar que este muestreo se realizó a los 98 DDS, con la finalidad de estimar el rendimiento de materia seca producida y el comportamiento posterior de las especies involucradas. Para estas variables hubo diferencias ($p < 0.05$) significativas entre tratamientos. La mayor producción de materia seca se obtuvo



con *C. ensiformis* con 5,663 kg/ha, la cual fue diferente al resto de los tratamientos, siguiéndole de cerca *C. ternatea* con 4,370 kg/ha de materia seca. En este sitio, las leguminosas anuales *M. pruriens* y *L. purpureus*, tuvieron rendimientos inferiores a los reportados por Enríquez *et al.* (2022), en Martínez de la Torre, Veracruz, en donde resultaron ser las más productivas, lo que puede deberse a las condiciones de precipitación mayores en esta localidad; sin embargo, ésta es la primera evaluación realizada y todavía es necesario ver la persistencia que pueden alcanzar estos tratamientos en esta localidad, ya que con el tiempo hay cambios en el desarrollo de estas especies, producto de la producción de semilla que propicia su auto resiembra y la capacidad competitiva con las arvenses que es uno de los objetivos primordiales con este tipo de manejo, ya que se busca eliminar o disminuir el uso de productos químicos para controlar las arvenses. La producción de materia seca de arvenses fue superior en los tratamientos testigo sin aplicación y glifosato, en donde prácticamente fueron superiores al resto de los tratamientos, ya que el suelo estuvo ocupado con la biomasa de las leguminosas. Cabe indicar que, la materia seca de leguminosas además de proteger el suelo de la erosión y conservar la humedad, tiene aportaciones importantes de nitrógeno, al respecto Pound (1999), señala que *Mucuna* spp. y *C. ensiformis* manejadas bajo labranza cero (residuos no incorporados) aportan alrededor de 60 kg de N/ha, mientras que el valor se incrementa hasta 158 kg N/ha para *C. ensiformis* y 127 para *Mucuna* spp., cuando los residuos son totalmente incorporados, con lo cual se puede ahorrar la aplicación de fertilizante nitrogenado. Estos resultados demuestran que las leguminosas *M. pruriens*, *L. purpureus*, *C. ternatea* y *C. schottii* representan una alternativa viable para el control de maleza en la zona centro del estado de Veracruz, ya que además del control de arvenses, aportan materia orgánica, nutrientes y reducen la erosión de los suelos.

Conclusiones

Por su capacidad de establecimiento, mostrado en la velocidad de cobertura del suelo, así como su producción de materia seca destacaron: *C. ensiformis*, *M. pruriens*, *L. purpureus*, *C. ternatea* y *C. schottii*, las cuales pueden ser alternativas de control de arvenses para sustituir al glifosato en plantaciones de limón persa.



Literatura Citada

- Arellano-Aguilar, O. 2020. La historia se repite: del DDT al glifosato. El herbicida de la discordia. La Jornada del Campo. Número 156. Suplemento informativo de La Jornada. p. 5.
- Curti-Díaz, S. A., X. Loredo-Salazar, U. Díaz-Zorrilla., J. A. Sandoval-Rincón. y J. Hernández H. 2000. Tecnología para producir limón persa. Libro Técnico Núm. 8. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco. Martínez de la Torre, Ver., México. 144 p.
- Enríquez, Q. J. F., V. A. Esqueda E., F. E. Cab J. y J. F. Villanueva A. 2016. Banco de germoplasma de especies forrajeras tropicales del INIFAP en Veracruz. Libro Técnico Núm. 38. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental La Posta. Medellín de Bravo, Veracruz, México. 106 p.
- Enríquez, Q. J. F, C. Matilde H., V. A. Esqueda E. y U. A. Díaz Z. 2022. Establecimiento y producción de biomasa de leguminosas de cobertura en plantaciones de limón persa. p. 380-387. *In:* Zetina L. R., O. H. Tosquy V., M. V. Vázquez H., A. L. Del Ángel P. V. A. Esqueda E. y C. Perdomo M. (comps.). Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz. Año 1, No. 1.
- Fernández-Lambert, G., A. Aguilar-Lasserre, C. Azzaro-Pantel, M. A. Miranda A., R. Purroy V. y M. R. Pérez-Salazar. 2017. Behavior patterns related to the agricultural practices in the production of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) in the seasonal grove. *Comput. Electron. Agric.* 116:162-172.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ªed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.
- Mulinge, J. M., H. M. Saha, L. G. Mounde and L. A. Wasilwa. 2018. Effects of legume cover crops on orange (*Citrus sinensis*) fruit weight and brix. *Int. J. Plant Soil Sci.* 21(4):1-9.



Pérez-López, M., F. González-Torralva, H. Cruz-Hipólito, F. Santos, J. A. Domínguez-Valenzuela y R. De Prado. 2014. Characterization of glyphosate-resistant tropical sprangletop (*Leptochloa virgata*) and its alternative chemical control in Persian lime orchards in Mexico. *Weed Sci.* 62:441-450.

Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura la agricultura sostenible en América Latina. p. 97-120. *In: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1988.* Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.

Sandoval, R. J. A. y M. F. Cortés M. 2004. Leguminosas de cobertura asociadas a naranjo 'Valencia' en huertas establecidas en ladera. p. 95-104. *In: Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 1.* INIFAP, CP, ITA No. 18, ITMAR, No.1, UACH, UV. Veracruz, Ver., México.

SAS Institute. 2003. SAS Language: Release 8.2 for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

SEGOB (Secretaría de Gobernación). 2020. Diario Oficial de la Federación. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609365&fecha=31/12/2020 [consultado el 15 de mayo de 2021].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Panorama agroalimentario 2022. Agricultura. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. 215 p.

Toledo, J. M. y R. Schulze-Kraft. 1982. Metodología para la evaluación de pastos tropicales. p. 91-110. *In: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales.* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.



ACTIVIDAD ANTAGÓNICA DE CEPAS NATIVAS DE *Trichoderma* spp. CONTRA *Botrytis cinerea* Pers.

Lucia Torres Rueda^{133*}, Guadalupe Mora Baez¹³³, Berenice Lozada Gómez¹³³, Amalia Posadas Herrera¹³³
y Laura Lara Gómez¹³³

Resumen

En la búsqueda de alternativas para el control biológico de enfermedades, el género *Trichoderma* spp., destaca por sus diferentes modos de acción. La mayor parte de los productos en el mercado mexicano con base en *Trichoderma* comercializan cepas de otros países, no obstante, usar cepas nativas es una alternativa que puede generar beneficios ecológicos y económicos. La fresa es uno de los principales cultivos de importancia económica en México y se ve afectada por *Botrytis cinerea* Pers, el agente causal del moho gris. Su control se da principalmente por la aplicación de productos sintéticos que, con el paso de tiempo generan resistencias en los fitopatógenos. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la actividad antagónica *in vitro* de tres cepas nativas de *Trichoderma* spp. contra *B. cinerea*. Se espera que por lo menos una de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. tenga potencial como biocontrolador de esta enfermedad tan importante en la producción de fresa. Para ello se llevaron a cabo confrontaciones *in vitro*, mediante un diseño experimental completamente al azar, evaluando las cepas de las localidades de: Oyameles, Tlatlauquitepec (cabecera municipal) y Tepeyahualco, todas en el estado de Puebla. Las cepas se evaluaron utilizando cajas Petri de 90 x 15 mm en medio de cultivo agar papa dextrosa (PDA). Se evaluó el porcentaje de inhibición de crecimiento micelial y la escala Bell que presentaron los aislamientos de *Trichoderma* spp. durante la confrontación. Las cepas de Oyameles y Tepeyahualco obtuvieron porcentajes de inhibición del crecimiento micelial estadísticamente similares de 67.78% y 69.93%, respectivamente. A su vez, la cepa Tlatlauquitepec obtuvo un porcentaje de inhibición del 59.63%, estadísticamente menor a las otras dos. Todas las cepas presentaron una escala de Bell de dos, pero sólo Oyameles y Tepeyahualco lograron esporular sobre el fitopatógeno, teniendo así un método de acción por competencia de espacio. Sin embargo, es necesario hacer más pruebas para poder sugerir su aplicación foliar en el control del moho gris de la fresa.

¹³³ Instituto Tecnológico Superior de Tlatlauquitepec. *Autor por correspondencia: lucy.torres0988@gmail.com



Palabras clave: moho gris de la fresa, antagonistas, porcentaje de inhibición del crecimiento micelia

Introducción

México ocupa el tercer lugar en la producción mundial de fresa, sólo por debajo de China y Estados Unidos. Su producción es importante, ya que aporta el 1.14% del producto interno bruto agrícola nacional (Terrones *et al.*, 2022; SAGARPA, 2017). El mercado al cual va dirigida la producción es la exportación a Estados Unidos. Este cultivo es considerado una de las principales fuentes de empleo en las zonas donde se cultiva, destacando los estados de Michoacán, Baja California y Guanajuato. El estado de Puebla ocupa el noveno lugar en la producción de esta importante frutilla (Arroyo y Hernández, 2019; SIAP, 2020).

El moho gris de la fresa es ocasionado por el fitopatógeno *Botrytis cinerea* Pers., siendo una de las principales enfermedades en el cultivo debido a que disminuye la calidad y valor comercial de los frutos. Sin embargo, su daño también es considerable en tallos y hojas, lo cual reduce la productividad del cultivo (Merchán *et al.*, 2014; Kirschbaum, 2022).

El control químico suele ser el más utilizado para su manejo fitosanitario; sin embargo, el uso incorrecto de los plaguicidas, debido a la sobredosificación provoca presencia de residuos de pesticidas en los frutos, amenazando la salud humana y los ecosistemas (Cano *et al.*, 2022). Álvarez *et al.* (2017) mencionan que la resistencia de *B. cinerea* en áreas productoras de fresas en el estado de Michoacán se presenta ante los ingredientes activos metil-tiofanato e iprodiona. Debido al mal manejo fitosanitario en el cultivo, resulta necesario plantear alternativas de control con un enfoque sustentable.

El uso de *Trichoderma* como microorganismo antagonista contra enfermedades en diversos cultivos, ha permitido conocer sus mecanismos de acción, dentro de los cuales destacan: la producción de antibióticos, competencia por nutrientes y espacio, micoparasitismo e inducción de respuesta de defensa en plantas (Fernández, 2001). Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue determinar la actividad antagónica de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a *Botrytis cinerea*.

Materiales y Métodos

Cepas de *Trichoderma* spp.

Para el presente experimento se utilizaron tres cepas nativas de *Trichoderma* spp., dos correspondientes al municipio de Tlatlauquitepec, Puebla, y una aislada en el municipio de Tepeyahualco, Puebla. Las cepas se obtuvieron mediante la colocación de trampas de arroz en los sitios indicados en el Cuadro 1. Las trampas se elaboraron utilizando frascos de vidrio con porciones de arroz precocido y cubiertas con gasa estéril, y fueron enterradas a 30 cm; después de siete días se eligieron aquellas que presentaban las características de color de esporas de *Trichoderma* (Barboza *et al.*, 2022).

Cuadro 1. Cepas de *Trichoderma* spp. utilizadas en el experimento.

Cepa	Sitio de recolecta	Coordenadas geográficas
Cepa Oyameles	Suelo destinado al cultivo de papa	19.698444 LN-97.537639LO
Cepa Tlatlauquitepec	Suelo asociado a bosque de pino-encino	19.8484532 LN-97.4986387 LO
Cepa Tepeyahualco1	Suelo destinado a la siembra de maíz	18.8350000 LN-97.7966670LO

Se realizó el aislamiento en medio de cultivo agar-papa-dextrosa (PDA) a temperatura ambiente, inoculando fragmentos de arroz invadidos por micelio y esporas de *Trichoderma* spp. de cada sitio. Una vez que se obtuvo la esporulación característica del hongo (esporas verdes a amarillentas) (Figura 1) se realizó un segundo aislamiento, utilizando únicamente las esporas para asegurar un aislamiento puro.



Figura 1. Cepas de *Trichoderma* spp. nativas. A. Cepa Oyameles, B. Cepa Tlatlauquitepec, C. Cepa Tepeyahualco.



Aislamiento de *Botrytis cinerea* Pers.

El aislamiento de *B. cinerea* se obtuvo de frutos y hojas de fresa con síntomas, en un cultivar de traspatio de la localidad El Mirador, Tlatlauquitepec, ubicado en las coordenadas 19°49'27.7" LN y 97°31'6.9" LO. Fragmentos de tejidos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio al 2% y posteriormente se enjuagaron con agua destilada estéril. Se incubaron a temperatura ambiente utilizando como medio de cultivo PDA. Después de cinco días se realizó un segundo aislamiento con la finalidad de purificar la cepa. Una vez que se observó el desarrollo de esclerocios (Figura 2) se realizó un tercer aislamiento monospórico para asegurar la pureza del cultivo (Larios *et al.*, 2020).



Figura 2. Aislamiento de *Botrytis cinerea* con presencia de micelio blanquecino a gris e inicio de formación de esclerocios.

Evaluación antagónica *in vitro*

La evaluación de la capacidad antagónica *in vitro* se realizó mediante la técnica de cultivos duales, colocando en un extremo de la caja Petri un disco de 5 mm de diámetro de medio de cultivo invadido con micelio activo de las cepas del antagonista y en extremo opuesto un disco de las mismas características, pero invadido con el micelio del fitopatógeno *B. cinerea* (Calvo *et al.*, 2012; Pincay *et al.*, 2021).

El diseño experimental fue completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento como se muestra en el Cuadro 2, siendo la unidad experimental una caja Petri. Para el experimento se utilizaron cajas Petri de plástico estériles de 90 x 15 mm, y medio de cultivo PDA. Con la finalidad de obtener los



datos para el cálculo del porcentaje de inhibición de crecimiento micelial se inocularon cinco cajas únicamente con el fitopatógeno para obtener los valores de crecimiento micelial y poder aplicar las fórmulas correspondientes.

Cuadro 2. Tratamientos para la evaluación de la capacidad antagonica *in vitro* de tres cepas de *Trichoderma* spp.

Tratamiento	Descripción
T1	Cepa Oyameles
T2	Cepa Tlatlauquitepec
T3	Cepa Tepeyahualco

El crecimiento radial del fitopatógeno en mm se midió cada 24 h, finalizando hasta que el testigo cubrió la caja Petri con micelio. Se calculó el porcentaje de inhibición de acuerdo a la siguiente fórmula (Sánchez *et al.*, 2017):

$$\%I = ((D1-D2) / D1) * 100$$

Donde %I = porcentaje de inhibición del crecimiento micelial; D1 = diámetro del crecimiento micelial del testigo (mm), D2 = diámetro del crecimiento micelial del influenciado (mm).

La clase de antagonismo se determinó utilizando la escala propuesta por Bell *et al.* (1982), que se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Clasificación de antagonismo (Bell *et al.*, 1982).

Clase	Descripción
1	<i>Trichoderma</i> coloniza el 100% de la superficie del medio y crece sobre el fitopatógeno
2	<i>Trichoderma</i> coloniza dos terceras partes de la superficie del cultivo y limita el crecimiento del fitopatógeno
3	<i>Trichoderma</i> y el fitopatógeno colonizan cada uno la mitad de la superficie, ningún hongo domina
4	El fitopatógeno coloniza dos terceras partes de la superficie del medio y limita el crecimiento de <i>Trichoderma</i>
5	El fitopatógeno coloniza el 100% de la superficie del medio de cultivo y crece sobre <i>Trichoderma</i>



Se realizaron análisis de varianzas y pruebas de medias de Tukey utilizando el paquete estadístico SAS ver. 9.0.

Resultados y Discusión

De acuerdo a la evaluación en las confrontaciones *in vitro* del fitopatógeno *B. cinerea* contra las cepas de *Trichoderma* spp. nativas de cada sitio se obtuvieron diferencias estadísticas. La cepa de Oyameles y la cepa de Tepeyahualco mostraron resultados estadísticamente similares con porcentaje de inhibición de crecimiento micelial de 67.78 y 69.93%, respectivamente. Por otra parte, la cepa de Tlatlauquitepec obtuvo un porcentaje de inhibición de 59.63% (Figura 3).

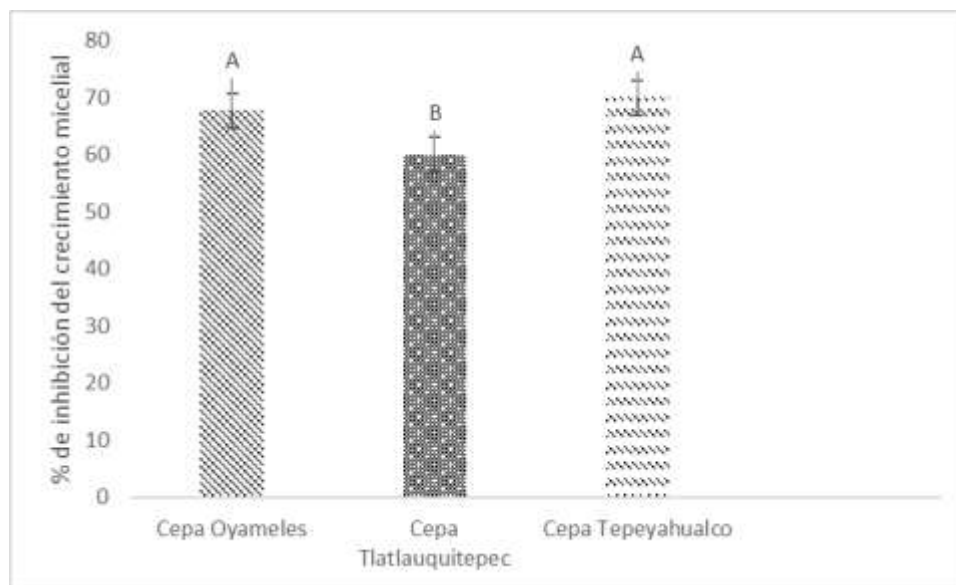


Figura 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de las cepas nativas de *Trichoderma* spp. por sitio contra *Botrytis cinerea*. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey $P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos son similares a los que reportan Geng *et al.*, (2022), quienes realizaron confrontaciones *in vitro* de cepas de *T. harzianum* contra *B. cinerea* obtenido de cultivo de tomate; ellos reportaron inhibición del crecimiento micelial de 62.05%. Sin embargo, existen especies de *Trichoderma* como *T. asperellum* que presentan de 76.93 a 95.1% de inhibición, de acuerdo a lo reportado por Kuzmanovska *et al.* (2018) quienes evaluaron esta especie contra *B. cinerea* también en



tomate. Por lo anterior es indispensable realizar una identificación molecular para asegurar las especies de cada cepa.

También es importante señalar que después de nueve días, los aislamientos de *B. cinerea* que sirvieron como testigos para el cálculo del porcentaje de inhibición de crecimiento micelial comenzaron a desarrollar la formación de esclerocios, mientras que los aislamientos que estuvieron en las confrontaciones no desarrollaron esclerocios, lo cual también es un elemento a considerar, ya que los esclerocios son estructuras de resistencia con las cuales la enfermedad se puede mantener durante largos periodos de tiempo o bien pueden ser transportados a otros sitios de cultivo por el viento y otros agentes (Ordoñez *et al.*, 2018).

El comportamiento de las cepas con respecto a la escala de Bell *et al.* (1982) las cepas de Oyameles y Tepeyahualco son del tipo 2 al cubrir el 75% de la caja Petri, detener al patógeno y lograr esporular sobre él (Figura 4A y C). La cepa de Tlatlauquitepec también se considera tipo 2, pero existe un espacio sin crecimiento de micelio, y aunque no existe contacto entre el fitopatógeno y el antagonista, si logra limitar el crecimiento de *B. cinerea*, aunque en menor porcentaje (Figura 4B). En relación a lo anterior, Duarte *et al.* (2017) mencionan que el efecto inhibitorio de *Trichoderma* antes del contacto hifal se explica con la secreción de metabolitos volátiles y no volátiles que poseen efecto fungistático y éstos pueden limitar la colonización del sustrato por el fitopatógeno. También menciona que los aislamientos de *Trichoderma* que tienen entre 60 y 75% de inhibición de crecimiento micelial son tipo 2 en la escala de Bell y este comportamiento se asocia a la competencia por espacio.

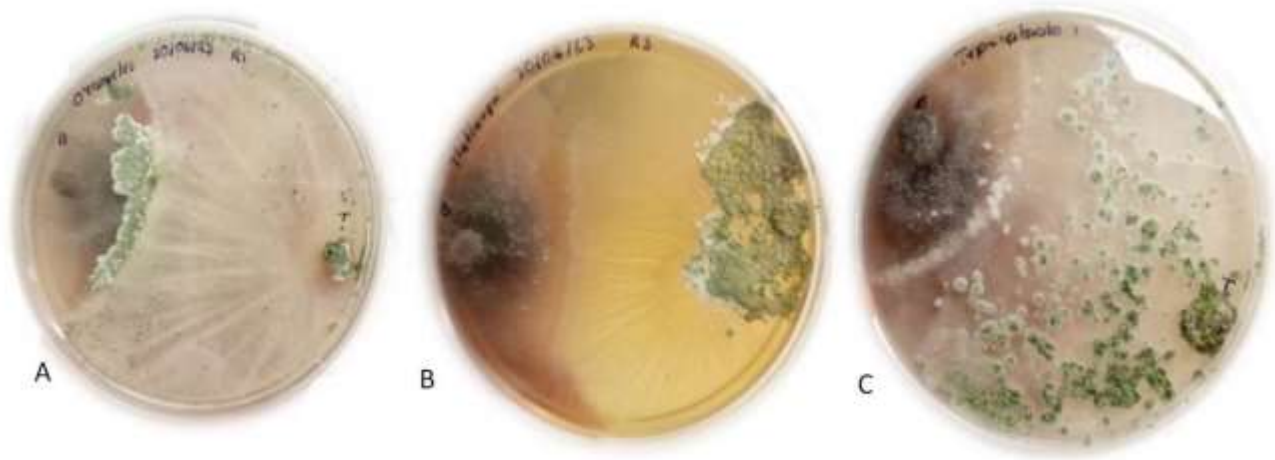


Figura 4. Confrontaciones *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* spp. contra *Botrytis cinerea*. A. Cepa Oyameles, B. Cepa Tlatlauquitepec, C. Cepa Tepeyahualco.



García *et al.* (2017) mencionan que la importancia de hacer uso de cepas nativas de *Trichoderma* es que al tratarse de microorganismos nativos pueden tener mayor posibilidad de adaptación y éxito, si se comparan con otras cepas disponibles de manera comercial. Por esta razón, su uso puede ser una alternativa agroecológica no sólo contra *B. cinerea*, sino también contra otros fitopatógenos de cultivos en la zona de estudio.

Conclusiones

Las cepas de *Trichoderma* spp. de Oyameles y Tepeyahualco presentaron porcentajes de inhibición del crecimiento miceliar superiores a la cepa de Tlatlauquitepec. Todas las cepas se presentaron en categoría dos en la escala de Bell. Las cepas de Oyameles y Tepeyahualco mostraron mayor competencia por espacio, ya que lograron esporular sobre el fitopatógeno. Es necesario realizar más pruebas para determinar la identidad de las especies de las cepas evaluadas y también pruebas de campo que permitan determinar la factibilidad del uso de estas cepas para el biocontrol de fitopatógenos.

Agradecimientos

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP), por brindar el financiamiento para el presente trabajo de investigación.

Literatura Citada

Álvarez, M. A., H. V. Silva R., M. Leyva, G. Santos, N. Marbán M. y A. Rebollar A. 2017. Resistencia de *Botrytis cinerea* de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) a fungicidas en Michoacán México. *Agrociencia* 51(7):783-798.



- Arroyo, C. A. J. y A. A. Hernández F. 2019. Competitividad de la fresa mexicana en el mercado estadounidense de 1992 a 2017. *Cienc. Tecnol. Agropec.* 22(1):1-15.
- Barboza, G. A., A. Pérez C. y L. Anaya A. 2022. Especies nativas de *Trichoderma* aisladas de plantaciones de aguacate con actividad inhibitoria contra *Phytophthora cinnamomi*. *Biotecnol. Sect. Agropec. Agroindust.* 20(2):101-116.
- Bell, D.K., D. Well, H. and R. Markham, C. 1982. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathol.* 72(4):379-382.
- Calvo, A. J. A., G. Rivera C., S. Orozco C. y R. Orozco R. 2012. Aislamiento y evaluación *in vitro* de antagonistas de *Botrytis cinerea* en mora. *Agron. Mesoam.* 23(2):225-231.
- Cano, M. A., L. Cuervo J. y E. Darghan A. 2022. Influencia de consorcios microbianos en la incidencia del moho gris (*Botrytis cinerea*) en fresa (variedad Monterrey). *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 25(2):1-9.
- Duarte, L. Y., A. Lamz P. y B. Martínez C. 2017. Antagonismo *in vitro* de aislamientos de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt & Nirenberg frente a *Sclerotium rolfsii* Sacc. *Rev. Protec. Veg.* 32(3): 1-11.
- Fernández, L. V. O. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. *Manejo Integ. Plagas (Costa Rica)* 62: 96-100.
- García-Nuñez, H. G., A.R. Martínez-Campos, M.R. Hermosa-Prieto, E. Monte-Vázquez, C.J. Aguilar-Ortigoza, y C.E. González-Esquivel. 2017. Caracterización morfológica y molecular de cepas nativas de *Trichoderma* y su potencial de biocontrol sobre *Phytophthora infestans*. *Rev. Mex. Fitopatol.* 35(1):58-79.
- Geng, L., Y. Fu, X. Peng, Z. Yang, M. Zhang and Z. Song. 2022. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* against *Botrytis cinerea* in tomato plants. *Biol. Cont.* 174:105019.



- Kirschbaum, D.S. 2022. Cultivo, poscosecha, procesado y comercio de berries. Editorial SPE3. Barcelona, España. 619 p.
- Kuzmanovska, B., R. Rusevski, M. Jankulovska and K. B. Oreshkovikj. 2018. Antagonistic activity of *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma harzianum* against genetically diverse *Botrytis cinerea* isolates. Chilean J. Agric Res. 78(3):391-399.
- Larios, P. O. E., E. Y. López V., A. Curiel R., F. J. Ruíz E., R. Solano V. y M. A. Serrato C. 2020. Evaluación *in vitro* de métodos contra *Botrytis cinerea*. REMEXCA. 11(3):593-606.
- Merchán G J. B., L. Ferrucho R., J. y G. Álvarez H. 2014. Efecto de dos cepas de *Trichoderma* en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad del fruto de la fresa (*Fragaria* sp.) Rev. Colomb. Cie. Hort. 8(1):44-56.
- Ordóñez-Valencia, C., R. Ferrera-Cerrato, A. Alarcón, L.V. Hernández-Cuevas, y J. Larsen. 2018. Desarrollo morfológico temprano de esclerocios por *Sclerotinia sclerotiorum* en presencia de bicarbonato de potasio. Rev. Mex. Fitopatol. 36(3):363-378.
- Pincay, A., M. Noboa, W. Viera, K. Herrera, A. León y T. Jackson. 2021. Evaluación *in vitro* del potencial antagonista de *Trichoderma* sp. y hongos endófitos de mora (*Rubus glaucus* Benth) para el control de *Botrytis cinerea*. J. Sci. Res. 6(1):109-124.
- Sánchez, G. B. M., E. Espinosa H., E. Villordo P., R. Rodríguez G. y M. A. Mora A. 2017. Identificación molecular y evaluación antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* spp. sobre hongos fitopatógenos de raíz en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Montcalm. Agrociencia 51(1):63-79.
- Terrones, R. A. I., I. Caamal C., V. G. Pat F., J. A. Ávila D., D. Martínez L., Z. H. Caamal P. 2022. Análisis de las variables económicas que determinan las exportaciones de fresa de México a Estados Unidos de América. Rev. Mex. Cien. Agri. 13(4):631-640.



SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación agrícola nacional 2017-2030 Fresa Mexicana. <https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf> [consultado el 08 de agosto de 2023].

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Atlas Agroalimentario 2020. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020 [consultado el 17 de julio de 2023].



VARIETADES DE GIRASOL ALTO OLEICO: GIR-AO-10, GIR-AO-20, GIR-AO-30, PARA GUANAJUATO

Miguel Hernández Martínez^{134*} y Víctor Montero Tavera¹³⁴

Resumen

México es parte del centro de origen del girasol (*Helianthus annuus* L.), con una superficie sembrada en 2020 de 2,779 ha y una producción de 4,950 t de grano, con rendimiento promedio de 1.79 t/ha. La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México, no se ha generado variedades alto oleicas mexicanas, por lo que las empresas transnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. Ante la problemática el INIFAP, se propuso como objetivo el desarrollo de variedades alto oleico a partir de generaciones avanzadas de híbridos comerciales alto oleico, previa revisión de que no estuvieran patentados los híbridos por la empresa distribuidora. Para la generación de variedades alto oleico se desarrollaron dentro del proceso del método de mejoramiento Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas y el método Selección Genealógica Combinada, auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares, la cual permite identificar los segregantes tipo alto oleico a los 30 días de nacidos y al llegar a floración los segregantes se autofecundan durante varias generaciones, evaluando por rendimiento, contenido y tipo de aceite las progenies promisorias en tres ambientes de temporal y riego, para seleccionar las siguientes nuevas variedades alto oleico: GIR-AO-10 de ciclo precoz, GIR-AO-20 de ciclo intermedio y GIR-AO-30 de ciclo tardío, para las condiciones de temporal principalmente, para recomendarlos para su siembra en el estado de Guanajuato o bien zonas similares en tipo de suelo y precipitación.

Palabras clave: *Helianthus annuus*, temporal, ciclo precoz, intermedio y tardío

¹³⁴ INIFAP Campo Experimental Bajío. Autor por correspondencia: inifapmiguel@gmail.com



Introducción

A nivel mundial los principales países que destacan por la superficie sembrada y cosechada de girasol son: Rusia con el 29%, Ucrania 29%, Argentina 9%, Rumania 9% y China 8% (Bye *et al.*, 2009). México es parte del centro de origen del girasol (*Helianthus annuus*) (Lentz *et. al.*, 2001). Se considera que el girasol fue llevado de América a Europa (Heiser, 1998), por colonizadores españoles, ingleses y franceses. Todas las subespecies son naturales de América (Harter, 2004), sin embargo, se le ha dado poca o nula importancia al cultivo en México (Rieseberg y Seiler, 1990). El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos, considera que solo se ha colectado el 25% de la diversidad genética del girasol silvestre. Actualmente en el país la superficie sembrada es de 2,779 ha con una producción de 4,950 t de grano, con un rendimiento promedio de 1.79 t/ha. Los principales estados productores son: Guanajuato 30%, Zacatecas 22%, Sonora 20%, Jalisco 18% y Tamaulipas 10%. Desde el 2013 se ha promovido la siembra de girasol en el estado de Guanajuato, a través de la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR, 2020) y a partir del 2015, se ofrece agricultura por contrato (AC), para la siembra de girasol alto oleico. Las empresas que ofrecen AC son las siguientes: Aceites Especiales Tron Hermanos de Morelia, AK de Jalisco; PepsiCo y Aceites el Mayo. En 2018-19 se sembró y cosecho 1,300 hectáreas de girasol Alto Oleico en AC, en Guanajuato (INEGI, 2022). La industria aceitera demanda aceite tipo alto oleico, sin embargo, en México (Hernández, 2011), no se ha generado variedades alto oleicas mexicanas, por lo que las empresas trasnacionales ofrecen semilla híbrida alto oleico, con un alto costo de la semilla híbrida. El objetivo fue: Desarrollar variedades de girasol mexicanas alto oleico, que demanda la industria aceitera y que el costo de la semilla sea más económico.

Materiales y Métodos

El proceso de mejoramiento se realizó en el Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato y el manejo agronómico en las parcelas experimentales bajo riego y temporal en todos los ciclos fue, para control de maleza de hoja ancha y angosta se aplicó el herbicida Premerlin 600C 2.0 L/ha en preemergencia, la fórmula de fertilización aplicada fue la 80-40-00 todo a la siembra, para el control de diabrotica y chapulín se aplicó Cypermetrina 1.0 L/ha.



Para la generación de variedades con alto contenido de aceite del tipo alto oleico, se derivaron a partir de generaciones avanzadas F_2 de híbridos comerciales alto oleico sobresalientes, dentro del proceso del método de mejoramiento denominado Selección Recurrente Entre Progenies Autofecundadas (SREPA) (Benítez, 2002) y el método Selección Genealógica Combinada (SGC) (Márquez, 1988), auxiliada por la Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAMM), la cual permite identificar los segregantes tipo alto oleico usando el marcador FAD-2.

Ciclo 1. Se establece la generación que proviene del híbrido comercial y a los 30 días de nacida, se identifican las plántulas de las cuales se colecta tejido foliar y en laboratorio se aplica la SAMM para identificar 40 plantas alto oleicos, las cuales al iniciar la floración se autofecundan (S_0), se toma las variables de días a flor, altura de planta, fitosanidad, diámetro de cada capítulo; al cosechar se pesa el rendimiento de grano de cada capítulo, se mide el contenido de aceite, posteriormente se aplica una presión de selección (PS) del 50%, para seleccionar los 20 S_0 más sobresalientes.

Ciclo 2. Se siembran los 20 segregantes, a los 30 días se colecta y se aplica SAMM para identificar 300 alto oleicos en el laboratorio con la muestra foliar de cada segregante, en floración se autofecundan S_1 , clasificándolos por ciclo precoz (P), intermedio (I) y tardío (T) y al cosechar se mide rendimiento y contenido de aceite, se aplica PS 60% para seleccionar las mejores 60 P, 60I y 60T, todas S_1 .

Ciclo 3. Se establece tres Ensayos Preliminares de Rendimiento (EPR) de las 60 P, 60 I y 60 T; a los 30 días se aplica SAMM para confirmar el carácter alto oleico, en floración se autofecundan S_2 y se cosechan, se mide rendimiento y contenido de aceite y se aplica PS 60%, para seleccionar las mejores S_2 18P, 18I y 18T.

Ciclo 4. Se establecen tres lotes aislados para recombinar los segregantes P, I y T, además de avanzar en forma separada el proceso de autofecundación S_3 los 18 (P + I +T) y al cosechar por separado los lotes aislados, se forman tres poblaciones sintéticas acorde al ciclo de los recombinantes. A todos los segregantes se aplica SAMM para verificar que posean el carácter alto oleico.

Ciclo 5. Se establece tres Ensayos Uniformes de Rendimiento (EUR), en tres ambientes (Celaya riego y temporal, en Apaseo el Alto y Acámbaro en temporal) de los segregantes S_3 (18 de ciclo precoz, 18 de ciclo intermedio y 18 de ciclo tardío) y las tres poblaciones sintéticas, se aplica una PS del 40% para seleccionar las mejores 7P, 7I y 7T, las cuales en forma separada se autofecundan para obtener la S_4 .

Ciclo 6. Se establece tres Ensayos Uniformes de Rendimiento y Caracterización (EURC) en tres ambientes (Celaya riego y temporal, Apaseo El Alto y Acámbaro en temporal) de los genotipos sobresalientes S_4 7P, 7I y 7T, los cuales se avanzan a S_5 , para definir las mejores variedades.



Diseño experimental. En los ensayos uniformes del ciclo 5 y 6, fue bloques al azar con tres repeticiones, el tamaño de parcela fue de un surco de 4 metros, el ancho de surco fue de 0.80 m. Se realizó el análisis de varianza y para la separación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 5%.

En el Cuadro 1 se resume todo el proceso de actividades del mejoramiento a través de los 6 ciclos que se detalla en materiales y métodos, en donde destaca que para cada actividad se aplica la SAMM para identificar y/o verificar el carácter alto oleico usando el marcador FAD-2 en etapa temprana y en floración se autofecundan para obtener líneas homocigotas y al cosechar se va aplicando diversos porcentajes de presión de Selección (PS) para seleccionar los mejores segregantes.

En los dos últimos ciclos se evalúan ensayos uniformes de rendimiento y caracterización varietal para definir, cual o cuales son las mejores variedades dentro del grupo de las precoces, de las de ciclo intermedio y de las tardías, por rendimiento de grano, fitosanidad, porcentaje de contenido de aceite y dentro de este el porcentaje de aceite del tipo alto oleico.

Cuadro 1. Proceso de mejoramiento de las variedades GIR-AO-10, GIR-AO-20 y GIR-AO-30 en el Campo Experimental Bajío.

Ciclo	Actividad	SAMM* Autofecundación	+ Presión Selección	de Segregantes Seleccionados
1	Generación F ₂	40 S ₀	50%	20 S ₀
2	Siembra 20 S ₀	300 S ₁	60%	60(P+I+T) S ₁
3	3 EPR: P, I, T	180 S ₂	30%	18(P,+I+T) S ₂
4	3 LAR: P, I, T	54 S ₃	-	18(P+I+T)S ₃ +3PS
5	3 EUR: P,I,T (3A)	57 S ₄	40%	7(P+I+T) S ₄ +3PS
6	3 EURC (3A)	24 S ₅	-	1(P+I+T) S ₅

SAMM = Selección Asistida por Marcadores Moleculares; * = Autofecundación; P = Precoces; I = Intermedios; T = Tardíos; 3PS = Tres poblaciones sintéticas; EPRB = Ensayo Preliminar de Rendimiento; EUR = Ensayo Uniforme de Rendimiento; 3A = Tres ambientes de evaluación; EUC = Ensayo Uniforme de Rendimiento y Caracterización.

Resultados y Discusión

Identificación de segregantes alto oleico. El marcador que se usó desde el ciclo 1 al 6 y que mejor discrimina el carácter no oleico del oleico, fue FAD-2, que amplifica un fragmento de



aproximadamente 600 pares de bases y que identifica la mutación de Pervenet, ligada con la síntesis preferente de ácido oleico, el cual permitió el escrutinio y la certeza de avanzar solo segregantes oleicos.

Presión de selección (PS). La PS que se aplicó del ciclo 1 al 3, fue de forma individual, para seleccionar los mejores segregantes por rendimiento, porcentaje de contenido de aceite y fitosanidad dentro de cada grupo de precoces, intermedios y tardíos.

Ensayo Preliminar de Rendimiento (EPR). En el ciclo 3, se realizó el Ensayo Preliminar de Rendimiento con testigos comerciales acordes al ciclo, aplicando una PS del 30%, para seleccionar los 18 mejores con rendimientos comparables o bien dentro del rango de rendimiento obtenido por los testigos híbridos acorde al ciclo de los mismos. Como resultado se agrupó los mejores segregantes en: 18 precoces con rendimientos de 2.1 a 2.7 tha^{-1} ; 18 intermedios con rendimientos de 2.7 a 3.2 tha^{-1} y 18 tardíos de 2.9 a 3.5 tha^{-1} (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de segregantes precoces intermedios y tardíos, seleccionados del ensayo preliminar dentro del rango de rendimiento (kgha^{-1}) obtenido por los testigos híbridos.

Testigo	Ciclo	Días flor	Rango kgha^{-1}	Segregantes seleccionados dentro del rango de rendimiento de los testigos
P-64 HC-133	Precoz	72	2,550	18 segregantes precoces con rendimientos de 2.1 a 2.7 tha^{-1} y en el rango de floración
P-64 HC-118	Precoz	68	2,320	
Cobalto	Intermedio	78	3,090	18 segregantes intermedios con rendimientos de 2.7 a 3.2 tha^{-1} y en el rango de floración
Hornet	Intermedio	73	2,930	
Syngenta 3950	Tardío	84	3,420	18 segregantes tardíos con rendimientos de 2.9 a 3.5 tha^{-1} y en el rango de floración
Syngenta 3965	Tardío	80	3,340	

Ensayos Uniformes de Rendimiento (EUR). En los Cuadros 3 y 4 se muestran los resultados de rendimiento de los genotipos de girasol alto oleico precoces evaluados en los ciclos 5 y 6, bajo condiciones de temporal, en las localidades de Acámbaro, Apaseo el Alto y Celaya, así como las precipitaciones que se presentaron en dichas localidades, destaca un buen grupo que supera en rendimiento a los testigos comerciales regionales precoces, sin embargo, sobresale la variedad GIR-AO-10 con un promedio de rendimiento de 2,209 kgha^{-1} en el ciclo 5 y en el ciclo 6 con 2,107 kgha^{-1} (Cuadro 4), escogiendo esta variedad para su posible registro.



Cuadro 3. Rendimientos obtenidos por girasoles precoces, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 5 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
17	Gir AO-10	2317	2220	2090	2209 a
16	Gir AO-184-1	2287	2170	2105	2187 a
10	Gir AO-107-1	2310	2128	2120	2186 a
1	Gir AO-16-1	2193	2190	2158	2180 ab
12	Gir AO-132-1	2290	2055	2128	2157 ab
14	Gir AO-154-2	2238	2054	2025	2105 ab
7	Gir AO-52-1	2207	2000	2026	2077 ab
6	Gir AO-48-1	2159	2035	2000	2064 ab
15	Gir AO-181-1	2194	1920	1984	2032 abc
13	Gir AO-149-1	2167	1913	1960	2013 abcd
3	Gir AO-40-2	2185	1930	1908	2007 abcd
2	Gir AO-17-1	2169	1919	1920	2002 abcd
18	Gir AO-211-4	2173	1819	1942	1978 abcd
20	Tes. Cobalto	2174	1821	1784	1926 abcd
19	Tes. P 64H-118	2000	2010	1710	1906 abcd
4	Gir AO-42-2	1900	1820	1780	1833 bcd
5	Gir AO-47-2	1820	1670	1525	1671 cd
8	Gir AO-58-1	1820	1678	1515	1671 cd
9	Gir AO-68.2	1795	1700	1510	1668 cd
11	Gir AO-114-1	1790	1685	1500	1658 d
	Media Testigos	2087	1915	1747	1916
	Tukey 5%	380	366	354	366
	Precipitación mm	495	460	412	



Cuadro 4. Rendimientos obtenidos por girasoles precoces, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 6 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
17	Gir AO-10	2201	2152	1968	2107 a
16	Gir AO-184-1	2224	2183	1859	2082 a
10	Gir AO-107-1	2211	2160	1821	2064 ab
1	Gir AO-16-1	2256	2142	1770	2056 abc
12	Gir AO-132-1	2198	2123	1787	2036 abc
14	Gir AO-154-2	2112	2080	1883	2025 abc
7	Gir AO-52-1	2265	2130	1707	2014 abc
6	Gir AO-48-1	2189	2101	1734	2008 abc
15	Gir AO-181-1	2158	2025	1814	1999 abc
13	Gir AO-149-1	2101	2058	1601	1920 abc
3	Gir AO-40-2	2015	1999	1728	1914 abc
2	Gir AO-17-1	2084	1978	1632	1898 abc
18	Gir AO-211-4	2000	1990	1653	1881 abc
20	Tes. Cobalto	1998	1845	1719	1854 abc
19	Tes. P 64H-118	1878	1994	1672	1848 abc
4	Gir AO-42-2	1944	1820	1582	1782 abc
5	Gir AO-47-2	1912	1758	1640	1770 abc
8	Gir AO-58-1	1878	1750	1547	1725 bc
9	Gir AO-68.2	1936	1728	1496	1720 c
11	Gir AO-114-1	1787	1699	1662	1716 c
	Media Testigos	1938	1919.5	1695.5	1851
	Tukey 5%	352	340	329	340
	Precipitación mm	478	464	460	

Variedad GIR-AO-10. Es una variedad de girasol precoz, con 71 días a floración y 132 días a madurez de cosecha, con una altura promedio de planta de 1.82 m y un diámetro de capítulo de 26 cm. El rendimiento promedio de grano en dos años en tres localidades bajo condiciones de temporal es de



2,158 kg/ha, que comparado con el rendimiento del mejor testigo P 64H-118 con 1,920 kg/ha, lo supera en un 12% más y bajo condiciones de riego es de 2,825 kg (Ver Cuadro 5) lo supera en un 5% más, con un porcentaje de aceite del 42% y de este porcentaje el 89% es aceite del tipo alto oleico (Ver Cuadro 12). La variedad es tolerante a las enfermedades foliares causadas por *Verticillium dahliae*, que ocasiona marchitez y senescencia de hojas y *Alternaria helianthi* que ocasiona manchas de hoja.

Cuadro 5. Rendimiento promedio de la variedad precoz GIR-AO-10, en tres localidades en dos años, en Celaya bajo riego y temporal, en Apaseo El Alto y Acámbaro bajo temporal y sus características agronómicas y de los testigos.

Variedad	Riego kg/ha	Temporal kg /ha	D.F.	A.P. cm	D.C. cm
GIR-AO-10	2,825	2,158	71	182	26
P 64H-118 T	2,685	1,920	70	176	27
Cobalto T	2,640	1,850	72	184	25

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capitulo; T= Testigos.

En los Cuadros 6 y 7 se muestran los resultados de rendimiento de los genotipos de girasol alto oleico intermedios evaluados en dos ciclos, en las localidades de Acámbaro, Apaseo el Alto y Celaya, así como las precipitaciones que se presentaron en dichas localidades, destaca un buen grupo que supera a la media de los testigos intermedios comerciales que se recomiendan en la región, sin embargo, sobresale la variedad GIR-AO-20 con un promedio de rendimiento de 2,436 kgha⁻¹ en el ciclo 5 y en el ciclo 6 con 2,524 kgha⁻¹(Cuadro 7), seleccionando está variedad para su posible liberación.

Cuadro 6. Rendimientos obtenidos por girasoles intermedios, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 5 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kgha ⁻¹	Apaseo Alto kgha ⁻¹	Celaya kgha ⁻¹	Media kgha ⁻¹
6	Gir AO-20	2745	2345	2220	2436 a
5	Gir AO-72-1	2700	2316	2139	2385 ab
7	Gir AO-117-2	2640	2243	2100	2327 ab
13	Gir AO-156-1	2500	2221	2099	2273 abc
18	Gir AO-214-2	2508	2257	2000	2255 abc



No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
16	Gir AO-180-1	2420	2244	1990	2218 abc
1	Gir AO-22-2	2402	2109	1950	2153 abcd
4	Gir AO-66-1	2287	1977	2140	2134 abcde
9	Gir AO-138-2	2408	2000	1960	2122 abcdef
12	Gir AO-151-2	1995	2176	1995	2055 abcdef
10	Gir AO-145-1	2351	1768	1954	2024 bcdef
20	Tes. P 63H-148	2310	2115	1625	2016 bcdef
19	Tes. Hornet	2210	2057	1628	1965 cdef
14	Gir AO-157-1	2384	1755	1750	1963 cdef
3	Gir AO-34-2	2301	1920	1520	1913 cdef
11	Gir AO-150-2	2220	1745	1510	1825 def
2	Gir AO-33-3	2261	1654	1518	1811 def
15	Gir AO-179-1	2157	1810	1410	1792 def
8	Gir AO-137-1	2189	1634	1510	1777 ef
17	Gir AO-202-1	2128	1721	1405	1751 f
	Media Test.	2260	2086	1626.5	1990
	Tukey 5%	401	380	346	375
	Precipitación mm	495	460	412	

Variedad GIR-AO-20. Es una variedad de girasol alto oleico, de ciclo intermedio, con 79 días a floración y 140 días a madurez de cosecha, con una altura promedio de planta de 1.88 m y un diámetro de capítulo de 26 cm. El rendimiento promedio de grano en dos años en tres localidades bajo condiciones de temporal es de 2,400 kg/ha, que comparado al mejor testigo P 63H-148 con un rendimiento de 2,274 kg/ha lo supera con un 9% más y bajo condiciones de riego es de 3,200 kg/ha (Ver Cuadro 8) prácticamente son iguales, con un porcentaje de aceite del 41% y de este porcentaje el 90% es aceite del tipo alto oleico (Ver Cuadro 12), es tolerante a las enfermedades foliares causadas por *Verticillium dahlie* y *Alternaría helianthi*, estas enfermedades cuando llegan aparecen en la planta de girasol lo hacen cerca de la madurez fisiológica del cultivo por lo que su daño no es severo.



Cuadro 7. Rendimientos obtenidos por girasoles intermedios, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 6 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
6	Gir AO-20	2680	2520	2372	2524 a
5	Gir AO-72-1	2705	2610	2137	2484 ab
7	Gir AO-117-2	2700	2522	2179	2467 ab
13	Gir AO-156-1	2672	2501	2087	2420 abcd
18	Gir AO-214-2	2684	2480	2210	2458 abc
16	Gir AO-180-1	2510	2192	2000	2234 abcdf
1	Gir AO-22-2	2514	2120	1996	2210 abcdf
4	Gir AO-66-1	2484	2001	1935	2140 bcdf
9	Gir AO-138-2	2486	2000	1781	2089 def
12	Gir AO-151-2	2354	2015	1901	2090 cdef
10	Gir AO-145-1	2366	1990	1860	2072 def
20	Tes. P 63H-148	2750	2550	2296	2532 a
19	Tes. Hornet	2575	2350	2080	2335 abcde
14	Gir AO-157-1	2482	1900	1693	2025 ef
3	Gir AO-34-2	2466	1824	1800	2030 ef
11	Gir AO-150-2	2433	1890	1800	2041 def
2	Gir AO-33-3	2341	1919	1752	2004 ef
15	Gir AO-179-1	2344	1850	1680	1958 f
8	Gir AO-137-1	2299	1810	1780	1963 f
17	Gir AO-202-1	2124	1801	1691	1872 f
	Media Test.	2662.5	2450	2188	2433.5
	Tukey 5%	388	372	350	370
	Precipitación mm	478	464	460	



Cuadro 8. Rendimiento promedio de la variedad intermedia GIR-AO-20, en tres localidades en dos años, en Celaya bajo riego y temporal, en Apaseo El Alto y Acámbaro bajo temporal y sus características agronómicas y de los testigos.

Variedad	Riego kg/ha	Temporal kg /ha	D.F.	A.P. cm	D.C. cm
GIR-AO-20	3,210	2,480	79	188	26
P 63H-148 T	3,235	2,274	80	182	28
Hornet T	3,140	2,150	78	191	26

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capitulo; T= Testigos.

En los Cuadros 9 y 10 se muestran los resultados de rendimiento de los genotipos de girasol alto oleico precoces evaluados en dos ciclos, en las localidades de Acámbaro, Apaseo el Alto y Celaya, así como las precipitaciones que se presentaron en dichas localidades, destaca un buen grupo que supera a los testigos regionales tardíos, sin embargo, sobresale la variedad GIR-AO-30 con un promedio de rendimiento de 2,431 kg ha^{-1} en el ciclo 5 y en el ciclo 6 con 2,849 kg ha^{-1} (Cuadro 10), escogiendo está variedad para su caracterización y posible registro.

Cuadro 9. Rendimientos obtenidos por girasoles tardíos, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 5 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
1	Gir AO-30	2,874	2300	2120	2431 a
10	Gir AO-75-2	2854	2328	2010	2397 a
18	Gir AO-206-2	2855	2210	2050	2371 a
2	Gir AO-25-2	2852	2158	2048	2352 ab
17	Gir AO-204-2	2665	2121	1950	2245 abc
8	Gir AO-56-2	2705	2020	1975	2233 abc
12	Gir AO-104-1	2700	2299	2000	2233 abc
15	Gir AO-125-2	2650	2014	1910	2191 abc
3	Gir AO-30-1	2545	1998	1810	2117 abc
14	Gir AO-1122	2500	2027	1855	2125 abc
13	Gir AO-109-1	2325	2125	1685	2045 abc
19	Tes. Syn 3950	2310	2024	1540	1958 bc



No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
9	Gir AO-63-1	2276	1908	1685	1956 bc
20	Tes. Olisum-2	2330	1923	1535	1929 bc
7	Gir AO-33-1	2403	1656	1530	1863 c
4	Gir AO-34-1	2427	1615	1538	1860 c
5	Gir AO-39-1	2383	1620	1559	1854 c
11	Gir AO-80-1	2252	1744	1560	1852 c
6	Gir AO-43-2	2281	1701	1545	1842 c
16	Gir AO-140-1	2248	1725	1542	1838 c
	Media Test.	2320	1973.5	1537.5	1943.6
	Tukey 5%	482	459	418	453
	Precipitación mm	495	460	412	

Cuadro 10. Rendimientos obtenidos por girasoles tardíos, por localidad y promedio bajo temporal en el ciclo 6 en Guanajuato.

No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
1	Gir AO-30	3024	2810	2713	2849 a
10	Gir AO-75-2	2984	2722	2619	2775 ab
18	Gir AO-206-2	2902	2745	2699	2782 ab
2	Gir AO-25-2	3002	2712	2593	2769 ab
17	Gir AO-204-2	2896	2671	2644	2737 abc
8	Gir AO-56-2	2915	2698	2232	2615 abc
12	Gir AO-104-1	2832	2588	2395	2605 abc
15	Gir AO-125-2	2864	2564	2366	2598 abc
3	Gir AO-30-1	2815	2514	2435	2588 abc
14	Gir AO-1122	2783	2486	2444	2571 abc
13	Gir AO-109-1	2689	2591	2550	2610 abc
19	Tes. Syn 3950	2880	2719	2207	2602 abc



No	Variedad	Acámbaro kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Celaya kg ha^{-1}	Media kg ha^{-1}
9	Gir AO-63-1	2652	2689	2360	2567 abc
20	Tes. Olisum-2	2854	2698	2161	2571 abc
7	Gir AO-33-1	2720	2510	2000	2410 abc
4	Gir AO-34-1	2575	2480	2100	2385 abc
5	Gir AO-39-1	2521	2400	2177	2366 bc
11	Gir AO-80-1	2483	2360	2000	2281 c
6	Gir AO-43-2	2471	2215	2190	2292 c
16	Gir AO-140-1	2352	2238	2232	2274 c
	Media Test.	2867	2708.5	2184	2586.5
	Tukey 5%	494	470	462	475
	Precipitación mm	478	464	460	

Variedad GIR-AO-30. Es una variedad de tardía, con 84 días a floración y 146 días a madurez de cosecha, con una altura promedio de planta de 1.90 m y un diámetro de capítulo de 27 cm. El rendimiento promedio de grano en dos años en tres localidades bajo condiciones de temporal es de 2,640 kg/ha, que comparado con el rendimiento del mejor testigo (Syn 3950) lo supera en un 15% más y bajo condiciones de riego es de 3,492 kg (Ver Cuadro 11) prácticamente igual al testigo, con un porcentaje de aceite del 42% y de este porcentaje el 90% es aceite del tipo alto oleico (Ver Cuadro 12), es tolerante a las enfermedades foliares llamadas de “fin de ciclo” causadas por *Verticillium dahlie* y *Alternaria helianthi*.

Cuadro 11. Rendimiento promedio de la variedad tardía GIR-AO-30, en tres localidades en dos años, en Celaya bajo riego y temporal, en Apaseo El Alto y Acámbaro bajo temporal y sus características agronómicas y de los testigos.

Variedad	Riego kg/ha	Temporal kg /ha	D.F.	A.P. cm	D.C. cm
GIR-AO-30	3,492	2,640	84	190	27
Syn 3950 T	3,550	2,280	85	196	29
Olisum 2 T	3,512	2,250	84	198	30

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capitulo; T= Testigos.



En el Cuadro 12, se muestra en porcentaje de aceite de la mejor variedad precoz, intermedia y tardía. En donde se observa que de manera general el porcentaje es mayor al 40% y prácticamente en este porcentaje la mayor proporción más del 89% es aceite del tipo alto oleico. Sobresale que las variedades sintéticas: precoz (PSGOC-P), la intermedia (PSGOC-I) y la tardía (PSGOC-T), presentaron valores ligeramente más altos en porcentaje de aceite total y porcentaje de aceite tipo oleico. También se muestra los valores del mejor testigo híbrido comercial (T).

Cuadro 12. Porcentaje de aceite oleico (% O) contenido dentro del porcentaje total de aceite (% Ac) en las variedades oleicas precoces, intermedias y tardías, en comparación a las variedades sintéticas y testigos (T).

Variedades precoces			Variedades intermedias			Variedades tardías		
Variedad	% Ac	% O	Variedad	% Ac	% O	Variedad	% Ac	% O
Gir-AO-10	42.0	89.7	Gir-AO-20	41.5	90.0	Gir-AO-30	42.1	90.1
PSGOC-P	43.5	92.1	PSGOC-I	43.8	92.3	PSGOC-T	44.0	92.6
P64H-118 T	40.0	89.9	Hornet T	42.5	88.8	Syn 3950 T	42.0	91.4

Conclusiones

Con base en el método de mejoramiento, los resultados en las evaluaciones de rendimiento, el análisis del porcentaje y tipo de aceite, aunado a la comparación con los testigos comerciales empleados, se seleccionó la variedad precoz GIR-AO-10, la variedad intermedia GIR-AO-20 y la variedad tardía GIR-AO-30, para su pertinente posible liberación.

Literatura Citada

Benítez, R. I. 2002. Selección recurrente con progenies endogámicas de especies autógamas: Eficiencia de Campo. *Agrociencia*, vol. 36, núm. 1, enero-febrero, 2002, pp. 55-65; Colegio de Postgraduados; Texcoco, México.



- Bye, R., E. Linares y D. L. Lentz. 2009. México: Centro de origen de la domesticación del Girasol. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, UNAM.12(1):5-12.
- Harter, A.V. 2004. Origin of extant domesticated sunflowers in eastern North America. Nature 430, 201-205.
- Heiser, B. C. 1998. The domesticated sunflowers in old Mexico? Genetic Resources and Crop Evolution 45:447-449.
- Hernández, M., M. 2011. Cultivos Alternativos para Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. Libro Técnico No. 4.
- INEGI, 2022. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno de la República de México. 158p.
- Lentz, D.L., Pohl, M.E.D., Pope, K.O. & Wyatt, A.R. 2001. Preshistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in México. Economic Botany 55:370-376.
- Márquez, S. F, 1988. Genotecnia Vegetal II. AGT Editor, S.A. México. 665p.
- Rieseberg, L. H. & Seiler, G. 1990. Molecular evidence and the origin and development of the domesticated sunflower (*Helianthus annuus*). Econ. Bot. 44S, 79–91.
- SDAyR. 2020 Secretaria de Desarrollo Agroalimentario y Rural: Análisis de la productividad y rentabilidad de las unidades de producción agroalimentarias del estado de Guanajuato. SDAyR-Gobierno del Estado de Guanajuato. 156p.



VARIEDAD DE GIRASOL FORRAJERO: GIR-FO-40 PARA GUANAJUATO

Miguel Hernández Martínez^{135*}

Resumen

El girasol es originario del centro y norte de México, EUA y el sur de Canadá. Ante el déficit de forraje para el consumo agropecuario en el estado de Guanajuato en México y ante la falta de variedades de girasol con características forrajeras debido a que no se ha generado variedades forrajeras, no se tiene autosuficiencia en el forraje para consumo animal, lo cual se refleja en una problemática de escasez en el ciclo de invierno y en gran parte del período de primavera, con un alto costo del esquilmo del sorgo o del esquilmo del maíz. Ante esta problemática el INIFAP se propuso como objetivo generar variedades de girasol forrajeras con una alta productividad de biomasa verde, que coadyuven a minimizar el déficit de forraje de calidad en el estado. A partir de recolectar girasoles que los productores siembran en asociación con maíz y que usan como forraje desde hace cerca de 50 años de las primeras variedades rusas que se sembraron en México, en la zona media del estado de San Luis Potosí, se procedió a coleccionar materiales con características forrajeras y en el Campo Experimental Bajío se inició el proceso de derivar y seleccionar genotipos con características forrajeras, empleando el método de mejoramiento Selección Genealógica (SG) combinada mediante autofecundaciones entre y dentro de familias, avanzando de S₀ a S₄, evaluando el rendimiento de biomasa, a través de ensayos preliminares en etapas tempranas y mediante un ensayo uniforme en tres ambientes durante dos ciclos en la etapa final. Sobresaliendo la variedad GIR-FO-40. por su alta productividad de biomasa verde, fitosanidad y por su valor relativo de forraje clasificándose como de primera calidad, con un 10% de proteína, niveles adecuados de fibra, buena digestibilidad y calidad energética para el crecimiento, mantenimiento y engorde del animal.

Palabras clave: Nutrición animal, *Helianthus annuus*, biomasa verde, calidad de forraje

¹³⁵ INIFAP Campo Experimental Bajío. *Autor por correspondencia: inifapmiguel@gmail.com



Introducción

México es parte del centro de origen y de diversidad del girasol (*Helianthus annuus* L.), el cual está constituido por 49 especies (Bye, *et al.*, 2009), 12 anuales y 37 perennes, además de 19 subespecies (Rieseberg y Seiler, 1990). Todas las subespecies son nativas de América; el hábitat natural del girasol comprende desde la parte centro y el norte de México (Lentz *et. al.*, 2001), hasta el sur de Canadá (Heiser, 1998). De América fue llevado a Europa por colonizadores españoles, ingleses y franceses (Vranceanu, 1977), sin embargo, se le ha dado poca o nula importancia al cultivo en México (Hernández, 2011). El Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos, considera que solo se ha colectado el 25% de la diversidad genética del girasol silvestre (SINAREFI, 2016).

El girasol es una planta oleaginosa con una extraordinaria diversidad genética, que desempeña un papel fundamental en la alimentación humana y animal por su calidad forrajera (Tang y Knapp, 2003). Es una de las principales fuentes de biomasa verde (Hernández, 2011), para el productor, ya que lo usa directamente picándolo, en verde para el consumo animal. El girasol como forraje, puede ser aprovechado en: 1) planta verde (Lardy y Anderson, 2009) cuando ha iniciado el llenado de grano lechoso-masoso, se corta, se pica y se proporciona a las vacas lecheras en producción; 2) amogotado (Lardy *et al.* 2022) es decir se forma un montículo, se deja deshidratar y posteriormente se muele, usándose en dietas balanceadas para ganado de engorda; 3) ensilado para usarse en la época de estiaje para rumiantes que es lo más recomendado (Lardy y Anderson, 2009).

La producción de forraje en el estado de Guanajuato, es de gran importancia para cubrir las necesidades internas, ya que en el estado se tienen 707,618 cabezas de ganado bovino, 544,706 de ovino, 232,479 de caprino, 67,866 de caballar, 15,455 de mular, 31,802 de asnal, 16,554 de conejos, 965,863 de porcino y 19.4 millones de aves (INEGI, 20007). Sin embargo no se tiene la autosuficiencia en el forraje, lo cual se refleja en una problemática de escasez en el ciclo de invierno y un alto costo del mismo, debido principalmente a temporales deficientes y erráticos, pero principalmente por falta de una cultura provisorio de siembra de forraje para tener calidad y cantidad en época de escases, ya que gran parte del forraje empleado en explotaciones agropecuarias, es en realidad esquilmo de cosecha de pata de sorgo, pata de trigo y de cebada y rastrojo de maíz de muy mala calidad. El déficit de forraje se estima en 1.5 millones de toneladas de forraje seco al año de acuerdo a los datos reportados por el INEGI (2007).



Para mitigar el déficit de forraje sobre todo en el norte de Guanajuato, la Secretaría de Desarrollo Agroalimentario y Rural (SDAyR, 2020), creo el programa “Mi ganado productivo 2020” en donde se adquiere pacas de esquilmos agrícolas en beneficio de los ganaderos, con la finalidad de mantener productiva la ganadería, que no se muera el ganado y evitar el sobrepastoreo (SDAyR, 2020).

En la zona media del estado de San Luis Potosí, desde la década de los setentas, en los municipios de Rayón, Río Verde, Cárdenas y Lagunillas, en el ciclo primavera-verano bajo condiciones de temporal, se siembra 10,000 hectáreas de maíz, asociado o intercalado con girasol, si el año viene con baja precipitación se pierde el maíz y se logra el girasol cuya planta se usa como forraje para el consumo animal y la semilla la usan para hacer atole y se comercializa regionalmente en aquellos municipios, La semilla de girasol que año con año siembran en la zona media de San Luis Potosí, son de porte alto (1.90 a 2,50 m) y probablemente provienen de las variedades rusas ya acriolladas, tales como Peredovick, Viinick y Sputnik, que se sembraron por aquellos años en esa zona y se siguen sembrando en algunos otros estados de México (Robles, 1980).

La problemática que enfrenta el cultivo de girasol, es que, a pesar de ser México parte del centro de su origen, no se han desarrollado variedades con características propias para forraje, solo variedades para la producción de aceite para el consumo humano. El objetivo planteado fue: desarrollar las primeras variedades de girasol forrajero mexicanas para Guanajuato, a partir de colectas de variedades acriolladas que se siembran en la zona media del estado de San Luis Potosí, bajo la hipótesis de que a través de la aplicación del método de mejoramiento selección genealógica combinada, permite la identificación y selección de genotipos con alto potencial de producción de biomasa verde y con un buen valor forrajero para el consumo animal.

Materiales y Métodos

El proceso de mejoramiento genético se realizó en el Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato y el manejo agronómico en las parcelas experimentales bajo riego y temporal en todos los ciclos fue, para control de maleza de hoja ancha y angosta se aplicó en preemergencia el herbicida Premerlin 600C en dosis de 154 mL por bomba manual disuelto en 15 L de agua, la fórmula de fertilización aplicada fue la 80-40-00 todo a la siembra, para el control de diabrotica y chapulín se



aplicó el insecticida de contacto Cypermetrina en dosis de 77 mL por bomba manual disuelto en 15 L de agua.

Colecta de germoplasma. En la zona media de San Luis Potosí, en los municipios de Rayón, Río Verde, Cárdenas y Lagunillas, se siembran el girasol de las variedades rusas Peredovick y Sputnik, asociado con maíz (Robles, 1980), desde 1975 a la fecha. En esa zona se realizaron 20 colectas (5 por municipio) en madurez fisiológica a cosecha, recolectando capítulos de girasol de la mejor planta, con el mayor número y tamaño de hojas (más de 20), que aún estuvieran verdes y de porte alto (más de 2.5 m), desgranando en forma individual e identificando la colecta.

Mejoramiento genético. A partir de las colectas se aplicó el método de mejoramiento Selección Genealógica Combinada (SGC) mediante autofecundaciones (Márquez, 1988), durante 6 ciclos (Cuadro 1).

Ciclo 1. En las 20 colectas establecidas en campo, una vez que llegaron a inicio de floración, se realizó 300 autofecundaciones S_0 (las mejores 15 plantas de cada colecta), se cosecharon las autofecundaciones y se midió rendimiento de biomasa de forma individual, se aplicó una presión de selección (PS) del 20%, para seleccionar las 60 mejores S_0 , con las características de planta ya mencionadas anteriormente.

Ciclo 2. Se estableció el Ensayo Preliminar de Rendimiento de Biomasa (EPRB) sin repetición de las 60 mejores S_0 , el tamaño de parcela fue un surco de 4 m (4 plantas por metro); en floración se autofecundo solo la mejor planta S_1 de cada selección y el resto de la parcela se cosecho para medir el rendimiento de biomasa verde; se ordenó de mayor a menor el rendimiento de biomasa de las 60 parcelas y se aplicó una PS del 50% para seleccionar las 30 S_1 mejores.

Ciclo 3. Se estableció el EPRB sin repetición de las 30 mejores S_1 , el tamaño de parcela fue un surco de 4 m (4 plantas por metro); en floración se autofecundo solo la mejor planta S_1 de cada selección y el resto de la parcela se cosecho para medir el rendimiento de biomasa verde; se ordenó de mayor a menor el rendimiento de biomasa de las 30 parcelas y se aplicó una PS del 50% para seleccionar las 15 S_2 mejores. Ciclo 4. Se estableció el EPRB (sin repetición) de las mejores 15 S_2 , el tamaño de parcela fue un surco de 4 m (4 plantas por metro); en floración se autofecundo solo la mejor planta S_3 de cada selección y el resto de la parcela se cosecho para medir el rendimiento de biomasa verde; se ordenó de mayor a menor el rendimiento de biomasa de las 30 parcelas y se aplicó una PS del 50% para seleccionar las 7 S_3 mejores.



Ciclo 5. Se estableció el Ensayo Uniforme de Rendimiento de Biomasa (EURB) con tres repeticiones, con un surco de 4 m de longitud y ancho de surco de 0.80m, bajo diseño de bloques al azar, con las mejores 7S₃ y un testigo comercial (Syn 3970), en tres ambientes Celaya bajo riego y temporal, Apaseo El Alto y Acámbaro de temporal, se realizó el análisis de varianza, para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Al iniciar la floración se autofecundo la mejor planta S₄ de cada selección solamente en la primera repetición, y el resto de las plantas se cosecharon después de 10 días del inicio de floración, se pesó la biomasa verde y solo se conservó la autofecundación para cosechar la semilla S₄ y para poder avanzar al siguiente ciclo.

Ciclo 6. Se estableció el Ensayo Uniforme de Rendimiento y Caracterización (EURC), con tres repeticiones, un surco de 4 m de longitud y ancho de surco de 0.80m. bajo diseño de bloques al azar, con las mejores 7S₄ y un testigo comercial en tres ambientes Celaya bajo riego y temporal, Apaseo el Grande y Acámbaro en temporal, se realizó el análisis de varianza y para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5%. Al iniciar la floración se autofecundo la mejor planta S₄ de cada selección solamente en la primera repetición, y el resto de las plantas se cosecharon después de 10 días del inicio de floración, para pesar la biomasa verde y solo se conservó la autofecundación para cosechar la semilla S₅, para poder avanzar al siguiente ciclo. Se promediaron los rendimientos de biomasa en los ambientes evaluados para definir la mejor variedad.

Análisis bromatológico. Del EURBC se tomó una muestra del genotipo GIR-FO-40, cortando en floración 4 plantas de un metro lineal de cada repetición, integrando las 3 repeticiones una muestra compuesta, las cuales se enviaron al CENID Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP, para la realización del análisis bromatológico del forraje de GIR-AO-40 y obtener los valores nutrimentales del forraje tales como humedad (agua), porción incombustible o sea las cenizas, la porción combustible integrada por: materia seca, proteína cruda, fibra detergente ácida, fibra detergente neutro, total de nutrientes digestibles, extracto libre de nitrógeno, energía neta para mantenimiento, energía neta para crecimiento y engorde, y energía metabolizable; posteriormente se determinó el Valor Relativo de Forraje (VRF) que se calcula como: $VRF = (DMS \times IMS)/1,29$ donde MS = materia seca; IMS = ingestión de MS; DMS = digestibilidad de la MS.



Resultados y Discusión

En el Cuadro 1, se muestra para cada ciclo (1 al 6) que actividad se realizó, cuantos segregantes se autofecundaron, cual fue la presión de selección para seleccionar los mejores y su rango de rendimiento de biomasa verde (RBV) obtenido en riego del ciclo 1 al 4; y del ciclo 5 y 6 se muestra el promedio del RBV de los 7 genotipos en riego y temporal. Se seleccionó el mejor genotipo GIR-FO-40, que fue el que presentó el mayor RBV en riego y temporal.

Cuadro 1. Resultado del rendimiento de biomasa verde (RBV), a través de los ciclos de selección.

Ciclo	Actividad	Auto-fecundación	Presión de Segregantes		Rango de RBV en t
			Selección	Seleccionados	
1	20 colectas	300 S ₀	20%	60 S ₀	44.2 a 119.4
2	EPRB 60S	60 S ₀	50%	30 S ₁	51.5 a 133.4
3	EPRB 30S	30 S ₁	50%	15 S ₂	63.2 a 140.5
4	EPRB 15S	15 S ₂	50%	7 S ₃	71.5 a 145.2
5	EURB 7S (3A)	7 S ₃	0%	7 S ₄	-
6	EURBC (3A)	7 S ₄	-	1 S ₅	-

EPRB = Ensayo Preliminar de Rendimiento de Biomasa; EURB = Ensayo Uniforme de Rendimiento de Biomasa; 3A = Tres ambientes; EUC = Ensayo Uniforme de Rendimiento y Caracterización; t = Toneladas.

Selección genealógica. Del ciclo 1 al ciclo 4 se realizó el avance de la selección de los segregantes desde S₀ a S₃, bajo condiciones de riego, aplicando una presión de selección en ciclo 1 de 20% y del ciclo 2 al 4 del 50%, para ir seleccionando aquellos segregantes, con el mayor potencial de producción de biomasa verde, que en el ciclo 4 se obtuvieron rendimientos de 71.5 a 145.2 t/ha (Ver Cuadro 1), seleccionando solo los 7S₃ mejores para los ensayos uniformes de rendimiento.

Ensayos Uniformes de Rendimiento de Biomasa (EURB y EURBC). En el Cuadro 2, se muestra los resultados del rendimiento de biomasa, obtenidos por los 7S₄ de los mejores genotipos bajo condiciones de riego en dos años (Ciclos 5 y 6), así como también el rendimiento del híbrido testigo comercial (Syn 39570). Destacan dos genotipos GIR-FO-40 y GIR-FO-95 con rendimiento promedio de los dos años, de 142,218 y 131,812 kg/ha, mostrando ser estadísticamente diferente a los demás.



En el Cuadro 3, se muestra la separación de medias de los rendimientos de biomasa verde obtenidos en el ciclo 5 de los genotipos S₄, en los ambientes de temporal de Celaya, Apaseo El Alto y en Acámbaro, destacando nuevamente al igual que en riego las variedades GIR-FO-40 y GIR-FO-95 con un promedio de rendimiento de las tres localidades de 72,836 kg/ha y 64,521 kg/ha respectivamente, mostrándose estadísticamente diferentes a los demás, incluyendo al testigo híbrido Syn 3970 con un rendimiento promedio de 32,421 kg/ha.

Cuadro 2. Medias y promedio de rendimiento de biomasa verde obtenido por las variedades de girasol forrajeras en el ciclo 5 (primer año EURB) y en el ciclo 6 (segundo año EURBC), bajo condiciones de riego en la localidad de Celaya, Guanajuato.

No	Variedad forrajera	Celaya año 1 kg ha^{-1}	Celaya año 2 kg ha^{-1}	Promedio kg ha^{-1}
5	GIR-FO-40	146,530 a	137,906 a	142,218 a
3	GIR-FO-95	128,343 a	135,281 a	131,812 a
7	GIR- FO-176-1	84,378 b	89,052 b	86,715 b
1	GIR-FO-160-3	69,224 bc	76,462 bc	72,843 bc
2	GIR-FO-165-1	69,317 bc	69,031 bc	69,174 bc
8	Syn 3970 Testigo	60,249 c	64,625 bc	62,437 bc
6	GIR-85	60,437 c	63,237 bc	61,837 bc
4	GIR-FO-221-2	59,400 c	61,320 c	60,360 c
	Media testigo	69,317	69,031	69,174
	Tukey 5%	23,852	25,980	24,916

Cuadro 3. Medias y promedio de rendimiento de biomasa verde obtenido por las variedades forrajeras evaluadas en tres ambientes en el ciclo 5.

No	Variedad forrajera	Celaya kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Acámbaro kg ha^{-1}	Promedio kg ha^{-1}
5	GIR-FO-40	70,800 a	71,332 a	76,376 a	72,836 a
3	GIR-FO-95	65,145 a	62,420 ab	65,998 ab	64,521 a
7	GIR- FO-176-1	39,980 b	42,756 bc	46,699 bc	43,145 b
1	GIR-FO-160-3	38,455 b	41,125 c	45,670 bc	41,750 b
2	GIR-FO-165-1	28,987 b	29,724 c	33,839 c	30,850 b



No	Variedad forrajera	Celaya kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Acámbaro kg ha^{-1}	Promedio kg ha^{-1}
8	Syn 3970 Testigo	31,510 b	31,640 c	34,113 c	32,421 b
6	GIR-85	28,420 b	30,444 c	30,728 c	29,864 b
4	GIR-FO-221-2	24,510 b	25,012 c	25,748 c	25,090 b
	Media testigo	31,510	31,640	34,113	32,864
	Tukey 5%	19,820	21,100	22,350	21,090
	Precipitación mm	412	460	495	

En el Cuadro 4, se muestra la separación de medias de los rendimientos de biomasa verde obtenidos en el ciclo 6 de los 7 genotipos S₅, en los ambientes de temporal de los municipios de Celaya, Apaseo El Alto y en Acámbaro, destacando nuevamente las variedades GIR-FO-40 y GIR-FO-95 con un promedio de rendimiento de las tres localidades de 66,184 kg/ha y 50,157 kg/ha, mostrándose estadísticamente diferentes a los demás, incluyendo al testigo híbrido Syn 3970, el cual obtuvo un rendimiento promedio de 33,759 kg/ha. De los resultados en los tres ambientes durante dos ciclos, se determinó que la variedad GIR-FO-40, es una excelente variedad para considerarla pertinente para su posible liberación.

Cuadro 4. Medias y promedio de rendimiento de biomasa verde obtenido por las variedades forrajeras evaluadas en tres ambientes en el ciclo 6.

No	Variedad forrajera	Celaya kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Acámbaro kg ha^{-1}	Promedio kg ha^{-1}
5	GIR-FO-40	64,620 a	65,284 a	68,648 a	66,184 a
3	GIR-FO-95	49,753 ab	49,800 b	50,918 b	50,157 b
7	GIR- FO-176-1	36,012 bcd	36,752 bc	38,461 bc	37,075 bc
1	GIR-FO-160-3	37,230 bc	37,420 bc	40,700 bc	38,450 bc
2	GIR-FO-165-1	30,845 cd	32,805 c	37,000 bc	33,850 c
8	Syn 3970 Testigo	31,981 cd	32,540 c	36,756 bc	33,759 c
6	GIR-85	25,111 cd	26,123 c	29,754 c	26,996 c
4	GIR-FO-221-2	21,980 d	22,560 c	27,328 c	23,956 c
	Media testigo	31,981	32,540	36,756	33,759



No	Variedad forrajera	Celaya kg ha^{-1}	Apaseo Alto kg ha^{-1}	Acámbaro kg ha^{-1}	Promedio kg ha^{-1}
	Tukey 5%	14,925	15,480	16,040	15,481
	Precipitación mm	460	464	478	

Variedad GIR-FO-40. Es una variedad de ciclo tardío, con 85 días a la floración y de 95 a 100 días al corte de biomasa verde, con una altura promedio de planta 2.61 m y un diámetro de capítulo de capítulo de 25 cm. El rendimiento promedio de biomasa verde, en dos años de tres localidades bajo condiciones de temporal fue de 69.510 t/ha y bajo condiciones de riego una localidad fue de 142.218 t/ha (Cuadro 5) con una calidad de forraje de primera calidad (Cuadro 6).

Cuadro 5. Rendimiento promedio de biomasa verde de la variedad forrajera GIR-FO-40, en tres localidades Celaya bajo riego y temporal, en Apaseo El Alto y Acámbaro bajo temporal, en dos años y sus características agronómicas y del mejor testigo comercial.

Variedad	Riego Kg/ha	Temporal kg/ha	D.F días	A.P. cm	D.C. cm
Gir-F-122	142,218	69,510	85	2.61	25
Syn 3750 T	62,437	33,090	84	1.85	27

D.F.= Días a floración; A.P.=Altura de planta; D.C.= Diámetro de capítulo; T = Testigo comercial.

En el Cuadro 6, se muestra los resultados del análisis bromatológico de la variedad de girasol forrajero GIR-FO-40 realizado en el CENID fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP en planta verde. Destaca que la muestra en verde posee una cantidad de proteína cruda 10%, lo cual se considera de buena calidad (un poco superior al maíz 8%), posee bajos niveles de fibra FDA 37% y FDN 39%, ya que esto incrementa la digestibilidad TND 67%, incrementando los niveles de energía neta de: mantenimiento ENm, de crecimiento y engorde ENg y de energía metabolizable EM de 2.4 en el animal. Por último, resalta que el conservado en verde para el animal, posee un valor relativo de forraje (VFR) 141, clasificándose como un forraje de primera calidad (debe obtener valores entre 125 a 151), lo que significa que puede ser consumido por el ganado en verde o bien para ser conservados (ensilado y heno). También destaca por su elevado contenido en fibra, más del 30% de la materia seca es fibra neutro detergente (FND 39%), lo cual es muy importante en las raciones de rumiantes, ya que



estimulan la rumia y la salivación manteniendo un pH adecuado del rumen, facilitando el crecimiento de la flora ruminal equilibrada, lo que favorece la síntesis de la grasa de la leche.

Cuadro 6. Análisis bromatológico realizado al girasol forrajero GIR-FO-40, en conservación tipo planta verde.

Tipo de conservación	MS %	H %	pH	PC %	FDA %	FDN %	C %	TND %	ENL*	ENm*	ENg*	EM*	VRF
En verde	90	8	-	10	37	39	11	67	1.47	1.56	0.96	2.4	141

*=Mcalkg-1; MS= Materia seca; Hum= Humedad; pH=Potencial de Hidrogeno; PC=Proteína cruda; FDA= fibra detergente ácida; FDN=Fibra detergente neutro; C= Cenizas; TND= Total de nutrientes digestibles; ENL=Extracto libre de nitrógeno; ENm= Energía neta para mantenimiento; ENg= Energía neta para para crecimiento y engorde; EM=Energía metabolizable; VRF=Valor Relativo de Forraje.

Conclusiones

Con base en el método de mejoramiento selección genealógica, se logró generar al menos una variedad forrajera GIR-FO-40 de alta productividad de biomasa verde, con un rendimiento promedio bajo condiciones de temporal de 69,510 kgha⁻¹ y en riego de 142,218 kgha⁻¹ de biomasa verde, con una calidad de forraje de primera calidad, acorde al Valor Relativo de Forraje de 141 en verde.

Literatura Citada

Bye, R., E. Linares y D. L. Lentz. 2009. México: centro de origen de la domesticación del Girasol. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, UNAM.12(1):5-12.

Heiser, B. C. 1998. The domesticated sunflowers in old México. Genetic Resources and Crop Evolution 45:447-449.

Hernández, M., M. 2011. Cultivos Alternativos para Guanajuato. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato. Libro Técnico No. 4.



INEGI, 2007. Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno de la República de México.

Lardy, G., & Anderson, V. 2009. General concepts and recommendation for using alternative feeds. NDSU Extension Service. North Dakota State University, North Dakota.

Lardy, G., Anderson, V. and C. Dahlen, 2022. Alternative feeds for ruminantes. NDSU Extension Service. North Dakota State University, North Dakota.

Lentz, D.L., Pohl, M.E.D., Pope, K.O. & Wyatt, A.R. 2001. Preshistoric sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in México. *Economic Botany* 55:370-376.

Márquez, S. F, 1988. Genotecnia Vegetal II. AGT Editor, S.A. México. 665p.

Rieseberg, L. H. & Seiler, G. 1990. Molecular evidence and the origin and development of the domesticated sunflower (*Helianthus annuus*). *Econ. Bot.* 44S, 79–91.

Robles, S. R. 1980. Producción de oleaginosas y textiles. Editorial LIMUSA. México. 675p.

SDAyR. 2020 Secretaria de Desarrollo Agroalimentario y Rural. Análisis de la productividad y rentabilidad de las unidades de producción agroalimentarias del estado de Guanajuato. SDAyR-Gobierno del Estado de Guanajuato.

SINAREFI, 2016. Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA), SNICS. Tlalnepantla, Edo. De México. 88p.

Tang, S. X. & Knapp, S. J. 2003. Microsatellites uncover extraordinary diversity in native American land races and wild populations of cultivated sunflower. *Theor. Appl. Genet.* 106, 990–1003.

Vrănceanu, A. V. 1977. El Girasol. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España



EFECTO DEL ACOLCHADO PLÁSTICO NEGRO Y COMPOSTA DE BOVINO EN LA PRODUCCIÓN DE FRIJOL EJOTERO

Isabel Alemán Chávez¹³⁶, Liliana Lara Capistrán^{136*}, Elia N. Aquino Bolaños¹³⁷, y Guillermo Alafita Vásquez¹³⁶

Resumen

La producción de frijol ejotero a nivel nacional no satisface la demanda interna de ejote (0.9 a 1.1 kg per cápita), por lo que es necesario importarlo principalmente de Estados Unidos. El bajo rendimiento y calidad nutrimental del ejote con frecuencia se debe a las deficiencias en su manejo agronómico, por lo que el empleo de alternativas como acolchados que permitan la optimización del agua y mejor control de arvenses y el uso de abonos orgánicos como la composta coadyuvarían a incrementar la fertilidad de los suelos y el rendimiento del cultivo. Se planteó como objetivo evaluar parámetros morfométricos, rendimiento y calidad proteica de frijol ejotero, en siembra a cielo abierto durante el ciclo primavera-verano de 2020. Se utilizó un diseño bloques al azar con cuatro tratamientos: T1: (Testigo, T), T2: (Composta de heces de bovino, C), T3: (Acolchado plástico negro, A) y T4: (composta de heces de bovino más acolchado plástico negro más (C+A), cada uno con cuatro bloques y 200 repeticiones, con un total de 3,200 plantas. Se evaluó altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, flores y vainas, área foliar, biomasa aérea y radicular (fresca y seca), número de nódulos, rendimiento del cultivo por m² y proteína total. Los resultados se analizaron mediante un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha= 0.05$). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre todas las variables evaluadas ($P\leq 0.05$), siendo el mejor tratamiento donde se aplicó la composta de heces de borrego y el acolchado plástico negro (C+A), con incrementos de 83.33% para producción (kg) en comparación con las plantas-testigo T., este mismo tratamiento mostró porcentajes de 23% de proteína., con incrementos del 33.33%. Por lo que se concluye que el mejor tratamiento fue la aplicación de composta de heces de bovino en dosis de 5 kg m² al inicio del ciclo y otra aplicación a los dos meses de manera localizada (80 g por planta más el uso

¹³⁶ Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: lilara@uv.mx

¹³⁷ Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos (CIDEA).



de acolchado plástico negro (C+A) en frijol ejotero bajo las condiciones en la que se condujo este trabajo.

Palabras clave: proteína, *Phaseolus vulgaris*, 'Strike', abono, orgánico

Introducción

A nivel mundial los principales países productores de frijol ejotero son: China con 682,889 ha y una producción de 19,293,884.00 t, China Continental con 680,762 ha y una producción de 19,281,055.00 t, Indonesia con 120,933 ha y una producción de 915,591.00 t, India con 241,652 ha y una producción de 675,188.00 t, Turquía con 47,269 ha y una producción de 630,347.00 t, Tailandia con 166,576 ha y una producción de 313,596.00 t, Egipto con 27,255 ha y una producción de 283,520.00 t, Marruecos con 7,476 ha y una producción de 168,887.00 t, España con 8,509 ha y una producción de 163,649.00 t, Italia con 18,618 ha y una producción de 154,851.00 t, Bangladesh con 20,880 ha y una producción de 137,495.00 t (FAO, 2017).

México ocupa el décimo cuarto lugar en producción de frijol ejotero con una superficie de 10, 244.54 ha y una producción de 102, 000.00 t por ha a nivel nacional, en donde destacan los estados de Morelos con 3,009.00 ha y una producción de 31,000.00, Sinaloa con 2,072.66 ha y 22,565.02 de producción, Hidalgo con 1,970.70 ha y una producción de 15,194.33 t, Puebla con 1,500.00 ha y una producción de 14,728.00 t, Veracruz con 308 ha y una producción de 3,512.40 t, Jalisco con 355.4 ha y una producción de 3,046.53 t, Baja California con 208.5 ha y una producción de 2,150.30 t, Sonora con 185.31 ha y una producción de 2,102.28 t, Michoacán con 149 ha y una producción de 1,488.80 t, Yucatán con 89.02 ha y una producción de 1,304.00 t, Nayarit con 90.5 ha y una producción de 1,127.19 t, Oaxaca con 80.95 ha y una producción de 784.67 t, Baja California Sur con 74.25 ha y una producción de 702.48 t, Aguascalientes con 65 ha y una producción de 693.6 t, San Luis Potosí con 38 ha y una producción de 317.4 t, México con 28 ha y una producción de 271.08 t, Guerrero con 18.25 ha y una producción de 115.71 t, Zacatecas con 2 ha y una producción de 14.4 t respecto a la producción nacional de Productores de frijol ejotero, Veracruz ocupa el quinto lugar en producción de ejote con 3,512.40 t (SIAP, 2017). Sin embargo, este cultivo se enfrenta con problemas como son la incidencia de plagas y enfermedades, presencia de malas hierbas, falta de agua en cantidades y distribución ideal,



baja fertilidad de los suelos, como resultado de su manejo inadecuado por lo que se han propuesto técnicas para incrementar la producción, dentro de las que se encuentra la agricultura protegida que destaca el uso de los acolchados plásticos, método en horticultura que ha mostrado altos porcentajes de adopción, ya que contribuye a la solución de algunos de los retos a los que el cultivo de frijol ejotero se enfrenta, al tiempo que mejora el ambiente en el suelo, como lo refieren diversas investigación que plantean que el uso de acolchado de polietileno en los cultivos, genera importantes modificaciones en el ambiente físico, donde se cultivan las plantas, y dependiendo del tipo de polietileno que se utilice, factores como humedad, temperatura, estructura y fertilidad del suelo, y la vegetación espontanea bajo el filme se ven modificados (Montemayor-Trejo *et al.*, 2018; Marín-Guirao *et al.*, 2022).

Por otro lado, al combinar estas técnicas de agricultura protegida con el uso de abonos orgánicos o enmiendas de origen animal, facilita mejoría en la fertilidad de los suelos. Es en este sentido que el uso de compostas de origen animal se vuelve una alternativa a los sistemas de producción ya que proporcionan a la planta condiciones necesarias para su crecimiento y desarrollo, además de mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (Ramos y Terry, 2014; Acevedo-Alcalá *et al.*, 2020). Por lo anterior, se planteó como objetivo, evaluar el efecto del acolchado plástico negro en combinación con composta de bovino, en los parámetros morfométricos, rendimiento y calidad proteica de frijol ejotero, bajo condiciones de cultivo a cielo abierto durante el ciclo primavera-verano de 2020.

Materiales y Métodos

Ubicación geográfica del experimento

La investigación se realizó durante los meses de febrero-junio de 2020 en una superficie de 250 m² con sistema de riego por goteo calibre 6000 y una separación entre goteros de 10 cm., que generaban gasto de agua de 1.2 L·h⁻¹. El sitio del experimento está ubicado en el Seminario Mayor de Xalapa, con domicilio en la Unidad Habitacional FOVISSSTE, en el Bulevar Diamante (a un costado del Parque Molinos de San Roque), en la ciudad de Xalapa, Veracruz, México, cuyas coordenadas geográficas son 19°33'05.37" LN, 96°56'40.64" LO y altitud de 1,428 m.

Diseño experimental y descripción de los tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos: T1 Testigo (T), T2 Composta de heces de bovino (C), T3 Acolchado plástico negro y T4 Composta de heces de bovino



más acolchado plástico negro (C+A), cada uno con cuatro bloques y 200 repeticiones por bloque. Con un total de 16 bloques y 3,200 plantas

Preparación de camas de siembra, desinfección y colocación del acolchado plástico

La preparación del terreno, el trazo y la construcción de las camas de siembra se realizó en forma manual, con herramientas simples dejando una distribución de 90 cm de ancho x 12 m de largo, en cada cama de siembra y de manera general con profundidad de 30-40 cm y a 20 cm de altura para favorecer la distribución de raíces de la planta, homogeneizando la superficie con ayuda de un rastrillo. Posteriormente se aplicó en las camas un desinfectante comercial de amplio espectro (Full-Gro®) en dosis de 1.5 mL·L⁻¹ de agua corriente para riego. En seguida se procedió a colocar el acolchado plástico negro calibre 80 perforado y finalmente la colocación de las semillas en su respectivo bloque.

Siembra y aplicación de la lombricomposta

Se utilizaron semillas de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) cv 'Strike' con el 95% de germinación. La densidad de siembra fue de 15 plantas por m² con separación entre plantas de 25 cm. De acuerdo con la ficha técnica de la SAGARPA (2014), se aplicaron 5 kg de composta de heces de bovino por metro cuadrado al inicio del ciclo y otra aplicación a los dos meses de manera localizada a dosis de 80 g por planta.

Características de la composta de bovino

Las características de la composta de bovino utilizada en este trabajo fueron clasificadas de acuerdo con los valores de referencia indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 expedida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales el día 31 de diciembre de 2002 (SEMARNAT, 2002) con las siguientes características: pH 6.8 (neutro), 54.44% de materia orgánica (muy alto), C.E. de 800 dS·m (muy fuertemente salino); N 5.712 mg·kg (muy alto), P 125 mg·kg (alto), K 5.8553 mg·kg (alto), Ca 21.50 mg·kg (alto), Mg 11.05 mg·kg (alto) y Na 0.3008 mg·kg (bajo).

Control fitosanitario

El manejo del cultivo fue orgánico, por lo que no se utilizaron agroquímicos sintéticos y para prevenir el daño de insectos y patógenos, se realizaron aplicaciones de sales potásicas (1 mL·1 L⁻¹ agua) y oxiclورو de cobre (2 g·1 L⁻¹ agua) una vez por semana y se colocaron trampas de color amarillo y azul durante todo el ciclo favoreciendo el monitoreo de la presencia de insectos plaga.



Variables evaluadas

A los 65 días después de la siembra (dds) se evaluó altura de planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas totales (U), área foliar (cm²) utilizando el programa Photoshop, número de flores totales (U), número de vainas por planta (U), y al final biomasa fresca total y seca (g), número de nódulos (U), rendimiento por m² (sumatoria de 3 cosechas a partir de los 60 dds) y proteína total por el método de Kjeldahl (AOAC, 1984) expresado en porcentaje (%).

Análisis estadístico

En primera instancia se realizaron los contrastes de normalidad correspondientes y, tras comprobar la fiabilidad estadística de los datos obtenidos en este experimento, las variables evaluadas fueron analizadas mediante un ANOVA y la prueba de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha= 0.05$) del software Statistica (versión 8.0.360.0 StatSoft Inc., 2011, Tulsa, USA) para Windows.

Resultados y discusión

El análisis estadístico arrojó diferencias significativas entre las variables evaluadas ($P\leq 0.05$), para altura de planta y diámetro del tallo el mejor tratamiento fue la combinación de composta de heces de bovino con acolchado plástico negro (C+A) registrando incrementos de 99.13% y 48.28% con relación al testigo (T). Esto puede estar relacionado con la cantidad de macro nutrientes como nitrógeno y fósforo que contiene el estiércol de ganado (Beltrán *et al.*, 2017). Resultados similares han sido reportados por Cuevas (2020) en un estudio realizado con frijol ejotero y manejos orgánicos en donde las variables de crecimiento fueron mayores que el testigo (Cuadro 1). Lo que pudo verse potencializado con el uso del acolchado.

Para el número de hojas y área foliar se observa una tendencia similar siendo el mejor tratamiento C+A con incrementos de 166.17% y 146.96% respectivamente, seguido del tratamiento con acolchado plástico (A) y composta de bovino (C). En la biomasa fresca y seca sigue siendo el mejor tratamiento C+A con incrementos de 176.64% y 101.15% respectivamente (Cuadro 1). Esto puede estar relacionado con el efecto de la materia orgánica sobre las propiedades del suelo que no solo representan mejoras en el aspecto nutricional, también ejerce efectos positivos relacionados con la retención de humedad y el mantenimiento de la temperatura del suelo, lo que contribuye a crear un amortiguamiento en la solución del suelo, mejorando las condiciones para el desarrollo de microorganismos, lo que en conjunto con la capacidad de incrementar la temperatura en épocas de frío que ofrece el uso de acolchado plástico, benefician al cultivo.



Resultados similares ha sido reportados por Velázquez *et al.* (2016) que refieren que la aplicación de estiércol bovino influye sobre la acumulación de masa seca de hojas y tallos de plantas de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) bajo irrigación.

En lo que respecta a las variables número de flores por planta y número de vainas se observan incrementos de 101.08% y 112% respectivamente para el tratamiento C+A, Esto podría deberse al tipo de abono ya que el uso de composta bovino en plantas ayuda al crecimiento, así como su desarrollo incrementan la cantidad de flores, ya que la composta de estiércol vacuno posee una riqueza de microorganismos además de macro y micronutrientes ayudando a que la planta tenga mejor crecimiento (Olivares-Campos *et al.*, 2012; Sharma y Yadav, 2017).

En cuanto al número de nódulos por planta el tratamiento con C+A presentó en promedio 23 nódulos por plantas, (Cuadro 1) y los demás tratamientos mostraron igualdad estadística. La cantidad mayor de nódulos por planta están relacionado con las bacterias fijadoras del nitrógeno atmosféricos del género *Rhizobium* sp que pudieron haber estado presentes en la composta de heces de bovino. Este parámetro ha sido declarado, indicador de la efectividad en la interacción y además correlaciona con el nivel de nitrógeno fijado por la planta (Colás-Sánchez *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Variables evaluadas en frijol ejotero.

Variables evaluadas	Tratamientos			
	T	C	A	C+A
Altura de la planta (cm)	18.58±1.16c	27.75±0.62b	28.08±0.51b	37.0±1.20a
Diámetro del tallo (mm)	3.79±0.39c	4.64±0.10b	4.70±0.27b	5.62±0.09a
Número de hojas	17±1.75d	33.08±0.9c	35±1.53b	45.25±0.86a
Área foliar (cm ²)	1352.05±1.06d	1836.48±1.23c	2437.57±3.5b	3339.85±3.2a
Número de flores por planta	11.83±0.93c	16±0.60b	15.41±0.66b	20.25±1.35a
Número de vainas por planta	8.33±0.49c	15.33±0.88b	15.58±0.66b	17.66±1.49a
Biomasa fresca (g)	81.91±13.4c	127±11.9b	114.3±20.8b	222.6±14.7a
Biomasa seca (g)	33.76±2.83c	54.3±4.24b	54.45±2.27b	67.91±45.78a
Número de nódulos	12.83±2.16b	13.08±2.57b	13.33±3.74b	23.58±1.56a

Valores con letras iguales, dentro de columnas, son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$) y \pm Desviación estándar. Clave de los tratamientos: T testigo absoluto, C composta de heces de bovino, A Acolchado plástico y C+A composta de heces de bovino y acolchado plástico negro.



El análisis estadístico arrojó diferencias significativas para la variable de rendimiento ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) en donde el mejor tratamiento fue la aplicación de la composta de heces de bovino y el acolchado plástico (C+A) con incrementos de 83.33% con relación al Testigo; lo cual puede estar relacionado con los contenidos minerales y de materia orgánica presentes en la composta. Tal y como ha sido reportado por Arellano-Arciniega *et al.* (2015) quienes consideran que, al aplicar este tipo de abonos en diversas variedades de frijol, el rendimiento se incrementó con respecto a las plantas donde se empleó fertilizante sintético. Por otra parte, el uso del acolchado plástico tiende a incrementar los rendimientos, como lo ha reportado Montemayor-Trejo *et al.* (2018) donde al producir maíz forrajero incrementó los rendimientos hasta en un 25% más con respecto al sistema sin acolchar.

Para la proteína se observa misma tendencia siendo C+A donde el porcentaje fue mayor con 23% aproximadamente (Figura 1b) superior a los reportado por Salinas *et al.* (2012) quienes mencionan que, en nuestro país, cultivares de frijol ejotero 'Strike' se sembraron en dos ambientes distintos (clima semiárido y clima templado) del estado de México y, el análisis químico proximal efectuado en 2008, testificó la síntesis promedio de 18.0% y 20.1% de proteína en su respectivo entorno., menor a la reportada en este trabajo. De manera general el mejor tratamiento fue el C+A en la Figura 2 se observan los efectos del uso del acolchado plástico y la composta en plántulas y rendimiento de frijol ejotero en comparación con el testigo.

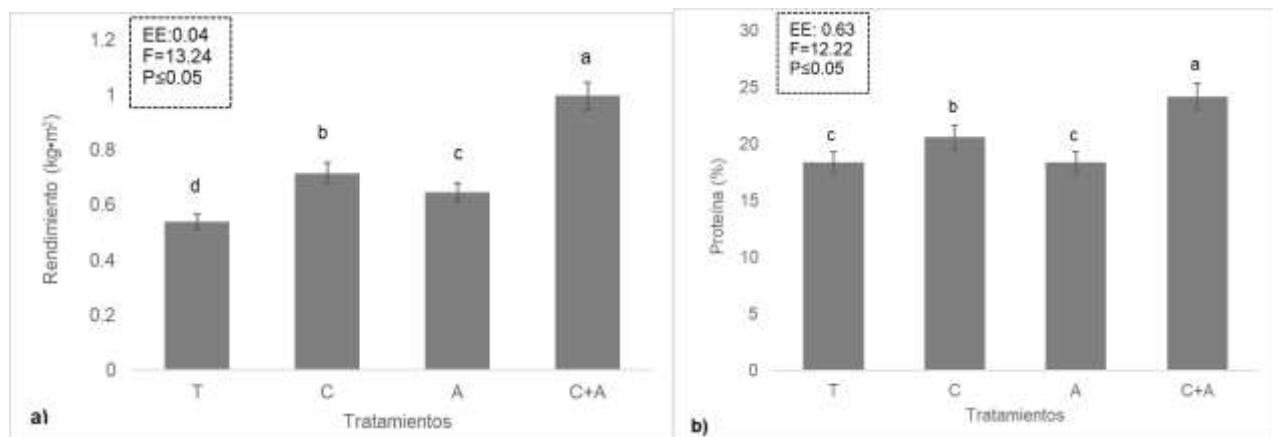


Figura 1. Rendimiento por m^2 a) y b) proteína en vainas de frijol. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales entre sí (Tukey, $P\leq 0.05$). Las líneas verticales en las barras son el error estándar (\pm). Clave de los tratamientos: T testigo absoluto, C composta de heces de bovino, A Acolchado plástico y C+A composta de heces de bovino y acolchado plástico negro.



Figura 2. Fotografías comparativas a los 56 DDS. (Fotografía: Nayeli A. Cuevas Vega, 2018©). Clave de los tratamientos: T testigo absoluto, C composta de heces de bovino, A Acolchado plástico y C+A composta de bovino y acolchado plástico negro.

Conclusiones

El uso de acolchado plástico negro, en conjunto con la dosis de 5 kg/m^2 de composta de heces de bovino al inicio del ciclo y una segunda aplicación a los dos meses después de la siembra en dosis de 80 g por planta, en el cultivo de frijol ejotero, es una alternativa de manejo, que bajo las condiciones en las que se llevó a cabo este experimento, mejora las características morfométricas e incrementa el rendimiento del cultivo y el contenido proteico de las vainas, como se observó en los resultados obtenidos.

Agradecimientos

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Agrícolas por el apoyo financiero facilitado a los estudiantes de la Optativa IV. Agricultura Protegida para el desarrollo y conclusión de esta investigación. Del mismo modo, a los estudiantes de la Optativa IV. Agricultura Protegida (periodo escolar febrero-julio 2018) en especial Nayeli Angelica Cuevas Vega y Yuridiana Lizbeth Martínez Ortega



Literatura Citada

- Acevedo-Alcalá, P., J. Cruz-Hernández y O.R. Taboada-Gaytán. 2020. Abonos orgánicos comerciales, estiércoles locales y fertilización química en la producción de plántula de chile poblano. *Rev. Fitotec. Mex.* 43(1):35 – 44.
- Arellano-Arciniega, S., E.S. Osuna-Ceja, M.A. Martínez-Gamiño y L. Reyes-Muro. 2015. Rendimiento de frijol fertilizado con estiércol bovino en condiciones de secano. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 38 (3) 313 – 318.
- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 1984. *Official Methods of Analysis*. Kjeldahl method (2.062). 14th edition. Washington D.C., USA.
- Beltrán S. M.A., G. Álvarez F., J. M. Pinos R, J.C. García L., R. Castro R. 2017. Abonos obtenidos del compostado de heces de ganado bovino de leche vs. fertilizante en la producción de triticale (*X Triticum secale* Wittmack) Abonos vs. fertilizante en la producción de Triticale. *Rev. FCA UNCUYO.* 49(1):95-104.
- Colás-Sánchez, A., B. Díaz-Pérez., A. Rodríguez-Urrutia., S. Gatorno-Muñoz., O. Rodríguez L. 2018. Efecto de la biofertilización en la morfo fisiología y rendimiento del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ctro. Agr.* 45(4):34-42.
- Cuevas, P.S. 2020. Uso de acolchados naturales en el cultivo orgánico de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'Strike' en campo. Tesis de licenciatura Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. México. 68 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.) (2017) El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>



Marín-Guirao, J.I., E. Martín-Expósito, M. del C. García-García and M. de Cara-García. 2022. Alternative Mulches for Sustainable Greenhouse Tomato Production. *Agronomy* 2022. 12(6):1333; <https://doi.org/10.3390/agronomy12061333>

Montemayor-Trejo, J.A., E. Suárez-González., J.P. Munguía-López., M.Á. Segura-Castruita., R. Mendoza-Villareal y J.L. Woo-Reza. 2018. Plastic padding for the production of corn (*Zea mays* L.) forage in the Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Special volume number 20* 4107-4114.

Olivares-Campos, M.A., A Hernández-Rodríguez., C. Vences-Contreras., J.L. Jáquez-Balderrama., D. Ojeda-Barrios. 2012. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Revista Universidad y Ciencia* 28(1):27-37.

Ramos, A.D. y E. Terry A. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Ministerio de Educación Superior. Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. *Cultivos Tropicales* 35(4):52-59.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Cultivo de frijol ejotero. Programa Integral de Desarrollo Rural 2014 Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio Carta tecnológica No. 10.

Salinas, R.N., A. Escalante E., Ma. T. Rodríguez G. y E. Montes S. 2012. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero en dos ambientes. *Revista fitotecnia mexicana* 35(4):317-323. Recuperado en 26 de junio de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000400008&lng=es&tlng=es.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México: Diario Oficial de la Federación, 31 diciembre de 2002.



Sharma, D. y K.D. Yadav. 2017. Bioconversion of flowers waste: Composting using dry leaves as bulking agent. *Environ. Eng. Res.* 22(3): 237-244.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp

StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10.0. USA: SAS Institute Inc.

Velázquez, D. J.A., H.N. Rodríguez E., M.A. Ferreira A., G.D. Vega B., N.D. Lesmo D. y J.D. Alvarenga S. 2016. Efecto de diferentes dosis de estiércol bovino en el cultivo orgánico de *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni bajo sistema de riego por goteo. *Investig. Agrar.* 18(2):101-110.



COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE GENOTIPOS DE CHILE JALAPEÑO CON FERTILIZACIÓN SUSTENTABLE EN INVERNADERO

María Dora Castillo Rodríguez¹³⁸, Andrés Vásquez Hernández^{139*}, Héctor Cabrera Mireles¹³⁹, Arturo Durán Prado¹³⁹,
Isaac Meneses Márquez¹³⁹ y Arturo Andrés Gómez¹⁴⁰

Resumen

En la actualidad existe una gran diversidad de genotipos comerciales de chile jalapeño (*Capsicum annuum L.*), disponibles para la siembra por el productor, tanto con tecnología de agricultura a cielo abierto, como en condiciones de invernadero, por lo que para obtener los mejores resultados, se hace necesario evaluar su comportamiento en ambos sistemas de producción, sobre todo, por el incremento de siembras en invernadero; esto permitirá seleccionar los más productivos y de mejor calidad, asimismo, evaluar su respuesta a la aplicación de biofertilizantes y fertilización química racional, para complementar el paquete tecnológico de producción y poderla ofrecer de manera integral al productor. En el ciclo O-I, 2022-2023 se realizó un experimento de evaluación de genotipos de chile jalapeño con tecnología de fertirriego con acolchado plástico y riego por goteo, en un invernadero tropical en el estado de Veracruz, ubicado en el Campo Experimental Cotaxtla, Municipio de Medellín de Bravo, Ver. El diseño experimental fue de parcelas divididas; la parcela grande fueron los tratamientos de fertilización: 1) Fertilización química tradicional al 100% (160-80-120, N-P₂O₅-K₂O) y 2) Fertilización sustentable con el 50% de la fertilización química tradicional (80-40-60) complementada con una dosis única de 5 ton/ha de bocashi, combinado con los biofertilizantes *Rhizophagus* y *Trichoderma*, que se aplicaron a la semilla a la siembra. La parcela chica fueron los genotipos de chile jalapeño Variedad Don Benito, Variedad Stam J09-4, y los híbridos Rio Verde, Colosus y Abasolo. De los resultados obtenidos, la tecnología sustentable en que se aplicó el 50% de fertilizante químico, combinado con bocashi y los biofertilizantes *Trichoderma* y *Rhizophagus* fue mejor que la fertilización tradicional para los 5 genotipos de chile jalapeño evaluados, con diferencias estadísticas altamente significativas. Los híbridos Abasolo, Colosus y Rio Verde resultaron superiores al resto de los genotipos en cuanto

¹³⁸ Tesis profesional licenciatura. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

¹³⁹ Investigador, Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. *vasquez.andres@infap.gob.mx

¹⁴⁰ Asistente de Investigación. Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP.



rendimiento y calidad de fruto, con los parámetros longitud y peso de fruto. La tecnología sustentable presenta ventajas considerables al productor y al medioambiente, con el uso de insumos ecológicos como el bioabono bocashi y los Biofertilizantes *Trichoderma* y *Rhizophagus*, además de incrementar rendimiento y calidad de frutos.

Palabras clave: bocashi, *Rhizophagus*, *Trichoderma*

Introducción

El chile jalapeño es uno de los más consumidos a nivel mundial, el género *Capsicum*, es originario de las regiones áridas de las montañas andinas, las que hoy en día forman parte de Perú y Bolivia, y luego migraron a las regiones bajas tropicales de las Américas, donde se han encontrado semillas de forma ancestrales de más de 7000 años. Russo (2012) sugiere que la domesticación de *Capsicum annuum* puede anteceder a los inicios de la agricultura en las Américas. El chile jalapeño es una variedad hortícola del género vegetal *Capsicum* de la familia *Solanaceae*, es una planta que tiene tallos erectos, herbáceos y ramificados de color verde oscuro; el sistema de raíces llega a profundidades de 0.70 a 1.20 m y lateralmente hasta 1.20 m; la altura promedio es de 60 cm. Las hojas son planas, simples y de forma ovoide alargada, y las flores hermafroditas, formándose en las axilas de las ramas; a veces de color blanco o púrpura (SAGARPA, 2017). CONAPROCH AC 2012), menciona que el nombre del chile jalapeño proviene de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Es un chile picante, sus frutos son firmes, de buen sabor y aspecto atractivo, por lo que tienen muy buena aceptación en el mercado, tanto nacional como extranjero. Existen varios subtipos de esta variedad, entre los que destacan: el típico, el candelaria o peludo, el espinalteco o pinalteco y el morita, pero las especies que se producen en mayor cantidad son *Capsicum annuum* L. (jalapeño, serrano, pasilla, guajillo, anchos, mulatos, pimientos, morrones y chile bell), *Capsicum frutescens* L. (chile manzano y *Capsicum chinense* (chile habanero. En cuanto a la calidad de chile Jalapeño, la NOM NMX-FF-025-SCFI-2007 indica que existen 4 categorías, de acuerdo al largo, ancho y peso; en cuanto a largo, se tiene chico de 3.0-4.9 cm, mediano de 5.0 a 7.5, grande de 7.6-9.0 y extra grande > 9.0 cm; en peso de fruto fresco < de 15 g es Chico, 15.1-24.9 es Mediano, 25-35 g Grande y > de 35 es Extra grande.



En 2019, en México se cosecharon 149, 577 hectáreas(ha) de chiles verdes, de los cuales, 26,927 ha corresponden al chile jalapeño (18.0%) y 15,260 ha de chiles poblanos (10.2%), siendo un 28.2% de la superficie cultivada con estas 2 especies. El rendimiento promedio por hectárea de chile jalapeño es de 46.11 t y el rendimiento promedio por hectárea de chiles poblanos es de 59.92 ton (SIAP, 2019). De todo el mundo, China es el país que presenta una mayor participación en la producción de chiles frescos, con una producción en 2009 de 14,524,178 t producidas en 662,200 ha lo que representa casi el 62% de la producción mundial de chiles. El segundo lugar en producción lo ocupa México con el 9%, con 132,337 ha y 2, 054,968 t producidas tan solo de chiles frescos. En Veracruz, se reporta una superficie sembrada de 5 388.5 ha sembradas, con un rendimiento promedio de 6.167 ton/ha el cual es bajo comparado con los estados de Sinaloa con 39.33 ton/ha y Baja California sur con 32.766 ton/ha, los cuales también cuentan con producción en sistemas protegidos (CONAPROCH, 2012). Los rendimientos más altos en la producción de chile verde se logran en los estados de Sinaloa, Tamaulipas y Baja California Sur seguido de Sonora, principalmente debido al uso de alta tecnología de producción como avanzados sistemas de riego y producción en invernaderos, así como el uso de cultivares mejorados e híbridos. El mayor rendimiento se observa en la producción de chiles en condiciones de invernadero, seguido de los cultivos con sistemas de riego como el jalapeño que hace a 28.594 t/ha, el chile serrano con 27.144 ton/ ha y el morrón con 29.837 ton /ha.

Dentro de las acciones estratégicas del sistema Producto Chile para mejorar la producción, está la investigación y transferencia de tecnología en plagas y enfermedades, así como en el manejo integrado del cultivo (CONAPROCH AC, 2012). En la actualidad, el uso de insumos de bajo impacto al medio ambiente es una necesidad dadas las políticas mundiales para la reducción de contaminantes, el uso de abonos orgánicos y microorganismos benéficos ya es parte importante en la producción mundial de cultivos. Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos benéficos como hongos y bacterias principalmente (Aguirre *et al*, 2010), los cuales aumentan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Estos biofertilizantes pueden presentar grandes ventajas como una producción a menor costo, protección del ambiente y aumento de la fertilidad y biodiversidad del suelo. Los biofertilizantes se usan abundantemente en agricultura orgánica, sin embargo, es factible y ampliamente recomendable aplicarlos de manera integral en cultivos intensivos en el sistema tradicional (INTAGRI, 2023). García *et al*. (2021) en un estudio de evaluación de inoculantes de bacterias benéficas y micorrizas en cultivo de chile jalapeño, encontraron que *Azospirillum brasilense* tienen la capacidad de desplazar por competencia a otros organismos patógenos o generar una respuesta



de resistencia de la planta hacia la invasión de patógenos y concluyen que las plantas de chile jalapeño presentaron mejores características productivas cuando interactuaron con los microorganismos, además se manifestó un efecto de protección en contra de *Fusarium* sp al no presentar síntomas de este patógeno. Rodríguez *et al.* (2010) al estudiar el efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de *Capsicum* spp. concluyeron que el mayor rendimiento se consigue cuando se aplica al suelo una fuente química completa, más una fuente de materia orgánica, más micorrizas arbusculares, además, que la biofertilización es un complemento de la fertilización química. Al evaluar el efecto de la aplicación de hongos micorrizicos y humus de lombriz en tomate en sistema protegido, encontraron que la aplicación de hongos micorrizico arbusculares, fue más eficiente que el humus de lombriz al 25%, de la dosis de fertilizante mineral y sin efectos relevantes cuando se aplican combinados con el humus de lombriz, pero su influencia en los parámetros biológicos no fue significativa. No obstante, al incrementarse la fertilización mineral al 50%, se pudo apreciar sinergismo entre ambos productos, al ser más eficiente la aplicación combinada, obteniéndose una producción superior a la que aportó la dosis del fertilizante mineral considerada óptima.

Estímulo del crecimiento y desarrollo de las plantas por parte de *Trichoderma* sp. ha sido conocido por muchos años. Muchas cepas que han sido aisladas y probadas en plantas, ya sea en condiciones de laboratorio o en suelos naturales de campo, incrementan el crecimiento de las raíces y esto repercute en el aumento de la productividad de las plantas. En diversas investigaciones, los científicos han comprobado que la producción de fitohormonas como las auxinas y compuestos volátiles que libera *Trichoderma* sp, son los responsables de estimular la ramificación de la raíz, aumentando su capacidad para captar agua y nutrimentos minerales. Se reporta que *Trichoderma* es eficaz en la solubilización del fosfato a través de la producción de ácidos orgánicos, que reducen el pH del suelo haciéndolo más biodisponible, la liberación de metabolitos quelantes y enzimas especializadas en la degradación de compuestos orgánicos de fósforo como las fosfatasas ácidas y alcalinas (Garnica y Esparza, 2016). Symborg (2023) menciona que se entiende por micorrizas a las asociaciones simbióticas entre los hongos y las raíces de las plantas vasculares. El papel de las micorrizas es de vital importancia a lo largo de su periodo de crecimiento. Gracias a las micorrizas, el desarrollo simbiótico de la planta sucede de una manera satisfactoria y ambos salen beneficiados, tanto el hongo como la planta. Por un lado, las raíces segregan azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y otras sustancias orgánicas que benefician a los hongos y por otro lado, los hongos convierten los minerales del suelo y materias en descomposición en formas asimilables para las raíces de las plantas.



Los principales beneficios de las micorrizas son: mejora la absorción de nutrientes, fundamentalmente fósforo y nitrógeno, mejora la absorción de agua y el aumento de la resistencia a condiciones de estrés hídrico, se produce un aumento a la resistencia a condiciones de cultivos salinos, en especial en el *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*, se incrementa la resistencia frente a hongos patógenos del suelo por su efecto antagónico. Cuando una raíz está colonizada por hongos micorrizicos, se mejora la defensa de la planta frente a organismos patógenos, se produce una mejora en la estructura del suelo gracias a los agregados que forman las hifas y filamentos del hongo micorrizico, mediante una proteína llamada glomalina, Se producen efectos hormonales sobre las raíces que hacen que aumente su desarrollo y el de toda la planta. Con las nuevas tecnologías de producción evaluadas por INIFAP en el estado de Veracruz, se ha demostrado que mediante sistemas protegidos tipo invernadero y bioespacio, es posible incrementar hasta en 300% el rendimiento de diversas hortalizas de gran demanda en el mercado, como chile jalapeño, chile habanero, tomate Saladette y pepino, con un mínimo de aplicación de agroquímicos tóxicos y aplicación racional de fertilizantes químicos, combinados con biofertilizantes del tipo *Rhizophagus sp* y *Trichoderma sp* (Duran *et al.*, 2015; Vásquez *et al.*, 2018) , lo que nos indica la factibilidad de utilizar sistemas de producción ecológicos sin daño al medio ambiente ni al productor y con un mejor valor en el mercado, al producir productos inocuos y de buena calidad. Bastida (2017) menciona que la agricultura protegida está integrada por todos los sistemas de producción que utilizan estructuras y técnicas para abrigar plantas y animales, con la finalidad de protegerlos de los fenómenos ambientales adversos a su desarrollo, adema menciona que debido a la aparición de los plásticos y su aplicación en la agricultura, se adquiere la connotación actual de cultivos protegidos o agricultura protegida, de la cual los mejores exponentes son los invernaderos, y es a partir de ellos que se puede seguir la evolución y desarrollo de este sector de la agricultura protegida nacional e incluso en la agricultura protegida mundial. Macías *et al.* (2013) mencionan que en el mercado, existen diferentes genotipos de chiles, disponibles para el productor, pero no se tiene conocimiento sobre su capacidad de adaptación para la siembra en invernadero con los sistemas modernos de producción como acolchado, plástico, fertirriego y aplicación de organismos benéficos, lo que hace necesario su evaluación bajo estas condiciones, para obtener información confiable sobre su producción y así ofrecer las mejores alternativas a los productores. En cuanto a los costos de producción de chile jalapeño en sistema con riego por goteo FIRA (2021) reporta que este asciende a 297 190.00 con venta a un precio que oscila entre los \$3 000 y \$ 15 000.00 la tonelada, con un precio promedio probable de \$7 000.00 la tonelada.



Dada esta gran variabilidad de los genotipos de chile jalapeño disponibles, es necesario evaluar su comportamiento en condiciones de agricultura protegida para seleccionar los más productivos y de mejor calidad, asimismo, evaluar su respuesta a la aplicación de biofertilizantes y fertilización química racional, para complementar el paquete tecnológico de producción y poderla ofrecer de manera integral al productor.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el ciclo O-I, 2022-2023 en un invernadero tropical con ventana cenital ubicado en el campo experimental Cotaxtla, Municipio de Medellín, Ver. ($18^{\circ}8.33$ y $96^{\circ} 11'31''$, 14 m), de dimensiones 12 x 30 m. Se utilizó un sistema de fertirriego y acolchado plástico blanco-negro calibre 600. Se hicieron camas de siembra de 1.00 m de ancho y 26 m de largo en siembras a doble hilera, con una separación de 0.40 m entre hileras y 0.50 m entre matas con una planta por mata. Se usó una cintilla de riego por hilera, con emisores cada 30 cm y un gasto de 1.10 lt /hora, para la producción de plántulas se utilizaron charolas de 200 cavidades con sustrato a base de Peat Moss. El diseño experimental fue de parcelas divididas; la parcela grande fueron los tratamientos de fertilización: 1) Fertilización química (F.Q.) al 100%, se aplicó el tratamiento 160-80-120, (N-P₂O₅-K₂O) dividido en 12 aplicaciones semanales, 2) Tratamiento con 50% de fertilización química, se aplicó una dosis única de 5 t/ha de bocashi y el tratamiento de fertilización 80-40-60, dividido en 12 dosis semanales, combinado con los biofertilizantes *Rhizophagus* sp y *Trichoderma* sp que se aplicaron a la semilla a la siembra. La parcela chica fueron los genotipos de chile jalapeño evaluados (Cuadro 1), cada parcela experimental estuvo formada por 10 plantas con cuatro repeticiones. Se estimó altura de planta con regla, cada 7 días en las 10 plantas de cada parcela. A partir de aparición de rayado de frutos o cambio de coloración se iniciaron los cortes, por parcela y repetición. Estos frutos fueron pesados y caracterizados en cuanto a número y peso de frutos por parcela, así como tamaño de frutos por su longitud desde la parte basal a la apical. El peso promedio de fruto (g) se obtuvo al dividir el peso de frutos entre el número de frutos cosechados. El efecto de los tratamientos se determinó mediante el análisis de varianza en un diseño de parcelas divididas mediante InfoStat 2020 con comparación de medias de Tukey donde hubo diferencia estadística



Cuadro 1. Genotipos de chile jalapeño y tratamientos de fertilización evaluados.

Genotipo	Tratamiento 1 Tecnología tradicional	Tratamiento 2 Tecnología sustentable
V. Don Benito Variedad		
V. Stam J 09-4. Variedad		50% fertilización química
HF1. Rio Verde	100% fertilización química	(80-40-60) + 5 ton/ ha
HF1. Abasolo	(160-80-120)	bocashi+ <i>Rhizophagus</i>
H. Colosus		+ <i>Trichoderma</i>

Resultados y Discusión

Se analizaron los resultados por corte (Cuadro 2), se obtuvieron diferencias altamente significativas, en lo que sobresalió el tercer corte con 68.43 kg de frutos frescos. Los rendimientos más bajos fueron para el primer corte (Corte 1) y para el ultimo corte (corte 6), aunque los cortes 4 y 5 le siguieron en importancia al corte 3.

Cuadro 2. Peso total de frutos frescos por corte.

Numero de corte	Peso de frutos frescos kg
3	68.43 A
5	55.40 B
4	53.71 B
2	43.30 C
6	33.91 D
1	5.52 E

DM =7.27, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los rendimientos totales obtenidos para los dos tratamientos de fertilización, independientemente del genotipo, el análisis de varianza de esta variable es altamente significativo, la tecnología sustentable T2 fue estadísticamente mejor que tecnología tradicional T1 con una diferencia de 4.234 t y un 18.22% de diferencia con el mejor rendimiento, estos



resultados coinciden con lo reportado por Rodríguez (2010), quien menciona que el mayor rendimiento se consigue cuando se aplica al suelo una fuente química completa, más una fuente de materia orgánica, más micorrizas arbusculares, además, que la biofertilización es un complemento de la fertilización química.

Cuadro 3. Peso total de frutos por tratamiento de fertilización.

Tratamiento	Rendimiento total ton/ ha frutos frescos
T2 50%	43.33 A
T1 100%	28.72 B

DMS 2399.99. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Respecto al rendimiento por genotipos y tratamientos de fertilización (Cuadro 4), los genotipos Colosus, Rio Verde, Stam y Abasolo, resultaron sobresalientes y estadísticamente superiores y significativos.

Cuadro 4. Rendimiento extrapolado con tratamientos de fertilización en genotipos de chile jalapeño.

Genotipo	Rendimiento total de frutos frescos (t/ha)
H. Colosus T2	48.88 A
H. Rio Verde T2	47.483 A
Stam J 09-4 T2	44.074 A
H. Abasolo T2	42.76 A B
Don Benito T2	34.733 B C
H. Rio Verde T1	31.716 CD
Stam J09-4 T1	30.11 CD
H. Abasolo T1	29.299 CD
H. Colosus T1	28.766 CD
Don Benito T1	23.674 D

DMS=8683.29, Tukey: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La tecnología sustentable T2 resulto sobresaliente y estadísticamente diferente a T1 con todos los genotipos a excepción de Don Benito, que también tuvo el rendimiento más bajo con T1. Tomando en



cuenta un costo de producción de \$297,190.00 y un rendimiento de 48.88 t/ha a un precio de venta promedio de \$7, 000.00 por tonelada, se tendrá un total de \$342 160.00, con una ganancia de \$44 970.00 por hectárea y una relación beneficio /costo de 1.15; si se toma el precio alto de \$15000 por tonelada, se tendrá un precio de venta de \$733 200.00 con una ganancia de \$ 436 010.00 y una relación beneficio/ costo de 2.47.

El parámetro de calidad también resulto con diferencia estadística significativa en la variable peso de fruto (Cuadro 5) a favor de la tecnología sustentable T2 con un peso promedio por fruto de 46.90 g, con una diferencia contra T1 de 5.20 g lo que representa el 11.08% a favor de tecnología sustentable. En este sentido, ambos tratamientos rebasaron el índice de calidad de 35 g por fruto para fruto calidad extragrande, de acuerdo con lo establecido por la NMX-FF-025-SCFI-2007.

Cuadro 5. Peso promedio de frutos con tratamientos de fertilización.

Tratamiento	Peso por fruto (g)
T2 50%	46.90 A
T1 100%	41.70 B

DMS= 1.05, Tukey: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Respecto a los genotipos evaluados (Cuadro 6), la mejor calidad la tuvieron los híbridos Colosus y Abasolo con diferencias altamente significativas mostrándose superiores en cuanto a esta variable tanto con T1 como con T2; Don Benito resulto el más bajo con ambas tecnologías. La variedad Stam tuvo un comportamiento intermedio. A excepción de Don Benito con 23.44 g por fruto en T2 y 20.93 g en T1, los demás genotipos tuvieron valores que rebasan el índice de calidad de 35 g por fruto lo que los clasifica como de calidad Extra grande de acuerdo a la NMX-FF-025-SCFI-2007.

Cuadro 6. Peso por fruto en genotipos chile jalapeño con tratamientos de fertilización.

Genotipos	Peso por fruto (g)
H. Colosus T2	57.98 A
H. Abasolo T2	55.36 A
Stam J09-4 F2	51.16 B
Stam J09-4 F1	48.90 B C
H. Rio Verde T2	48.84 B C



Genotipos	Peso por fruto (g)
H. Abasolo T1	47.00 C
H. Colosus T1	46.76 C
H. Rio Verde T1	42.65 D
Don Benito T2	23.44 E
Don Benito T1	20.93 E

DMS= 3.80, Tukey: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

La variable longitud de fruto por tratamientos de fertilización (Cuadro 7) muestra respuesta con diferencias altamente significativas entre los tratamientos de fertilización evaluados, mostrándose superior el tratamiento T2 de fertilización sustentable lo que de forma clara indica las ventajas de esta sobre la tradicional ya que muestra unas diferencias de 1.08 cm y un 12.96% de diferencia.

Cuadro 7. Longitud promedio de frutos con los dos tratamientos de fertilización evaluados.

Tratamiento	Longitud de frutos (cm)
T2 50%	8.33 A
T1 100%	7.25 B

DMS=0.11, Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

En cuanto a la respuesta por genotipos (Cuadro 8), sobresalieron los híbridos Rio Verde, Abasolo y Colosus, los cuales de igual manera sobresalieron en peso de frutos, indicador del gran potencial de estos genotipos para su cultivo en invernadero con tecnología sustentable, con lo que se reafirma el potencial de esta tecnología si reducción en los rendimientos y calidad de frutos.

Cuadro 8. Longitud promedio en genotipos de chile jalapeño con tratamientos de fertilización.

Tratamiento	Longitud de frutos (cm)
H. Rio Verde T2	9.20 A
H. Abasolo T2	9.12 A
H. Colosus T2	8.98 A
H. Abasolo T1	7.75 B
Stam J09-4 T1	7.61 B



Tratamiento	Longitud de frutos (cm)
Stam J09-4 T2	7.57 B
H. Colosus T1	7.51 B
H. Rio Verde T1	7.39 B
Don Benito T2	6.78 C
Don Benito T1	5.99 D

DMS: 0.39, Tukey: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Conclusiones

1. La tecnología sustentable en que se aplicó el 50% de fertilizante químico recomendado en la tecnología tradicional, combinado con bocashi y los biofertilizantes *Trichoderma* sp y *Rhizophagus* sp, fue mejor que la fertilización tradicional (160-80-120, N-P₂O₅-K₂O), para los 5 genotipos de chile jalapeño evaluados con diferencias estadísticas altamente significativas.
2. Los híbridos Colosus y Rio Verde junto con la variedad Stam, sobresalieron en rendimiento de frutos frescos, tanto con tecnología tradicional T1 como con la tecnología sustentable T2.
3. Los híbridos Abasolo, Colosus y Rio Verde resultaron superiores al resto de los genotipos en cuanto a calidad de fruto, con los parámetros longitud y peso de fruto en ambas tecnologías.
4. A un precio de venta de \$15 000.00 la tonelada de fruto fresco, se puede obtener una ganancia de \$432 010.00 con una relación beneficio/ costo de 2.47.
5. La tecnología sustentable presenta ventajas considerables al productor y al medioambiente, con el uso de insumos ecológicos como el bioabono bocashi y los Biofertilizantes *Trichoderma* sp y *Rhizophagus* sp, además de incrementar rendimiento y calidad de frutos.

Literatura Citada

Aguirre, M.J.F., Irisar G.M.B., Duran P.A., Grajeda C.O.A., Del Rio P. Ma. De Los A., Loredó O.C, Gutiérrez B.A. 2010. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México. 68 p.



Bastida, T. 2017. Evolución y situación actual de la agricultura protegida en México. Sexto congreso internacional de investigación en ciencias básicas y agronómicas. 21-22 septiembre de 2017. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco-México.

CONAPROCH AC. 2012. Plan Rector Comité Nacional Sistema Producto Chile. México. 80 p.

Duran, P.A., Vásquez H.A., Meneses M.I., Zetina L.R. 2013. Tecnología para la producción de tomate de invernadero con biofertilizantes microbianos en el centro de Veracruz. INIFAP. Desplegable para productores No. 51. mayo de 2013. México.

Duran, P.A., Vásquez H.A., Zetina L.R., Meneses M.I. 2015. Producción de abonos orgánicos y aplicación de biofertilizantes en hortalizas en ambiente protegido. INIFAP, México. 92 p.

FIRA .2019. Costos de producción 2020-2021/ Chile jalapeño. <https://panorama-agro.com>. Consultado el 28 julio de 2023

García, A. J.A; Arreola D.N., Servín T.A.Y., Díaz S. L.E., Morales F. S. y Angel H. A. 2021. Evaluación de inoculante de bacterias benéficas y micorrizas en cultivo de chile jalapeño. Ciencia e innovación agroalimentaria de la universidad de Guanajuato. Vol. 3, Núm. 1 (2021), pp. 49-58.

Garnica, V. A. y Esparza R. S. 2016. Trichoderma: Un hongo biofertilizante. <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/267-numero-31/482-trichoderma-un-hongo-biofertilizante.html>. Consultado el 9 de julio de 2023.

INTAGRI. 2023. Los Biofertilizantes en la Agricultura. <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/biofertilizantes-en-agricultura>

Macías-Rodríguez, H., Muñoz-Villalobos, J.A., Velásquez-Valle, M.A., Potisek-Talavera, M.C., Villa-Castorena, M.M. 2013). Chile Habanero: Descripción de su cultivo en la península de Yucatán. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 12: 37-43.



NMX-FF-025-SCFI-2007. Productos Alimenticios no Industrializados Para Consumo Humano - Chile FRESCO (*Capsicum* spp.) – Especificaciones. México. 25 p

Rodríguez, A. E.A., Bolaños B. M.M., y Juan Carlos Menjivar F. J.C. 2010. Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum* spp.) en el valle del Cauca, Colombia. Acta Agron. vol.59 no.1 Palmira Jan. /Mar. 2010.

SAGARPA. 2017. Chiles y Pimientos Mexicanos. Planeación Agrícola Nacional. 2017-2030. México. 28 p.

Russo, V.M. 2012. Peppers: Botany, Production and Uses. Oklahoma U.S.A. CABI. 15-16 pp.

Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP). Producción Agrícola 2019. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> Consultado 9 de julio de 2023.

Symborg. 2023. Que son las micorrizas? <https://symborg.com/es/que-son-las-micorrizas/>. Consultado el 9 de julio de 2023

Vásquez, H.A., Cabrera M.H., Meneses M.I., Duran P.H., Andres G.A. 2018. Producción ecológica de pepino (*Cucumis sativus*) en sistema protegido tipo invernadero tropical. 517.526 pp En: Vinay, V. J. C., V. A. Esqueda E., O. H. Tosquy V., R. Zetina L., A. Ríos U., M. V. Vázquez H., A. L. Del Angel P. y C. Perdomo M. (comps.). 2018. Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México. Año 2, Núm. 1, 1849 p.



AVANCES DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA CALABAZA CHIHUA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) EN QUINTANA ROO, MÉXICO

José Ángel García Sandoval^{141*} e Isaac Meneses Márquez¹⁴²

Resumen

En Quintana Roo, el uso común de semilla criolla y, en muchos de los casos, de origen desconocido, dan evidencia de la falta de material mejorado de calabaza tipo chihua. El objetivo fue conocer el avance generacional del desarrollo de material mejorado de calabaza chihua con alto potencial productivo para la entidad. El proyecto inició con 60 FMHM de calabaza tipo chihua procedente del INIFAP-Veracruz. El ciclo de selección fue establecido en el Campo Experimental Chetumal, ubicado en el municipio de Othón P. Blanco, durante el ciclo primavera-verano 2022. La siembra fue el 7 de julio de 2022, en forma directa y depositando dos semillas por punto, distanciados a 1.5 m entre plantas y 3.0 entre hileras y cada familia ocupó un surco de 9 metros de largo con 7 plantas. Con base en la selección familiar combinada, se hicieron todos los registros de fruto y semilla a los cuales, se aplicó la presión de selección de 33% y 10% entre y dentro de familias en forma respectiva. Las variables medidas fueron: rendimiento de semilla seca, rendimiento de frutos, frutos por hectárea, peso de 100 semillas, frutos por planta, peso por fruto y semilla seca por fruto. Los resultados obtenidos se analizaron mediante media aritmética y porcentaje. El nuevo grupo de familias mejoró el rendimiento de semilla por hectárea en 44%, 17% el peso de 100 semillas y 33% el peso de semilla seca por fruto que representan los componentes base del rendimiento de semilla seca, que es el distintivo comercial de esta especie. Al analizar las variables por separado está implícita la pérdida de material valioso, sin embargo; permitió clasificar nuestro recurso genético por su mayor potencial y futuro aprovechamiento. Tomando en cuenta los criterios de selección en planta, fruto y semilla fue posible identificar un subgrupo de líneas con atributos superiores en los componentes evaluados, quedando para mayor seguimiento, las familias con menciones en el 57%, 71% y 86% de los caracteres.

¹⁴¹ Investigador del INIFAP. Campo Experimental Chetumal. *Autor por correspondencia: garcia.angel@inifap.gob.mx

¹⁴² Investigador del INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla.



Palabras clave: Selección combinada, familias, chihua

Introducción

México es un importante centro de origen, domesticación y diversificación del cultivo de calabaza (*Cucurbita* spp.), (Acevedo, 2009). El género consta de un total de 20 especies o subespecies, en el país se cultivan variedades de cuatro de las cinco especies domesticadas en Mesoamérica: *Cucurbita pepo* L., *C. moschata* Duch Ex Lam, *C. argyrosperma* Huber y *C. ficifolia* Bouché (Lira-Saade, 1995).

En nuestro país un mercado importante de la calabaza es la producción de semilla o pepita, reportando una superficie de siembra arriba de las 48 mil hectáreas y un volumen de producción que supera las 26 mil toneladas anuales (SIAP, 2022). Los estados de la península de Yucatán siembran alrededor de 18 mil hectáreas que representan el 37% de la superficie nacional que reporta la calabaza para pepita, donde Campeche lidera este cultivo con más de 15 mil hectáreas. En Quintana Roo, la calabaza chihua comenzó en el año 2013; es decir, lleva diez años de cultivo, donde la superficie de siembra en el 2022 fueron 2,158 ha, volumen de producción de 1,580 toneladas y rendimiento promedio de 790 kilogramos por hectárea (SIAP, 2022).

En la poca historia que ha forjado este cultivo en la entidad, ya es manifiesta la necesidad de ajustar algunos de los componentes tecnológicos, pues la brecha productiva que reportan los productores varía desde 0.2 hasta 1.0 t/ ha. Asimismo, se ha evidenciado la falta de materiales mejorados de esta especie en particular, generalizando el uso de semilla criolla de origen desconocido, pues los comercializadores proporcionan semilla a los productores.

El mercado atraso en la generación de genotipos mejorados de *C. argyrosperma* con la cantidad y calidad para competir con las demás especies ya posicionadas en el mercado nacional, presiona para que institutos de investigación como el INIFAP consoliden un programa nacional de mejoramiento genético de esta especie, mediante las técnicas de selección más efectivas garanticen la generación de variedades e híbridos para hacer más competitivo el cultivo, particularmente en el trópico de México.

En el presente trabajo se da a conocer el avance generacional en el desarrollo de un material mejorado de calabaza chihua con alto potencial productivo e industrial para la región productora de pepita en Quintana Roo.



Materiales y Métodos

Las actividades del proyecto comenzaron en el ciclo P-V 2021 con 60 familias de medios hermanos maternos (FMHM) de calabaza tipo chihua procedente del INIFAP-Veracruz, específicamente del Campo Experimental Cotaxtla. El ciclo de avance generacional que se reporta fue establecido en el Campo Experimental Chetumal, que se ubica en el municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, durante el ciclo primavera-verano 2022 y bajo condiciones de riego. El experimento consto de 60 líneas producto del primer ciclo de avance generación bajo las condiciones agroecológicas de la entidad. La siembra fue el 7 de julio de 2022, en forma directa y depositando dos semillas por punto, distanciados a 1.5 m entre plantas y 3.0 m entre hileras. Cabe indicar que el riego se utilizó únicamente para el establecimiento del experimento, ya que después de germinar la distribución de la precipitación en el temporal de lluvias fue regular y cubrió los requerimientos de humedad que demandó el cultivo durante su ciclo ontogénico. Para el manejo de las líneas desde el punto de vista agronómico, nutricional y fitosanitario, se dio seguimiento al paquete tecnológico que sugiere el INIFAP en la entidad. Cada familia ocupó un surco de 9 metros de largo con 7 plantas, aunque algunas familias tuvieron problemas de germinación y fueron descartadas por baja población. Una vez que se realizaron todos los registros de planta, fruto y semilla con base en la selección combinada entre y dentro de familias (Meneses *et al.* 2022), se aplicó la presión de selección de 33% entre familias y el 10% dentro de familias y, de esta manera, tal y como está proyectado, restituir la población de 60 familias para el siguiente ciclo de selección del proyecto. Las variables medidas fueron: rendimiento de semilla seca (kg/ha), rendimiento de frutos (t/ha), frutos por hectárea (n°), peso de 100 semillas (g), frutos por planta (n°), peso por fruto (kg) y semilla seca por fruto (g). Los resultados obtenidos se analizaron mediante media aritmética y porcentaje.

Resultados y Discusión

Rendimiento de semilla seca. Como se comentaba anteriormente esta variable es la más importante para el productor, ya que finalmente es la parte que aprecia el mercado como materia prima, para obtener los distintos productos y subproductos que comercializa. El grupo de líneas al segundo ciclo de selección, bajo las condiciones ambientales y de manejo en Quintana Roo, promediaron 475 kg/ha



fluctuando desde 100 hasta 1,060 kg/ha. Este potencial superó y a la vez quedó muy abajo con los 350 y 929 kg/ha reportados por García y Villalobos (2018 y 2019) al evaluar material genético de chihua procedente de la península de Yucatán durante dos años; atribuyendo la diferencia en el rendimiento a la cantidad de precipitación que recibió el cultivo durante el periodo reproductivo en ambos años. Bajo la presión de selección propuesta, el número de líneas se redujo de 60 a las mejores 20, las cuales se pueden ver en la Figura 1, notándose que este nuevo grupo mejoró sustantivamente el promedio de rendimiento a 681.67 kg/ha; es decir, 44%. Cabe señalar que las líneas que conformaran el siguiente ciclo de mejoramiento mantiene una importante brecha productiva, ya que varía de 500 a 1,060 kg/ha y son de resaltar para seguimiento al subgrupo que supera la media como son: F-50-2, F-15-2, F-50-3, F-52-3, F-59-1, F-58-1 y F-11-3.

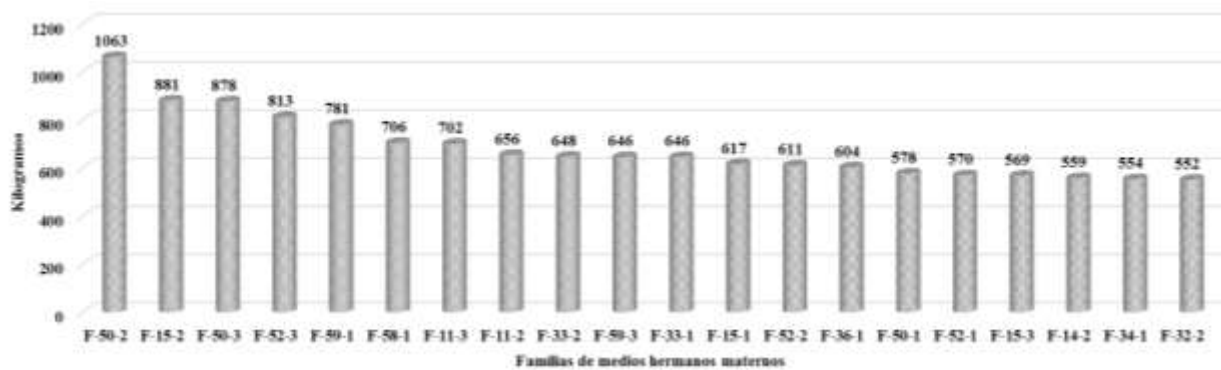


Figura 1. Rendimiento de semilla seca (kg) por hectárea que lograron las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.

El peso de 100 semillas. Como el valor de la calabaza chihua radica en la semilla y el pago es por peso seco de la misma, lo que significa que es un componente base del rendimiento y, por ende, primordial en la mejora de este cultivo, tal y como lo considera Meneses *et al.* (2022) en su trabajo sobre la selección familiar combinada para rendimiento y calidad de semilla en calabaza pipiana. Las líneas evaluadas obtuvieron como promedio general 28.66 g; es decir, 0.28 g/semilla. Al realizar el análisis de la información generada y aplicada, la presión de selección entre familias (33%), el grupo se redujo a las 20 mejores líneas, las cuales promediaron 33.30 g, es decir, las líneas para el siguiente ciclo de mejora incrementarán en 17% el peso, pero se mantiene importante variabilidad, pues los valores fluctúan de 31 a 36.5 g (Figura 2). Tomando en cuenta esta última media podemos separar y dar



seguimiento al subgrupo de líneas con mayor potencial: F-31-1, F-33-2, F-36-1, F-32-2, F-33-3, F-50-3, F-14-3.

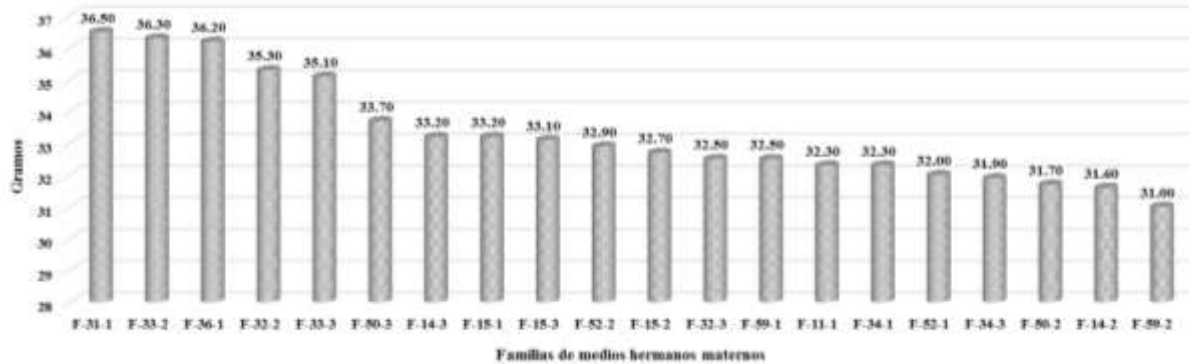


Figura 2. Peso de 100 semillas secas que alcanzaron las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.

Semilla por fruto. La cantidad de semilla del fruto mantiene una asociación positiva con el tamaño de fruto, ya que a mayor tamaño o peso se obtiene mayor cantidad de semilla y viceversa, tal y como lo consignan García y Villalobos (2021) en su trabajo sobre el efecto del tamaño de fruto en caracteres métricos de la semilla de calabaza chihua. Este componente promedió 54.25 g por fruto en el segundo ciclo de avance generacional. En la Figura 3 se aprecian las líneas, resultado de la presión de selección (33%), que avanzarán en el proceso de mejoramiento genético de chihua, mismas que incrementan en 33% con relación al grupo general. Considerando la media al igual que en las otras variables, se pudo conformar para mayor seguimiento al subgrupo mejor posicionado o con mayor potencial en la producción de semilla por fruto: F-50-2, F-59-1, F-59-2, F-50-3, F-58-1, F-15-3 y F-33-1.

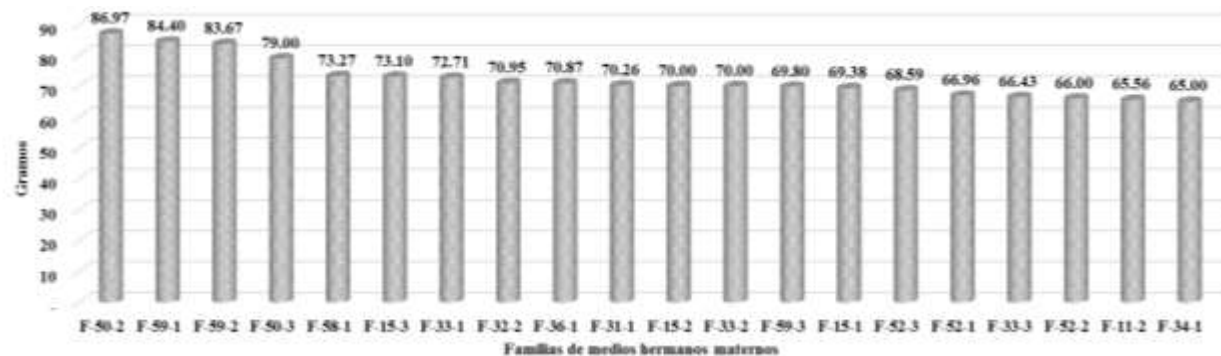


Figura 3. Semilla seca por fruto (g) que tienen las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.



Frutos por planta. Variable de gran peso en el rendimiento de la chihua, la cual en el ciclo de avance que se reporta presentó una media general 3.5 frutos/planta, valor alto si tomamos en cuenta los 2.57 frutos promedio por planta que reportaron García y Villalobos (2018) en su trabajo de evaluación productiva de la diversidad genética de la calabaza chihua de la península de Yucatán, México. La presión de selección aplicada a las 60 líneas evaluadas arrojó las 20 mejores, mismas que mejoraron en 27% el componente para el siguiente ciclo de mejora (Figura 4). Al tomar esta media como referencia es posible separar y dar una atención más puntual al subgrupo con mayor potencial: F-15-2, F-14-1, F-11-3, F-60-2, F-34-2, F-19-3, F-50-1, F-50-2, F-52-3.

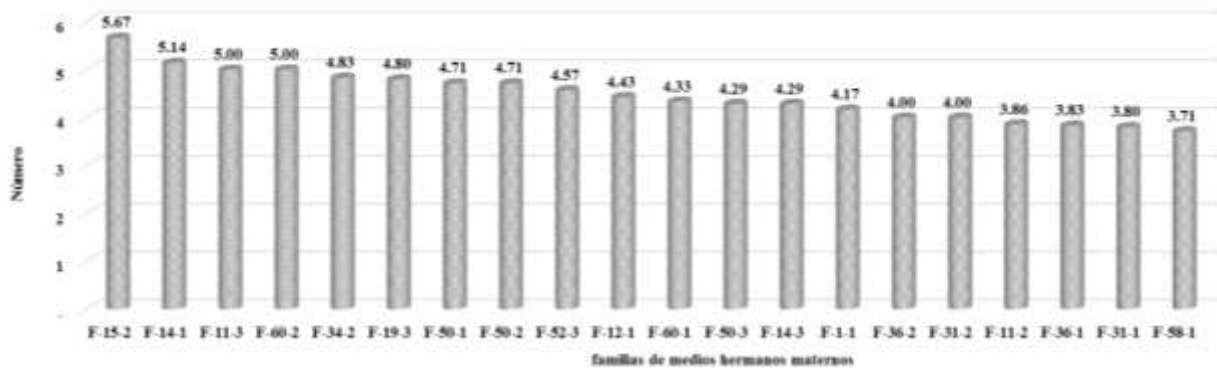


Figura 4. Frutos por planta que lograron las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.

Frutos por hectárea. Otra variable ligada estrechamente con el rendimiento del cultivo. En esta ocasión la cantidad de frutos promedio de todas las líneas establecidas llegó casi a 6,000, con un margen de 3,500 hasta 13,500 frutos. Sometiendo la información generada a la presión de selección estipulada en el proyecto (33%), las líneas mejor ubicadas se presentan en la Figura 5.

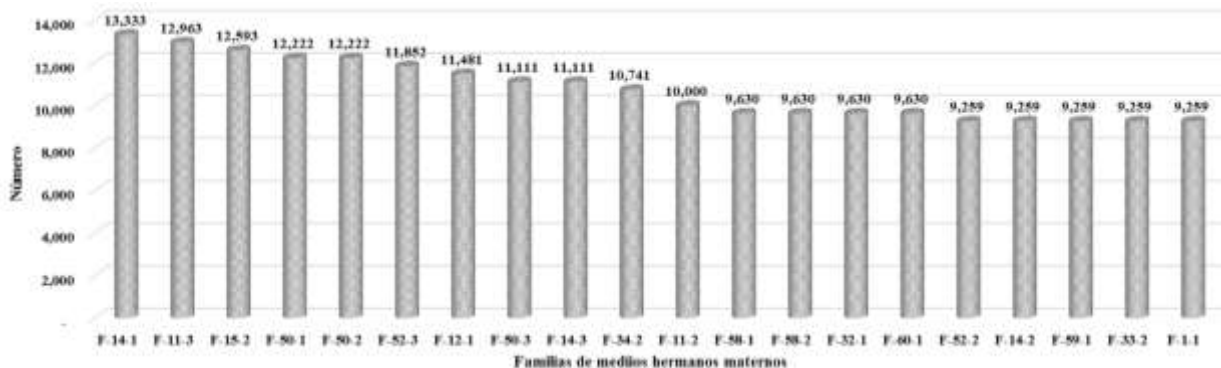


Figura 5. Cantidad de frutos por hectárea que lograron las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.



Este grupo que seguirá el proceso de mejora estrechó el margen entre las líneas y elevó en 25% la cantidad de frutos. Las líneas F-14-1, F-11-3, F-15-2, F-50-1, F-50-2, F-52-3, F-12-1, F-50-3, F-14-3 y F-34-2 cuyo potencial productivo sobrepasa la nueva media tendrán un seguimiento muy específico.

Peso por fruto. Los materiales evaluados promediaron 2.13 kg/fruto, variando de 1.10 a 3.25 kg. El grupo de líneas que produjeron frutos grandes y más pesados como se muestran en la Figura 6, presentan una mejora en el peso del fruto arriba del 21%. Tomando en cuenta la media de este grupo se conformó un subgrupo con aquellos materiales que superaron este valor, mismos que recibirán seguimiento muy particular: F-30-2, F-34-1, F-59-1, F-33-2, F-32-2, F-13-3, F-33-3.

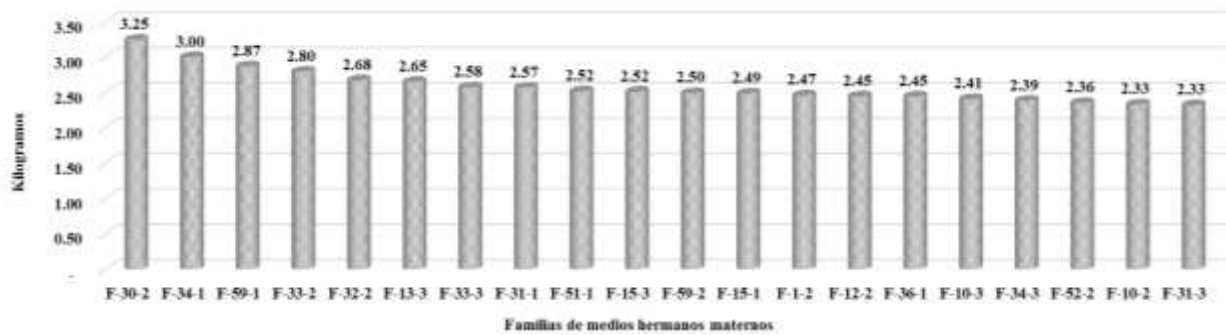


Figura 6. Peso promedio por fruto (kg) que lograron las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.

Rendimiento de frutos. La variable tuvo una media general 18.11 t/ha, fluctuando desde 6.9 hasta 26.6 t/ha. Sometiendo los resultados a la presión de selección prevista de 33%, el grupo inicial se redujo a los 20 materiales cuya producción sobresale al resto de líneas, las cuales se pueden apreciar en la Figura 7.

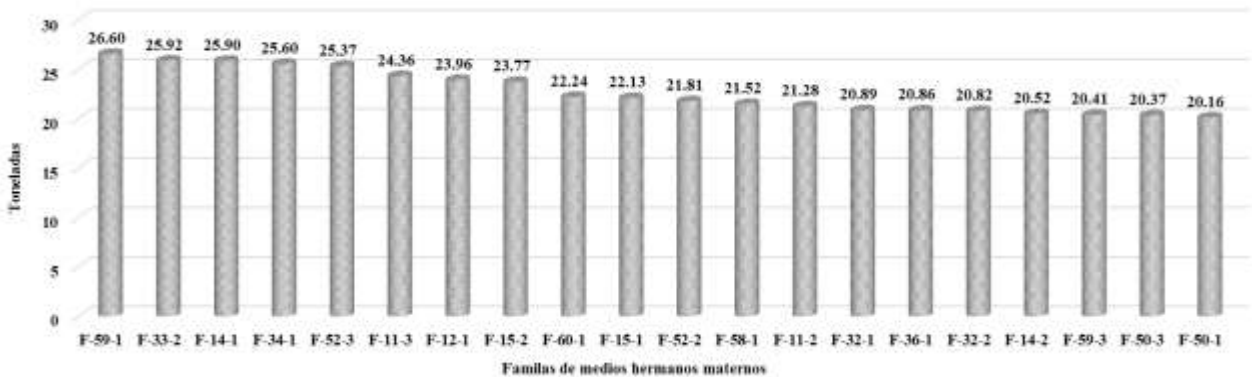


Figura 7. Rendimiento de frutos por hectárea (t ha-1) de las líneas de calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo. Campo Experimental Chetumal.



Este grupo que continuará el proceso de mejoramiento creció casi 26% la media y la ubicó en 22.73 t/ha, por lo que posibilita reducir el grupo y dar seguimiento a las líneas que rebasaron el promedio tales como: F-59-1, F-33-2, F-14-1, F-34-1, F-52-3, F-11-3, F-12-1, F-15-2.

Importante hacer hincapié que cuando la discriminación o selección de líneas en mejoramiento son producto de un solo criterio, como es el caso de las siete variables señaladas en este ciclo de avance, está implícito el riesgo de perder material valioso con otras características industriales de importancia. Un ejemplo de esto son las líneas del subgrupo con mayor capacidad productiva de semilla seca por hectárea donde predominó la forma de fruto pera o semipera, forma que al parecer, según los datos registrados en este ciclo, es más productiva que la otras, aunque difieren a lo reportado por García y Dzul (2017) que en un trabajo de caracterización fenotípica y productiva de la calabaza chihua en Quintana Roo encontraron a las formas aplanada y redonda con mayor producción de semilla/fruto que la forma pera. En este sentido, los productores de la entidad se decantan por la forma redonda y/o aplanada, situación que se extiende a otras variables relacionadas con la forma y tamaño de la semilla. Otro ejemplo a considerar es lo que consigna Meneses *et al.* (2022) que, si la selección se guía por una característica, en este caso peso de fruto menor de un kilogramo de una familia en mejoramiento, quedaría descartada para seguir el proceso de selección sin embargo; resaltan la importancia de tener un carácter de mayor interés como lo es la semilla (mayor peso o llenado) en pipiana, por lo que esta familia con un peso de 100 semillas de 35.9 g se revalorizó y quedó situada entre el 50% de las familias que continúan su mejoramiento.

El fitomejorador sabe lo complicado que resulta encontrar una línea que reúna todos los atributos que se buscan para mejorar la producción y calidad en un cultivo, por lo tanto, recurre a todas las estrategias posibles (métodos de mejoramiento, ingeniería molecular, herramientas estadísticas, etc.) para identificar la mejor selección y responder a las exigencias de los productores, mercados y consumidores. La información generada bajo un criterio no es la excepción, ya que es de mucha utilidad y da la oportunidad de clasificar el material por su mayor atributo y en su momento, aprovechar este potencial para la mejora de la población o bien formación de líneas especializadas. Tener esta información de cada material y complementarla con estudios de correlación fenotípica, genética o ambiental también permite hacer la selección de manera indirecta, ya que la mayoría de las variables, por naturaleza, se encuentran correlacionadas positiva o negativamente entre ellas, tal y como lo menciona Espitia *et al.* (2005) donde, además; concluyen que el peso promedio/fruto y el número de frutos/planta se pueden usar como criterios de selección en el mejoramiento genético de *C.*



moschata para la obtención de cultivares de alto rendimiento. En este análisis se detectó algo que ya se esperaba, que las líneas cambian con el criterio de selección utilizado, por lo tanto, se hizo un ejercicio sencillo para detectar aquellos materiales sobresalientes o que más se repiten entre el grupo de variables del rendimiento y de esta manera tener más elementos en la selección de las familias que deban continuar el proceso. Los resultados se distinguen en la Figura 8 y se puede apreciar el grupo de líneas sobresalientes en el mayor número de caracteres considerados para discriminar, destacando a los subgrupos con 4 (57%), 5 (71%) y 6 (86%) repeticiones.

Las características del fruto y semilla de este subgrupo se muestran en el Cuadro 1, donde se puede destacar cuatro formas de fruto, frutos grandes y pesados, alta producción de semilla seca por fruto, materiales con peso de 100 semillas que rebasan los 40 g, entre otras características a subrayar.

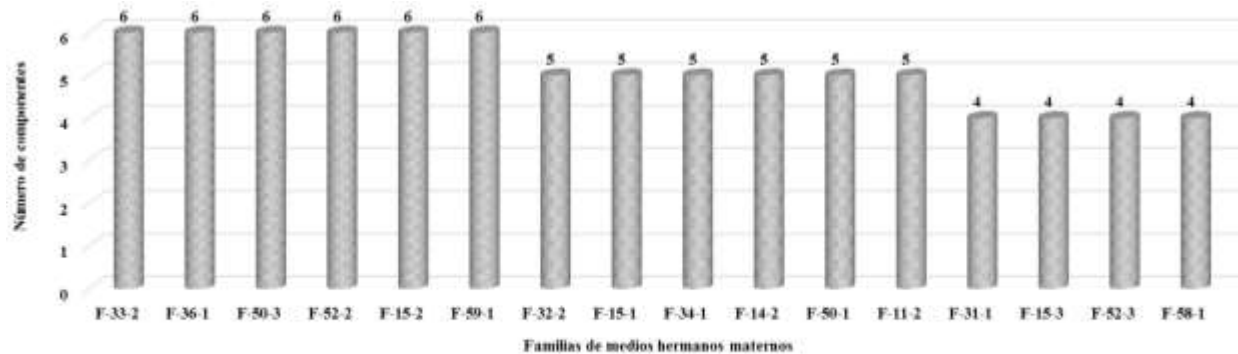


Figura 8. Líneas con atributos sobresalientes en más componentes del rendimiento de la calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo.

Figura 8. Líneas con atributos sobresalientes en más componentes del rendimiento de la calabaza chihua en el segundo ciclo de avance genético en Quintana Roo.

Cuadro 1. Características fenotípicas de fruto y semilla de las líneas de calabaza chihua con mayores atributos para seguir el proceso de mejoramiento genético en el estado de Quintana Roo. C. E. Chetumal. Junio 2023

Familia	FF	PF (kg)	DL (cm)	DT (cm)	PSS (g)	P100S (g)	DS (cm)	LS (cm)	GS (cm)	GDE (dl/dt)
F-52-2	R	2.67	17.00	20.00	126.67	36.40	1.50	2.84	0.39	0.85
F-33-2	R	2.63	16.67	19.17	100.00	32.47	1.45	2.80	0.36	0.87
F-15-2	P	2.56	26.17	18.17	105.00	46.23	1.71	2.92	0.45	1.44
F-15-3	P	3.07	25.67	20.67	108.33	35.90	1.71	3.23	0.37	1.25



Familia	FF	PF (kg)	DL (cm)	DT (cm)	PSS (g)	P100S (g)	DS (cm)	LS (cm)	GS (cm)	GDE (dl/dt)
F-36-1	P	2.84	26.50	18.33	38.00	23.10	1.73	2.91	0.33	1.45
F-34-1	R	3.72	21.50	21.50	101.67	32.07	1.88	3.25	0.39	1.00
F-31-1	P	3.26	26.17	18.67	133.33	47.90	1.53	3.12	0.42	1.40
F-50-3	P	2.68	20.67	18.67	118.33	41.30	1.55	3.00	0.40	1.11
F-59-1	SP	2.61	18.33	20.33	131.67	37.30	1.59	2.91	0.40	0.90
F-58-1	SP	3.05	18.00	20.27	155.00	41.33	1.67	2.84	0.40	0.89
F-52-3	R	3.72	19.50	22.33	135.00	38.27	1.50	2.92	0.41	0.87
F-14-2	SP	2.09	18.00	18.67	85.00	37.40	1.69	2.75	0.36	0.97
F-15-1	SP	2.71	19.33	19.83	100.00	42.70	1.61	3.05	0.38	0.97
F-50-1	SP	2.39	15.67	20.00	85.00	29.80	1.38	2.92	0.34	0.79
F-32-2	A	3.12	15.17	22.17	116.67	39.27	1.65	2.93	0.41	0.68
F-11-2	P	2.58	18.67	19.83	108.33	36.07	1.59	2.89	0.40	0.94

Forma de fruto=FF, Peso de fruto=PF, Diámetro longitudinal=DL, Diámetro transversal=DT, Peso de semilla seca=PSS, Peso de 100 semillas=P100S, Diámetro promedio por semilla=DS, Longitud promedio por semilla=LS, Grosor promedio por semilla=GS, Grado de esfericidad=GDE, Forma redonda=R, Forma pera=P, Forma semípera=SP, Forma aplanada=A.

Conclusiones

1. Las familias de medios hermanos maternos seleccionadas para continuar el proceso de mejoramiento genético incrementaron en 44% la cantidad de semilla seca por hectárea, 17% el peso de 100 semilla y 33% la semilla seca por futo, componentes principales del rendimiento de la calabaza chihua. Además, fue posible identificar o clasificar las familias por su mayor atributo.
2. Se identificó un subgrupo de 16 familias con características sobresalientes en la mayoría de los componentes del rendimiento, en este caso de semilla seca, que es el distintivo que identifica y da valor comercial a la calabaza chihua.



Agradecimientos

La información fue generada en el proyecto “Obtención de genotipos de calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma*) con alto potencial de rendimiento y calidad de semilla para la región tropical de México” financiado por el INIFAP.

Literatura Citada

- Acevedo, G. F. 2009. La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío, en capital natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, México. II: 319-353.
- Espitia, C. M., Vallejo C. F. A. y Baena G. D. 2005. Correlaciones fenotípicas, genéticas y ambientales en *Cucurbita moschata* Duch. Ex Poir. Acta Agronómica, vol. 54, núm. 1, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169920336001>.
- García, S. J. A. y Dzul U. D. 2017. Caracterización fenotípica y productiva de la calabaza chigua (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *argyrosperma*) en Quintana Roo. Memorias. Seguridad alimentaria: Aportaciones agrotecnológicas y científicas. Villahermosa, Tabasco, México. pp 109-112.
- García, S. J. A. y Villalobos G. A. 2021. Efecto del tamaño del fruto en algunos caracteres métricos de la calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) colectada en la península de Yucatán, México. LVI Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Ciudad de México, 8-10 de noviembre de 2021. pp 420-422.



García, S. J. A. y Villalobos G. A. 2018. Evaluación productiva de la diversidad genética de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber var. *argyrosperma*) en la península de Yucatán. Memorias. Investigaciones científicas y agrotecnológicas para la seguridad alimentaria. UJAT. Villahermosa, Tabasco, México. pp 52-67.

García, S. J. A y Villalobos G. A. 2019. Rendimiento y calidad de frutos y semilla seca en poblaciones de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) procedentes de la Península de Yucatán, México. Memorias de X Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Año 1. Volumen 1. Chiapas, México. pp 503-505.

Lira, S. R. 1995. Estudios Taxonómicos y Eco geográficos de las Cucurbitáceas Latinoamericanas de Importancia Económica. UNAM. Instituto de Biología. IPGRI. D. F., México. 281 p.

Meneses, M. I., Vásquez H. A. y Gómez A. 2022. Selección familiar combinada en calabaza pipiana para rendimiento y calidad de fruto y semilla. Investigaciones científicas y tecnológicas para la seguridad alimentaria Veracruz. 280-289.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022. <http://www.siap.gob.mx/> (consultado el 26 de junio de 2023).



EVALUACIÓN DE BIOINSUMOS PARA MANEJAR LA MUERTE DE ÁRBOLES DE *Citrus sinensis* L. Osbeck EN VERACRUZ

Manuel Ángel Gómez Cruz^{143*}, Laura Gómez Tovar¹⁴³, José Alberto Barrera González¹⁴³, Luis Enrique Ortiz Martínez¹⁴⁴
y Ana Elizabeth Maldonado Adauta¹⁴³

Resumen

La producción de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en el norte de Veracruz, ha disminuido considerablemente por la enfermedad denominada “amarillamiento de los cítricos” a partir de 2020. La industria estima una disminución del 50% de producción. Hay enfermedades que afectan la región como HLB, VTC, clorosis variegada, muerte descendente, gomosis, antracnosis, exocortis, cachexia, psorosis, entre otras, y en los últimos 36 meses hay un fuerte amarillamiento en las ramas de los árboles, que se acompaña de secado descendente de las ramas, hojas terminales alargadas, achicamiento y deformidad de la fruta, sabor insípido y/o ácido, y nula brotación que terminan por causar la muerte del árbol. En la costa, municipios de Papantla, Cazonas y Tecolutla 70% de los naranjales están muertos o con sólo 20% de su producción normal. En 2022 se realizó un experimento utilizando 8 tratamientos agroecológicos. La aplicación de la gota homeopática AN-CITRICOS dio excelentes resultados (Gómez *et al.*, 2023). En 2023 se inició un nuevo experimento, repitiendo la evaluación de la homeopatía. Los biopreparados evaluados fueron: (1) gota homeopática amarillamiento + gota homeopática varias enfermedades 200cc (AN-CITRICOS+ PROMOT -C), (2) Agua de vidrio, (3) EM+biofertilizante Magro, (4) Agua de vidrio+Silicio, (5) MM+ Silicio, (6) Ácidos húmicos/fúlvicos/huminas+aminoácidos, (7) gota homeopática amarillamiento 200cc (AN-CITRICOS), (8) Optifert® amino, (9) BacilluZn® , (10) BacilluZn® + Optifert® amino, (11) gota homeopática varias enfermedades 200cc (PROMOT-C), (12) Optifert® amino+ácidos húmicos/fúlvicos/huminas, (13) Virablock® 3G50 y el Testigo (14). Las variables evaluadas fueron ramas secas, brotes amarillos, hojas pequeñas y longitud de brotes. Los tratamientos (1) AN-CITRICOS+PROMOT-C (200cc), (13) Virablock® 3G50, (10) BacilluZn® + Optifert® amino y (4) agua de vidrio+Silicio redujeron el porcentaje de hojas pequeñas, brotes amarillos y ramas secas con

¹⁴³ CIIDRI-Universidad Autónoma Chapingo. *Autor por correspondencia: *magomezcruz@live.com

¹⁴⁴ CIIDRI-Colegio de Posgraduados



respecto al testigo enfermo. AN-CITRICOS+PROMOT-C (200cc) logró reducir el 97% de ramas secas y 94% hojas pequeñas en plantas enfermas. En costos, la gota homeopática combinada (1) AN-CITRICOS+PROMOT -C (200cc), y (2) el agua de vidrio fue más económicos.

Palabras clave: nueva enfermedad, cítricos, bioinsumos, agrohomeopatía

Introducción

El cultivo de los cítricos, es uno de los más importantes a nivel mundial, se distribuye en las regiones tropicales y subtropicales de más de 140 países. Este cultivo tiene una producción mundial superior a los 140 millones de toneladas, los principales países productores son China, Brasil, India, Estados Unidos de América, México y España (FAO, 2020). En México, la superficie cultivada de cítricos es de 625,000 ha con 55.1% naranja, 33.4% limón y 10.5% restantes: mandarinas, toronjas, tangerinas, tangelo y lima, obteniendo un volumen de producción de 8,612,071 toneladas (SIAP, 2021). Veracruz aporta el 51% de la producción nacional de naranja y el norte de Veracruz representa el 82% de la producción Estatal (Gómez *et al.*, 2021). La incidencia de plagas y enfermedades son la principal limitante para el incremento y calidad de la producción de cítricos en el país, aunado a la confusión y/o desconocimiento de los asesores técnicos y productores sobre su sintomatología y control (De los Santos, 2013). Algunas plagas y enfermedades tales como: Pulgón (*Toxoptera* spp.), Minador (*Phyllocnistis citrella*), Ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*), *Mycosphaerella citri*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Candidatus liberibacter asiaticus*, *Citrus tristeza virus*, *Citrus psorosis virus*, *Citrus leprosis virus*, *Colletorichum gloesporoides* y *Phytophthora* spp. han ocasionado daños considerables en las huertas, disminuyendo la producción y provocando pérdidas millonarias en el sector citrícola. Recientemente una enfermedad en los cítricos ha alarmado a los productores de la región norte de Veracruz, ya que hasta ahora solo se conocen los síntomas: brotes amarillos que avanzan hasta cubrir toda la planta, hojas pequeñas, puntiagudas y con coloración amarillenta, ramas secas, frutos pequeños con cáscara dura y maduración temprana, pero no se sabe a ciencia cierta cuál sea su causa. Se especuló que pudiera ser Clorosis Variegada de los Cítricos (CVC) producida por la bacteria *Xylella fastidiosa* subsp. *Pauca* (bacteria Gram negativa que afecta principalmente a naranja dulce *Citrus sinensis* L. Osbeck), la cual afecta a ramas, hojas y frutos, mermando el vigor y el



crecimiento de los árboles, así como la producción, además de que es dispersada principalmente por insectos vectores (Cicadélidos) y por material vegetal propagativo (Antunes, 2013). Sin embargo, en un estudio reciente de una muestra de 804 árboles, el 98% resultaron positivos a *Candidatus Liberibacter asiaticus*, además menos del 5% de las plantas muestreadas fueron positivas a Clorosis Variegada de los Cítricos (CVC), 50% positivas a *Citrus tristeza virus* (CTV) variantes no agresivas y 18% variantes agresivas de CTV (Villegas, 2022), cabe mencionar que estas enfermedades conviven desde hace muchos años con los árboles de naranja en el norte de Veracruz, que son transmitidas a través de insectos vectores y por el hombre, con el uso de las herramientas no desinfectadas y por la siembra continua de árboles provenientes de viveros no certificados, siendo la razón más importante para la propagación de enfermedades. También Villegas (2022) concluye que la muerte de los árboles es causada por un conjunto de factores, como el descuido y falta de atención en las huertas, las sequías recurrentes, los efectos del huracán Grace en el 2021 y las enfermedades presentes en el norte de Veracruz.

En el 2022 se realizó un experimento con 8 tratamientos y un testigo, en la huerta orgánica “Grupo Los Gómez” en San Pablo, Papantla, Veracruz. La aplicación de la gota homeopática AN-CITRICOS, dio excelentes resultados para el manejo de la enfermedad. También el agua de vidrio (ceniza y cal en proporción 4 a 1, diluido en agua tibia) permitió recuperar las brotaciones en los árboles y reducir el amarillamiento (Gómez *et al.*, 2022; Gómez *et al.*, 2023). En virtud de ello, este año 2023 se inicia un nuevo experimento, repitiendo los nosodes homeopáticos, el agua de vidrio y otros 10 tratamientos más, con cinco aplicaciones en cada uno, con la idea de probar nuevamente estos dos insumos agroecológicos de muy bajo costo y accesibles para los pequeños productores, como es el caso del agua de vidrio, también se siguió explorando con la agrohhomeopatía, que, de dar buenos resultados, se buscaría posteriormente, que fuese fácilmente difundida con los productores. Dada la gravedad de la nueva enfermedad, esta investigación tuvo por objetivo evaluar 13 tratamientos, incluyendo la gota homeopática para disminuir los efectos de la enfermedad conocida como amarillamiento en naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck); así como los costos de cada tratamiento por hectárea.



Materiales y Métodos

El lugar en donde se desarrolló la investigación para toma de datos fue en el Ejido San Pablo, Papantla, Veracruz, coordenadas: 20°27' latitud N y 97° 11' longitud W; altitud: 220 msnm (INEGI, 2014).

La parcela donde se establecieron los tratamientos ha llevado un manejo agroecológico durante diez años, tiene una extensión de una hectárea y su rendimiento es de 15 toneladas, el suelo presenta un pH de 7.4 y es de aluvi3n. Los 3rboles est3n injertados en patr3n de naranjo agrio, con una edad de 10 a 30 a3os en un 50%, de 7 a3os en un 30%, de 5 a3os en un 15% y 5% son resiembras.

Esta parcela posee certificaci3n org3nica y presenta cuatro caracter3sticas principales en su manejo:

1. Limpieza de la huerta con desbrozadora. Esta actividad se lleva a cabo para el manejo de las arvenses, se realiza el corte de las arvenses cuando estas ya han producido semilla para conservarlas. Adem3s de esto se extrae el zacate Johnson de la huerta de manera selectiva con la ayuda de pala o azad3n.
2. Poda. Se lleva a cabo el retiro de ramas muertas, ramas no productivas o da3adas, retiro de secapalo y bejucos.
3. Nutrici3n. Se realiza la aplicaci3n de composta, la cual es mezclada con harina de rocas en una proporci3n de 2 a 1, se aplica un total de 12 kg por cada 3rbol. Aplicaci3n foliar de magro al 5% cada mes y medio. Se lleva a cabo la siembra regular de leguminosas para el mejoramiento del suelo.
4. Manejo de plagas y enfermedades. Cada mes y medio se hace la aplicaci3n foliar de Microorganismos de Monta3a (MM) y en caso de plagas se aplican v3a foliar Microorganismos Eficientes (EM) y magro para reforzar la nutrici3n. Aplicaci3n de caldo bordel3s para el manejo de gomosis (*Phytophthora* spp.) en los 3rboles. Para el manejo de la plaga de tuzas (*Geomyidae* spp.) se siembra frijol ayocote, el cual ha estado dando buenos resultados.

Los biopreparados que se evaluaron en el manejo del amarillamiento de los c3tricos se enuncian por producto y sus caracter3sticas: (1) AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc), gota homeop3tica amarillamiento + gota homeop3tica varias enfermedades 200cc (2) Agua de vidrio, fuente en Silicio y minerales que actúa como inductor de resistencia, (3) EM + Magro, mezcla de microorganismos eficientes y biofertilizante magro, (4) Agua de vidrio + Silicio, es una fuente rica en Silicio y minerales que actúan como inductor de resistencia, para el caso del Silicio se usa en polvo a 400 mallas de granulometr3a, (5) MM + Silicio, microorganismos de monta3a m3s Silicio, en polvo a 440 mallas de



granulometría, (6) Ácidos húmicos/fúlvicos/huminas + aminoácidos, se obtienen con la neutralización de Leonardita más Hidróxido de Potasio para obtener los ácidos húmicos/fúlvicos/huminas e hidrolizado de harina de pescado al 35% para aminoácidos, (7) Gota homeopática AN-CITRICOS (200cc), gota homeopática amarillamiento 200cc, (8) Optifert® amino, fuente de nutrición alta en carbohidratos y aminoácidos, (9) BacilluZn® es *Bacillus licheniformis* con actividad bactericida, (10) BacilluZn® + Optifert® amino es la mezcla del *Bacillus licheniformis* con actividad bactericida más fuente de nutrición alta en carbohidratos y aminoácidos, (11) Gota homeopática PROMOT-C (200cc), gota homeopática varias enfermedades 200cc, (12) Optifert® amino + ácidos húmicos/fúlvicos/huminas, es la mezcla de dos productos, uno es fuente de nutrición alta en carbohidratos y aminoácidos más la neutralización de Leonardita en Hidróxido de Potasio, para obtener los ácidos húmicos/fúlvicos/huminas, (13) Virablock® 3G50, es un inductor de resistencia antiviral de tercera generación con más de 50 ingredientes para la defensa sistémica y local de planta, y el Testigo (14).

Cada tratamiento consideró una muestra de 20 árboles de la variedad naranja valencia tardía en patrón naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.), de ahí se seleccionaron 4 árboles de 7 años de edad para evaluar cada tratamiento. En cada fila de los árboles seleccionados por tratamiento se le efectuaron cinco aspersiones foliares a un intervalo de 0, 15, 30, 60 y 90 días.

La dosificación de cada producto por 100 litros de agua por tratamiento fue: (1) AN-CITRICOS 200cc (0.50 L) + PROMOT -C 200cc (0.50 L), (2) Agua de vidrio (1.25 L), (3) EM (5.56 L) + Magro (5.56 L), (4) Agua de vidrio (2.00 L) + Silicio (5.00 kg), (5) Consorcio MM (8.89 L) + Silicio (3.33 kg), (6) Ácidos húmicos/fúlvicos/huminas (1.50 L) + aminoácidos (2.00 L), (7) AN-CITRICOS 200cc (1.00 L), (8) Optifert® aminoácidos (1.50 L), (9) BacilluZn® (0.50 kg), (10) BacilluZn® (0.50 kg) + Optifert® (1.50 L), (11) PROMOT -C 200cc (1.00 L), (12) Optifert® aminoácidos (1.50 L) + ácidos húmicos/fúlvicos/huminas (1.50 L), (13) Virablock® 3G50 (0.50 L) y Testigo (14) sin tratamiento alguno.

Los indicadores evaluados en las cinco aplicaciones fueron: ramas secas, brotes amarillos, hojas pequeñas y longitud de brotes.

A partir de las variables evaluadas, se realizó la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas. Aquellos datos que cumplieron con los supuestos se les realizó un análisis de varianza y una comparación múltiple de medias Duncan ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS 9.0 (SAS Institute Inc. 2002).



Adicionalmente se hizo el cálculo de costos por hectárea para cada tratamiento utilizado, considerando costo unitario del insumo, dosis, costo de mano de obra, número de aplicaciones y costo total por hectárea.

Resultados y Discusión

Las variables evaluadas (ramas secas, brotes amarillos, hojas pequeñas y longitud de brotes) cumplieron con los supuestos estadísticos y presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Todos los tratamientos redujeron el porcentaje de ramas secas con respecto al testigo enfermo (Figura 1). No obstante, AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc), Virablock® 3G50, BacilluZn® + Optifert® amino y Agua de vidrio + Silicio redujeron más del 87% de ramas secas en plantas enfermas con el “amarillamiento de los cítricos”. El resto de los biopreparados redujeron entre el 59-82% de ramas secas.

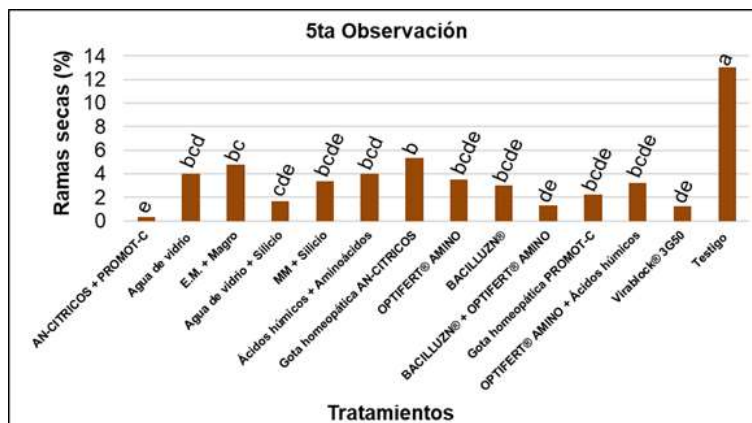


Figura 1. Porcentaje de ramas secas en árboles con la enfermedad del “amarillamiento de los cítricos”. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Duncan, $P \leq 0.05$).

Todos los tratamientos redujeron el porcentaje de brotes amarillos con respecto al testigo enfermo (Figura 2). No hubo diferencias significativas en la reducción brotes amarillos entre los diferentes biopreparados.

El tratamiento de la gota homeopática combinada (1) AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc) y (7) AN-CITRICOS (200cc) redujeron hasta el 93% de hojas pequeñas en plantas enfermas con el



“amarillamiento de los cítricos”. El resto de los biopreparados redujeron entre 45-87% de hojas pequeñas con respecto al testigo enfermo (Figura 3).

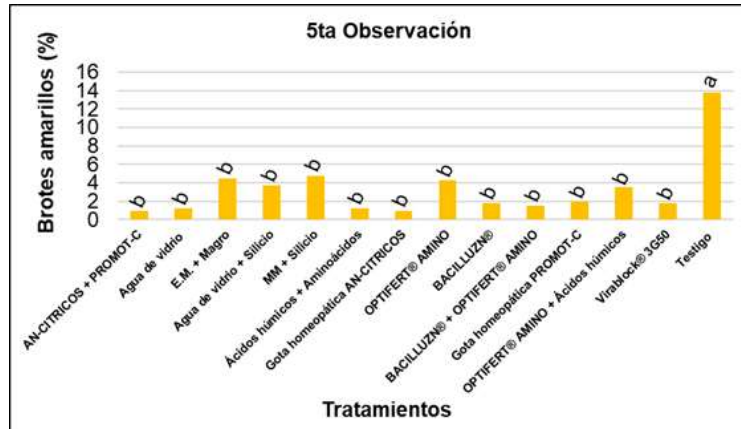


Figura 2. Porcentaje de brotes amarillos en árboles con la enfermedad del “amarillamiento de los cítricos”. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Duncan, $P \leq 0.05$).

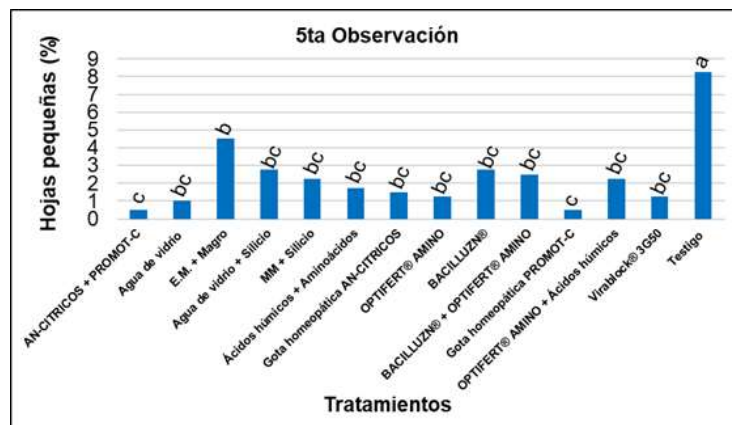


Figura 3. Porcentaje de hojas pequeñas en árboles con la enfermedad del “amarillamiento de los cítricos”. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Duncan, $P \leq 0.05$).

Los tratamientos (5) MM + Silicio, (3) E.M. + Magro y (2) Agua de vidrio aumentaron más de 393% de longitud de brotes con respecto al testigo enfermo. El resto de los biopreparados no fueron estadísticamente diferentes respecto al testigo enfermo (Figura 4).

Los resultados de esta investigación se refuerzan con la investigación de Cruz (2011) y Rodríguez, *et al.*, (2013) quienes demuestran también que la agrohomeopatía funciona. Se evaluó el control del virus de la calabaza con la prueba de LISA, con una disminución del virus en más del 80% con la homeopatía.

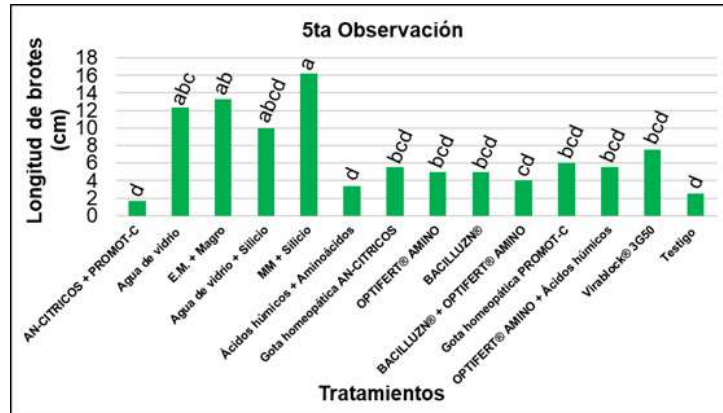


Figura 4. Longitud de brotes en árboles con la enfermedad del “amarillamiento de los cítricos”. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Duncan, $P \leq 0.05$).

La investigación de Alcantara-Sánchez *et al.*, (2013) demostró que la agrohomeopatía funcionó para disminuir la población de *Zabrotes subfasciatus* en frijol almacenado usando el preparado homeopático de la hoja de nim 10CH con reducciones del 88.9 y 86.6% en la emergencia y daño del insecto.

Otro trabajo coincide con lo encontrado, con respuesta positiva de la homeopatía como promotor de crecimiento con Magnesium metallicum 31 CH y Magnesium-Manganum phosphoricum 3CH en *Phaseolus vulgaris* L. variedad Quivicán con 84.7% de biomasa seca de hojas (García-Bernal, *et al.*, 2020).

A diferencia de este trabajo en Adriano, *et al.*, (2023) algunas variables en la evaluación de *Nux vomica*, *Carbo vegetabilis* y *Arsenicum album* y sus ultradiluciones (6CH, 12CH, 18CH, 24CH y 30CH) en semillas de pepino contaminadas con herbicida picloram + 2,4-D (Artys™) no fueron concluyentes, por lo que recomiendan más investigación para evaluar y describir la complejidad de propiedades inherentes al tratamiento homeopático.

En una evaluación de homeopáticos en roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome) los resultados mostraron que no se afectó la severidad a los 60 días, ni la infestación foliar a los 30 días, el polifármaco (mezcla de 72 preparados homeopáticos antiestresantes y de enfermedades, nutrientes, plagas y plantas de importancia agrícola) /212 Centesimal Hahnemanniana. Dicha formulación disminuyó 49.75% la defoliación a los 30 días, a su vez redujo 26.65 y 45.06% la infestación foliar y defoliación a los 60 días. Estos autores concluyeron que la mezcla de homeopáticos permite proteger a la planta más que eliminar al patógeno, siendo una alternativa ecológica y orgánica para resolver el problema de la roya (Rodríguez *et al.*, 2019).



Un factor determinante que toman en cuenta los productores para el manejo de las enfermedades es el costo del tratamiento. En el cuadro 1 se pueden observar las diferencias entre éstos. Los resultados indican que los dos más sobresalientes en el control de los síntomas de la enfermedad del amarillamiento de los cítricos, AN-CITRICOS + PROMOT C (200cc), y agua de vidrio + silicio, también son los más baratos, con un costo por hectárea de \$1,503 y \$2,728 pesos, respectivamente. El tratamiento con mayor costo (Optifert® amino + ácidos húmicos/fúlvicos/huminas) fue de \$8,700 pesos, lo que representa 5.8 veces más costo respecto al (1) AN-CITRICOS + PROMOT C (200cc) que fue el más económico.

Cuadro 1. Costos por bioinsumo evaluados contra el amarillamiento (ha). 2023.

Tratamiento	Costo unitario	Presentación	Dosis por hectárea	Costo de mano de obra por aplicación	No. de aplicaciones	Costo final por hectárea
AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc)	\$500.00	Gts	0.0015	\$1,500.00	4	\$1,503.00
Agua de vidrio	\$7.00	lt	2.50	\$1,500.00	4	\$1,570.00
EM + Magro	\$7.00	lt	20	\$1,500.00	4	\$2,060.00
Agua de vidrio + Silicio	\$307.00	lt/kg	2.5/10	\$1,500.00	4	\$2,728.00
Consortio MM + Silicio	\$250.00	lt/kg	10,/10	\$1,500.00	4	\$2,500.00
Ácidos húmicos/fúlvicos/huminas + aminoácidos	\$120.00	lt	3.00	\$1,500.00	4	\$2,940.00
AN-CITRICOS (200cc)	\$500.00	Gts	0.0015	\$1,500.00	4	\$1,503.00
Optifert® amino	\$280.00	lt	3.00	\$1,500.00	4	\$4,860.00
BacilluZn®	\$400.00	Kg	1.00	\$1,500.00	4	\$3,100.00
BacilluZn® + Optifert® amino	\$480,/\$280	Kg/Kg	4.00	\$1,500.00	4	\$6,780.00
PROMOT -C (200cc)	\$500.00	Gts	0.0015	\$1,500.00	4	\$1,503.00
Optifert® amino + ácidos húmicos/fúlvicos/huminas	\$480,/\$120	lt	6.00	\$1,500.00	4	\$8,700.00
Virablock® 3G50	\$1,200.00	lt	2	\$1,125.00	3	\$8,325.00

Fuente: Elaboración propia, 2023.



Conclusiones

Los tratamientos (1) AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc), (13) Virablock® 3G50, (10) BacilluZn® + Optifert® amino y (4) agua de vidrio + Silicio redujeron el porcentaje de hojas pequeñas y brotes amarillos con respecto al testigo enfermo, asimismo, fueron los tratamientos más sobresalientes en la reducción de ramas secas.

AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc) fue el tratamiento más sobresaliente al reducir el 97% de ramas secas y 94% hojas pequeñas en plantas enfermas.

Los tratamientos (5) MM+ Silicio, (3) EM+ Magro y (4) Agua de vidrio redujeron el porcentaje de ramas secas, brotes amarillos y hojas pequeñas con respecto al testigo enfermo, de igual forma, fueron los tratamientos más sobresalientes en el incremento de longitud de brotes.

Los mejores resultados considerando manejo del amarillamiento de los cítricos y costos de los tratamientos lo presentan la gota homeopática combinada (1) AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc) y (2) el agua de vidrio.

Para los citricultores que por una razón u otra no tengan conocimientos o acceso a la gota homeopática combinada (1) AN-CITRICOS + PROMOT -C (200cc) y (2) agua de vidrio, pueden utilizar los siguientes tratamientos: (13) Virablock® 3G50, (10) BacilluZn® + Optifert® amino, aunque son productos que representan una mayor erogación por hectárea.

Literatura Citada

Adriano-Felito, R., Mitsuo-Yamashita, O., Gervazio, W., Camillo de Carvalho, M. A, Vieira da Silva, I., & Ferreira-Cândido, A. C. T. 2023. Tratamiento homeopático de semillas de pepino contaminadas con herbicida auxínico. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 14(2): 145–157.

Alcántara-Sánchez, D., Rodríguez Hernández C., Ruíz Espinoza F., Vázquez Hernández M. A. 2013. Polvos, extractos y homeopáticos para disminuir gorgojo de frijol. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 1 (1): 37-42.



- Antunes, T. L. 2013. Situación actual, manejo e impacto económico de la clorosis variegada de los cítricos (CVC) en Brasil. 3er Taller Internacional sobre Plagas Cuarentenarias de los Cítricos. Manzanillo, Colima, México.
- Cruz, B. N. 2011. Efecto del preparado homeopático 12C VMC en el desarrollo de calabaza zucchini infectada con squash mosaic virus. Tesis de licenciatura de parasitología agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 240p.
- De los Santos, M. I. 2013. Monografía del Huanglongbing (*Candidatus liberibacter* spp.) de los Cítricos. Universidad Veracruzana. Facultad de ciencias agrícolas. Xalapa, Ver., México. https://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/22_DeSantos_13.pdf.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2020. FAOSTAT-Datos sobre alimentación y agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/> [consultado el 13 de julio de 2023].
- García-Bernal, M., Ojeda-Silvera, C. M., Batista-Sánchez, D., Abasolo-Pacheco, F., & Mazón-Suástegui, J. M. 2020. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán a la aplicación de medicamentos homeopáticos. *Terra Latinoamericana*, 38(1): 137-147.
- Gómez, C. M. A., Gómez T. L. y Gómez O. B. G. 2021. Manejo de la enfermedad: Amarillamiento de las hojas de los árboles de naranja y sabor insípido del jugo. CIIDRI. Universidad Autónoma Chapingo. Papantla, Ver., México. (Mimeo).
- Gómez, C. M. A., Gómez T. L., Hernández A. M. A., Gálvez M. A. 2022. Evaluación de insumos agroecológicos para manejo de amarillamiento de hojas de naranja tardía (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en San Pablo, Papantla Veracruz. p. 88-89. *In: Memoria del X Congreso Internacional y XXIV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria 2022*. Texcoco, Edo. de México, México.



Gómez, C. M. A., Gómez T. L., Hernández, A. M. A., Gálvez, M. A. y Ortiz, M. L. E. 2023. Insumos agroecológicos para manejo del amarillamiento en naranja valencia tardía (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en Veracruz, México. p. 179-184. In: Ágrarias. Editora Artemis. Brasil.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2014. Sistema de Referencia. Coordenadas geográficas EPSG:4326 WGS 84.

Rodríguez, H. C., Cruz, B. N., Hernández, J. C., y Ruiz, E. F. J. 2013. Homeopáticos contra virus fitopatógenos y el caso del agronosode del virus del mosaico de la calabaza. In: métodos bioracionales para el manejo de plagas. p. 75-90. Rodríguez, H. C. y Guzmán, M. R. (Eds.). Agricultura Sostenible 8. Colegio de Postgraduados y Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

Rodríguez, H. C., Ramos-Reyes S., Escamilla-Prado E., y Ruiz-Espinoza. F. J. 2019. Reducción del desarrollo de la roya anaranjada del café con mezcla de homeopáticos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10 (5): 1047-1056.

SAS Institute Inc. 2002. The SAS system for windows. VersionVersión 9.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Cierre de la producción agrícola 2021. <http://www.siap.gob.mx/> [consultado el 10 de julio de 2023].

Villegas, M. A. 2022. Determinar las principales plagas cuarentenarias en huertos agroecológicos de naranja valencia en el Norte del Estado de Veracruz, así como definir posibles causas del “amarillamiento de los cítricos”. Informe Técnico del proyecto CONAHACYT 321118. Papantla, Ver., México. 15 p.



REGULADORES DE CRECIMIENTO PARA CONTROLAR EL ABORTO DE FRUTOS EN *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews

Juan Hernández Hernández^{145*}, Sergio A. Curti Díaz¹⁴⁶ y Ángel Ríos Utrera¹⁴⁷

Resumen

La producción de vainilla en México ha disminuido en un 70% en los últimos 25 años, entre otras causas, por el aborto de ovarios llamado “caída prematura o aborto de frutos”, fenómeno que ocurre en condiciones climáticas extremas como temperaturas mayores de 32°C y humedad relativa menor al 80%. El estudio se realizó en una plantación comercial del ejido Fuerte de Anaya, municipio de Tecolutla, Veracruz, durante la floración/polinización 2023, con el objetivo de determinar las mejores épocas y frecuencia de aplicación de la mezcla de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (32 ppm) + forclorfenurón (5 mL/L de agua) para disminuir, con mayor eficiencia, el aborto de los frutos de vainilla. Se evaluaron ocho tratamientos: 1) una aplicación de la mezcla a los 7 días después de la polinización (DDP), 2) aplicaciones a los 7 y 14 DDP, 3) aplicaciones a los 7 y 21 DDP, 4) aplicaciones a los 7 y 28 DDP, 5) aplicaciones a los 7 y 35 DDP, 6) aplicaciones a los 7 y 42 DDP, 7) aplicaciones a los 14, 28 y 42 DDP, y 8) testigo (sin aplicación). El porcentaje de retención de frutos con el 2,4-D + forclorfenurón aplicados a los 7 y 14 DDP (98.5%) fue estadísticamente similar en los tratamientos 7 y 21 DDP (97.7%), 7 y 28 DDP (96.3%) y a los 14, 28 y 42 DDP (93.0%). Estos tratamientos mostraron una mejor respuesta con respecto al resto. El diámetro del fruto obtenido con aplicaciones de 2,4-D + forclorfenurón a los 7 y 14 DDP (10.88 mm) fue estadísticamente similares al tratamiento 14, 28 y 42 DDP (11.18 mm) y superaron al resto de los tratamientos. No hubo diferencia significativa entre tratamientos con relación a la longitud del fruto.

Palabras clave: citocininas, retención de frutos, auxinas, 2,4-D, estrés climático

¹⁴⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Ixtacuaco. Autor por correspondencia: hernandezh.juan@inifap.mx

¹⁴⁶ INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla

¹⁴⁷ Universidad Veracruzana



Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), especie emblemática de México, cuyos frutos una vez procesados o curados son usados principalmente como fuente natural de vainillina, uno de los saborizantes más populares y caros en el mundo. Se estima que el volumen de producción de vainilla en México ha disminuido en 70% en los últimos 25 años. Una de las principales causas es la caída o aborto de frutos, que normalmente ocurre de 42 a 60 días después de la polinización manual de las flores (Hernández, 2011), período que coincide generalmente con los meses de mayo y junio.

En 2007, 2010 y 2011, el aborto de frutos produjo pérdidas de hasta 90%, principalmente en los sistemas de cultivo “casa-sombra” y “campo abierto” con tutor de naranjo, ubicados en la zona costera, con altitudes menores a los 300 m (Hernández *et al.*, 2018). En los últimos 12 años (2012-2023) el aborto de frutos varió de 10 a 50%. Esto se ha asociado al estrés que sufre la planta, debido a la ocurrencia de temperaturas mayores a 32°C y humedad relativa menor a 80% (Hernández *et al.*, 2019), condiciones que se han registrado, principalmente, cuando han existido sequías prolongadas en el área productora del Totonacapan, México. Dicho estrés climático, aparentemente, provoca un desbalance hormonal en la planta, disminuyendo las hormonas que favorecen la fijación del fruto, como las auxinas, giberelinas y citocininas, e incrementando el etileno y ácido abscísico, que promueven su abscisión (Modise *et al.*, 2009; Khandaker *et al.*, 2016; Salazar-Rojas *et al.*, 2016). Para compensar la disminución de estas fitohormonas, principalmente las auxinas, se han usado reguladores de crecimiento (Nawaz *et al.*, 2008; Kundu *et al.*, 2013).

Los frutos abortados no alcanzan a madurar sus semillas, sólo muestran los óvulos de color blanco y café claro, a diferencia del color negro que presentan los óvulos fecundados o semillas, propiamente dicho; este evento biológico, de la fertilización de los óvulos, sucede entre los 24 y los 60 DDP (Parra *et al.*, 1990; Lapeyre-Montes *et al.*, 2010; Hernández-Miranda *et al.*, 2018). El primer síntoma típico de que el fruto abortará, es el cambio de color verde a amarillo del ápice del ovario (“fruto” ya elongado, pero sin semillas, pues los óvulos aún no han sido fecundados), entre 42 y 60 DDP. La caída de frutos finaliza, una vez que las condiciones climáticas cambian o que los frutos han desarrollado sus semillas. Cuando, las condiciones de estrés climático se presentan antes de los 42 DDP o después de los 60 DDP el aborto del fruto no ocurre (Hernández *et al.*, 2019). De este modo, se ha observado que existe una relación importante entre la edad del fruto y las condiciones climáticas extremas con el aborto del fruto (Hernández *et al.*, 2019).



Con la finalidad de buscar una solución a esta problemática de la vainilla se evaluaron en 2015 y 2016, los siguientes reguladores de crecimiento comerciales: clorhidrato de aminoetoxivinilglicina (AVG), 1-ácido naftalenacético (ANA), benciladenina (BA), ácido giberélico (AG3) y la mezcla de ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) + forclorfenurón (CPPU). Estos reguladores de crecimiento tuvieron un efecto positivo en la retención de frutos de vainilla, principalmente con el 2,4-D a 32 ppm + forclorfenurón en concentración de 5 mL de producto comercial por litro de agua, con resultados promisorios en la reducción del aborto de frutos con respecto al testigo, en 30% y 36%, en 2015 y 2016, respectivamente (Hernández *et al.*, 2018, Hernández *et al.*, 2019). Estos resultados motivaron a continuar el estudio del efecto de los mejores tratamientos, para precisar la mejor época de su aplicación y número de aplicaciones. El objetivo del presente estudio fue determinar las mejores épocas y frecuencia de aplicación de la mezcla de 2,4-D y forclorfenurón para reducir el aborto de frutos de vainilla cv. Mansa (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), durante los primeros 60 días después de la polinización manual de las flores (DDP).

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se realizó de marzo a julio de 2023, en una siembra comercial de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews), establecida en 2019, asociada con naranja (*Citrus sinensis*), con riego rústico, en el ejido Fuerte de Anaya, municipio de Tecolutla, Veracruz, México, localizado en las coordenadas 20°18'37'' LN y 96°59'29'' LW, a una altitud de 7 m.

Selección de plantas

Se seleccionaron plantas de vainilla, separadas por cinco metros, y en cada una de ellas se eligieron al azar y etiquetaron cuatro racimos o inflorescencias por planta. Cada racimo produjo de 10 a 20 flores, de las cuales, se abrió y polinizó una por día y por racimo. Se registró el número de frutos por racimo, que varió de 4 a 20, con un promedio de 11.61, de diferentes edades o tamaños y provenientes de las flores polinizadas manualmente durante el periodo de mayor intensidad de floración (30 de marzo al 19 de abril, 2023). Además, se etiquetaron cuatro de ellos (uno por cada racimo seleccionado), provenientes de las flores que fueron polinizadas en la misma fecha (5 de abril del 2023), con la



finalidad de registrar su longitud y diámetro; en estos se aplicaron y evaluaron los ocho tratamientos, incluido el testigo, con cinco repeticiones.

Tratamientos de reguladores de crecimiento

Los tratamientos fueron periodos de aplicación de la mezcla de 2,4-D (32 ppm) + forclorfenuron (5 mL/L de agua) en diferentes días después de la polinización (DDP) de la flor (Cuadro 1). Dichos reguladores del crecimiento se aplicaron una vez (7 DDP), dos veces (la combinación de 7 DDP con 14, 21, 28, 35 y 42 DDP) y tres veces (14, 28 y 42 DDP) en los frutos de los racimos etiquetados. Se estima que en esos periodos desde 7 a 42 DDP, el fruto llega a tener una longitud promedio entre los 7 y 17 cm y un diámetro entre 5 y 10 mm. Los reguladores de crecimiento se asperjaron con un atomizador manual con capacidad de 1 L, mojando todos los frutos del racimo.

Cuadro 1. Tratamientos de aplicación de los reguladores de crecimiento para reducir el aborto de frutos en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews). Tecolutla, Veracruz, México. 2023.

Tratamiento	Fechas de aplicación de 2,4-D + Forclorfenuron ¹ (DDP) ²	Número de aplicaciones
1	7	1
2	7 y 14	2
3	7 y 21	2
4	7 y 28	2
5	7 y 35	2
6	7 y 42	2
7	14, 28 y 42	3
8	testigo (sin aplicación)	0

¹ 2,4-D (32 ppm) + Forclorfenuron (5 mL/L de agua).

² Días después de la polinización.

Preparación de la solución con reguladores de crecimiento

La preparación de las soluciones con reguladores de crecimiento se realizó de la manera siguiente: en una cubeta de plástico se vertieron 10 L de agua con bajo contenido de sales y se agregaron 8 mL de un coadyuvante comercial (Dap-plus), para acidificarla a un pH de 5.5. Después se agregó el 2,4-D (32 ppm) y forclorfenurón (5 mL/L de agua). El testigo consistió en aplicar solamente agua más el coadyuvante, en la cantidad ya especificada. El 2,4-D es una auxina que a dosis altas tiene propiedades



de herbicida, pero a una baja concentración ha sido comúnmente utilizado, en muchos países, para retener los frutos de las hortalizas y frutales (Anthony y Coggins-Jr., 2001; Khandaker *et al.*, 2016; Looney, 2018). Por otro lado, se señala que el forclorfenuron (CPPU) en dosis de 2 mL/L de agua incrementa el amarre de frutos en mango Ataulfo, hasta cinco veces más que en los árboles testigo, sin aplicación (Pérez-Barraza *et al.*, 2009).

VARIABLES DE RESPUESTA

- a) Porcentaje de frutos totales retenidos por racimo. Esta variable se determinó a los 62 DDP, una vez que el fruto alcanzó su tamaño máximo, con las semillas ya formadas, y cuando ya no eran susceptibles de abortar, por causas atribuibles a las condiciones climáticas extremas. El porcentaje de frutos retenidos se obtuvo con base al número inicial y final de los frutos presentes en cada racimo.
- b) Longitud y diámetro del fruto. Con una cinta flexible y un vernier plástico de 0.1 mm de aproximación se midió el largo y grosor de los frutos etiquetados, respectivamente, a los 49 DDP.
- d) Ovarios abortados. Se empezaron a coleccionar y contar, una vez que inició el aborto, a los 48 DDP. Se revisaron en el laboratorio usando un estereoscopio para determinar si aún contenían óvulos sin fecundar (color blanco) o ya fecundados que son las semillas propiamente dicho (color negro).
- e) Datos climáticos. Se registraron los valores máximos y mínimos de la temperatura y humedad relativa, con un sensor/registrador, a intervalos de una hora, durante el desarrollo del ovario y el aborto de los mismos. La precipitación pluvial se registró durante todo el experimento usando un pluviómetro.

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Las variables estudiadas fueron porcentaje de frutos retenidos por racimo (N=160), diámetro del fruto (N= 144) y longitud del fruto (N= 144). Estas se analizaron con un modelo lineal general de mediciones repetidas. Previo al análisis estadístico, se aplicó la transformación arco seno a la variable porcentaje de frutos retenidos por racimo. El modelo estadístico incluyó tratamiento y racimo (o fruto, dependiendo de la variable de respuesta analizada) como efectos fijos, y planta como efecto aleatorio. Los análisis estadísticos se ejecutaron con el procedimiento MIXED del programa SAS (2013), aplicando una estructura de covarianzas auto-regresiva de primer orden [AR(1)]. Las comparaciones entre medias se realizaron con la opción PDIF del procedimiento mencionado previamente.



Resultados y Discusión

Frutos retenidos por racimo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de porcentajes de frutos retenidos por racimo en los diferentes tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% para porcentaje de frutos retenidos por racimo en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews.

Tratamiento (2,4-D + forclorfenurón) (Días después de polinización)	Media \pm EE (%)	Intervalo de confianza
7	92.1 \pm 7.7 ^{bc}	84.9 – 97.0
7 y 14	98.5 \pm 7.7 ^a	94.6 – 100.0
7 y 21	97.7 \pm 7.7 ^{ab}	93.2 – 99.8
7 y 28	96.3 \pm 7.7 ^{abc}	90.9 – 99.3
7 y 35	89.5 \pm 7.7 ^{cd}	81.5 – 95.3
7 y 42	79.6 \pm 7.7 ^d	69.3 – 88.0
14, 28 y 42	93.0 \pm 7.7 ^{abc}	86.2 – 97.6
Testigo	79.1 \pm 7.7 ^d	68.7 – 87.6

^{a,b,c,d} Medias con distinta literal son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).

El tratamiento 7 y 14 DDP (98.5%) igualó estadísticamente el porcentaje de frutos retenidos con los tratamientos 7 y 21 DDP (97.7%), 7 y 28 DDP (96.3%) y 14, 28 y 42 DDP (93.0%) y superó al porcentaje de frutos retenidos con los tratamientos 7 DDP (92.1%), 7 y 35 DDP (89.5%), 7 y 42 DDP (79.6%) y el testigo (79.1%). Esta variable, que es la principal en este estudio, está asociada al problema que se pretende resolver, arrojó dos excelentes resultados, que son: a) dos aplicaciones, donde la primera de ellas se haga a los 7 DDP, la segunda aplicación puede hacerse a los 14, 21 o 28 DDP y b) los mismos resultados se logran con tres aplicaciones (14, 28 y 42 DDP); sin embargo, esta implica un mayor gasto. Es importante hacer los comentarios siguientes: a) la fecha más temprana, cuando se trata de realizar dos aspersiones (7 y 14 DDP) es la que se asocia a los mejores resultados, b) El hecho de que no hubiera diferencias entre los tratamientos 7 y 35 DDP y 7 y 42 DDP con el testigo, sugiere que, cuando se hizo la segunda aplicación, ya fue tardía, los frutos ya habían sido afectados por el estrés climático y ya no se pudo contrarrestar el daño con los reguladores de crecimiento aplicados.



Entonces otro dato de interés es que la segunda aplicación de estos reguladores del crecimiento, debe hacerse a más tardar a los 28 DDP.

Estos resultados coinciden con los experimentos realizados en esta localidad en el año 2016, donde esta mezcla fue el mejor tratamiento, con una retención de frutos de 87% y el testigo de 51% aplicados a los 6, 20 y 31 DDP (Hernández *et al.*, 2019). Asimismo, en 2015, los resultados de retención con el 2,4-D + forclorfenurón, fue de 91% y el testigo de 60% cuando estos productos fueron aplicados a los 2 y 26 DDP (Hernández *et al.*, 2018). En estos dos últimos estudios la diferencia de retención entre los tratamientos de reguladores de crecimiento y el testigo fue mayor, debido a que el periodo de aborto de frutos y condiciones climáticas extremas fue más prolongado que en 2023. Es decir que, mientras mayor sea la intensidad del aborto, mayor será el impacto de estos reguladores de crecimiento en la retención de frutos.

Diámetro de fruto

Aunque el propósito del presente estudio, no fue para incrementar el tamaño del fruto, si es de interés conocer si los reguladores de crecimiento aplicados afectan positiva o negativamente sobre las dimensiones del fruto. Los tratamientos 14, 28 y 42 DDP (11.18 mm) y 7 y 14 DDP (10.88) produjeron frutos con mayor diámetro ($P < 0,05$) que los demás tratamientos y el testigo (9.49 mm) (Cuadro 3). Los resultados de crecimiento en diámetro de frutos obtenidos con el 2,4-D y forclorfenurón son similares a los encontrados cuando estos productos fueron aplicados a los 6, 20 y 31 DDP para la retención de frutos de vainilla (Hernández *et al.*, 2019).

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% para diámetro del fruto (mm) en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews.

Tratamiento (2,4-D + forclorfenurón) (Días después de polinización)	Media ± EE (%)	Intervalo de confianza
7	9.57 ± 0.29 ^b	8.97 – 10.16
7 y 14	10.88 ± 0.33 ^a	10.22 – 11.54
7 y 21	9.96 ± 0.30 ^b	9.36 – 10.56
7 y 28	9.79 ± 0.31 ^b	9.16 – 10.41
7 y 35	9.81 ± 0.29 ^b	9.21 – 10.40
7 y 42	9.47 ± 0.31 ^b	8.85 – 10.09
14, 28 y 42	11.18 ± 0.29 ^a	10.58 – 11.77

^{a,b} Medias con distinta literal son diferentes estadísticamente ($P < 0.05$).



Longitud de fruto

No hubo efecto de los tratamientos, con relación a la longitud de los frutos (Cuadro 4). Este resultado difiere de lo encontrado por Hernández *et al.* (2019) debido a que en esa ocasión no se consideró en el análisis estadístico la longitud de los frutos abortados; mientras que en el estudio actual se incluyeron también los frutos con síntomas típico de aborto, con la longitud que tenían antes de desprenderse de la planta. El tamaño de fruto es un parámetro que se toma en cuenta para determinar la calidad de vainilla. En este estudio, al menos no hubo un efecto negativo en este parámetro con los reguladores de crecimientos aplicados. Se prefiere los frutos de mayor longitud y diámetro porque tienen mejor calidad de beneficiado o curado y mejor precio internacional.

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos y sus errores estándar (EE) e intervalos de confianza al 95% para longitud del fruto (cm) en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews.

Tratamiento (2,4-D + forclorfenurón) (Días después de polinización)	Media ± EE (%)	Intervalo de confianza
7	16.73 ± 0.47 ^a	15.77 – 17.68
7 y 14	18.17 ± 0.55 ^a	17.07 – 19.26
7 y 21	16.87 ± 0.49 ^a	15.89 – 17.85
7 y 28	16.39 ± 0.52 ^a	15.36 – 17.42
7 y 35	17.06 ± 0.47 ^a	16.10 – 18.01
7 y 42	17.51 ± 0.50 ^a	16.50 – 18.51
14, 28 y 42	17.86 ± 0.47 ^a	16.90 – 18.81
Testigo	16.76 ± 0.55 ^a	15.66 – 17.86

^a Medias con la misma literal son iguales estadísticamente (P>0.05).

Condiciones climáticas

Durante el periodo del 9 al 13 de mayo de 2023, las temperaturas máximas diarias absolutas variaron entre 32 y 35°C y la humedad relativa entre 66 y 83%, en el horario de las 12:00 a las 16:00 horas. En este mismo periodo, el número de horas registradas con temperaturas mayores de 32°C y humedad relativa menor a 83%, fue de 20 horas y no hubo lluvias. Estas condiciones se presentaron tres a cinco días antes de observar los primeros síntomas de aborto típico, cuando los ovarios (frutos) tenían entre 34 y 44 DDP, periodo donde ocurre la fertilización de los óvulos, según los estudios reportados por Parra *et al.*, 1990; Lapeyre-Montes *et al.*, 2010 y Hernández-Miranda *et al.*, 2018. Las condiciones



extremas, registradas en el sitio de estudio, pudieron provocar estrés en la planta y favorecer el aborto de los ovarios (frutos). Sin embargo, no fue posible realizar la correlación entre las variables climáticas y el número de frutos abortados, porque este fenómeno sucedió en un periodo corto y se obtuvo un solo dato final. Los datos de las condiciones climáticas extremas se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Variables ambientales registrada antes y durante el periodo de aborto de frutos de vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews). Tecolutla, Veracruz, México. 2023.

Fecha	TM ^a (%)		HTM ^b	HRM ^c (%)		HHR ^d
	Rango	Promedio		Rango	Promedio	
09/05/2023	31-32	32.50	4	76-81	78.66	4
10/05/2023	29-32	32.45	2	69-76	72.84	2
11/05/2023	32-34	33.36	4	72-79	76.28	4
12/05/2023	32-35	33.53	5	66-83	76.95	5
13/05/2023	32-34	33.61	5	73-79	75.72	5

TM=Temperatura máxima, HTM= número de horas con temperatura mayor a 32°C, HRM= humedad relativa mínima y HHR= número de horas con humedad relativa menor a 83%

Caracterización de frutos abortados

Los primeros frutos con síntomas típicos de aborto, se observaron a mediados del mes de mayo, una vez que se presentaron las condiciones señaladas y la caída inició entre los 3 a 5 días posteriores, inmediatamente después de una lluvia con una intensidad de 46 y 10 mm, que ocurrió el 14 y 16 de mayo de 2023, respectivamente. Después de estas fechas, ya no se registraron temperaturas mayores a 32°C y los frutos ya no se abortaron. La caída de frutos ocurrió durante solo una semana. Las dimensiones promedio del fruto, al momento de su aborto fueron: 16.71 cm de longitud, 9.19 mm de diámetro y 9.85 g de peso; además, se caracterizaron por su color amarillo, consistencia flácida y por haber perdido su perianto. Por el contrario, los frutos que no abortaron conservaron su color verde y alcanzaron a formar sus semillas.

Impacto tecnológico

Con los resultados encontrados, los productores tendrían una primera herramienta para disminuir el aborto en vainilla, en alrededor de un 24% con respecto al testigo (sin aplicación de reguladores de crecimiento), dependiendo de la edad de los frutos y condiciones climáticas que se tengan en cada año en las áreas productoras de México. Los productos comerciales aplicados son muy baratos y se



requieren dosis bajas, de tal manera que el productor puede invertir un costo aproximado de 2,500 pesos mexicanos por hectárea, incluyendo la mano de obra para realizar las aplicaciones. Es necesario validar el uso de los reguladores de crecimiento para poder hacer la recomendación a los productores e incluirlo en el paquete tecnológico para la producción de vainilla. La adopción de la tecnología permitirá incrementar la productividad, rentabilidad y competitividad del cultivo en aproximadamente mil hectáreas, lo que tendrá impactos positivos en la economía y calidad de vida en alrededor de cuatro mil productores y de todos los sectores de la cadena productiva: beneficiadores, industrializadores y comercializadores.

Conclusiones

- 1) La mezcla de los reguladores de crecimiento 2,4-D (32 ppm) y forclorfenurón (5 mL/L de agua) aplicada en dos ocasiones en la época temprana de desarrollo del fruto; la primera a los 7 DDP y la segunda a los 14 DDP o a más tardar a los 28 DDP, es la que da mejores resultados para disminuir el aborto de frutos en vainilla, sin tener un efecto negativo en el tamaño de los mismos.
- 2) Esta tecnología representa una primera herramienta de bajo costo, para disminuir el problema del aborto de frutos en el cultivo de vainilla que ocurre entre los 42 a 60 DDP, cuando se presentan condiciones climáticas adversas en las áreas productoras de Veracruz, Puebla y San Luis Potosí.

Literatura Citada

- Anthony, M. F. and Ch. W. Coggins Jr. 2001. NAA and 3,5,6-TPA control mature fruit drop in California citrus. Hortscience 36(7): 1296-1299.
- Hernández, H.J., S.A. Curti D. y A. Ríos U. 2019. Retención de frutos en *Vanilla planifolia* Jacks ex Andrews con reguladores de crecimiento. Agronomía Mesoamericana. 30(3):695-704.



- Hernández, H.J., S.A. Curti D. y A. Ríos U. 2018. Disminución del aborto de *Vanilla planifolia* Jacks Ex. Andrews con reguladores de crecimiento. P. 195-204. In: Memoria de la Reunión Científica-Tecnológica, Forestal y Agropecuaria, 2018. III Reunión Internacional Científica y Tecnológica. III Congreso Mexicano de Investigación en Cítricos, VI Simposium Internacional Avicultura Familiar y de Traspatio. Veracruz, Ver.
- Hernández, H. J. 2011. Mexican vanilla production. P. 3-24. In: Havkin-Frenkel, D. and F. C. Belanger (ed.). Handbook of vanilla science and technology. 1st edition. Willey-blackwell publishing Ltd.
- Hernández-Miranda O.A., Y. Cruz R., J.E. Campos, B.E. Herrera C. y V.M. Salazar R. 2018. Expresión diferencial del Gen ARF8, involucrado en el metabolismo de auxinas durante la transición de flor a fruto en *Vanilla planifolia* Jacks Ex Andrews. Agroproductividad 2(3):15-21.
- Khandaker, M. M., N. Suhaida, I., S. Zuriani, I., A. Majrashi., A. Alebedi and N. Mat. 2016. Causes and prevention of fruit drop of *Syzygium samarangense* (Wax Apple): A Review. Advances in Environmental Biology, 10 (11): 112-123.
- Kundu, M., R. Joshi., P.N. Rai and L.D. Bist. 2013. Effect of plant bio-regulators on fruit growth, quality and productivity of pear [*Pyrus pyrifolia* (Brum.) Nakai] Cv Gola under Tarai condition. Journal of Applied Horticulture, 15(2): 106-109.
- Lapeyre-Montes. F., C. Genevière., J.L. Verdeil and E. Odoux. 2010. Anatomy and biochemistry of vanilla bean development (*Vanilla planifolia* G. Jackson). p. 149-171. In: E. Odoux and M. Grison, editors. Vanilla. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Looney, N.E. 2018. Growth regulator usage in apple and pear production. In: L.G. Nickell, editor. Plant growth regulating chemicals. Vol 2. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p. 1-26.



- Modise, D.M., A. S. Likuku., M. Thuma and R. Phuti. 2009. The influence of exogenously applied 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on fruit drop and quality of navel oranges (*Citrus sinensis* L.). African Journal of Biotechnology 8 (10):2131-2137.
- Nawaz, A. M., W. Ahmad., S. Ahmad and M. Mumtazkan. 2008. Role of growth regulators on preharvest fruit drop, yield and quality in kinnow mandarin. Pak. J. Bot., 40(5): 1971-1981.
- Parra, R.A., H. González y E.M. Engleman. 1990. Cultivo *In vitro* y anatomía de vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews). Agrociencia Ser. Fitotec. 1(1):189-202.
- Pérez-Barraza, M.H., V. Vázquez-Valdivia, J.A. Osuna-García, y M.A. Urías-López. 2009. Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango “ataulfo” con reguladores de crecimiento. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 15:183-188.
- Salazar, R, V.M., E. Sandoval, Z., C. V. Granados, H., Y. Cruz, R., B. E. Herrera C. y J. E. Campos, C. 2016. Descripción estructural y funcional de caída prematura de frutos de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews. Agroproductividad. Año 9. 9:17-18.
- SAS Institute. 2013. SAS/STAT. Version 9.3. SAS Institute. Cary, NC, USA



AVANCES EN EL RESCATE Y CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE VAINILLA EN MÉXICO

Juan Hernández Hernández^{148*} y Esmeralda J. Cruz Gutiérrez¹⁴⁹

Resumen

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks) es un producto de importancia mundial, la cual es utilizada como saborizante y aromatizante en las industrias de alimentos, bebidas, perfumes y cosméticos. El 95% de la producción mundial proviene de *V. planifolia*, debido a la preferencia de las industrias por su alto contenido de vainillina. Esta especie y otras no comerciales como *V. insignis*, *V. cribbiana*, *V. inodora*, tienen su centro de origen en el área de Mesoamérica, lugar donde se puede encontrar la mayor biodiversidad. Sin embargo, estas especies están en peligro de extinción a causa de la destrucción de su hábitat natural, el cambio climático, daños por plagas y enfermedades, entre otros factores. Considerando esta situación; así como el valor histórico, económico y cultural que tiene este cultivo en México, en el año 2017, se inició el proyecto del banco de germoplasma de vainilla en el Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA), Tlapacoyan, Veracruz, el cual tiene como objetivo primordial rescatar y preservar las especies mexicanas de vainilla para evitar su extinción, y caracterizarlas con base en la calidad de fruto, perfil aromático y tolerancia a factores bióticos y abióticos. El banco está conformado por 119 colectas con sus datos de pasaporte (lugar de colecta, coordenadas geográficas, especie etc.) pertenecientes a las especies, *V. planifolia*, *V. pompona*, *V. insignis*, *V. cribbiana* y *V. odorata*, recolectadas durante los años 2017, 2018 y 2019, en parcelas de productores, de los estados de Veracruz, Puebla y Oaxaca. Además, de la conservación en campo, se ha iniciado de forma simultánea la conservación *in vitro* (*ex situ*), en el laboratorio del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del INIFAP, ubicado en Tepatlán, Jalisco. Las accesiones del banco de germoplasma, en el futuro servirán de base para programas de mejoramiento genético, investigación científica, así como fuente primaria de material propagativo de alta calidad fitosanitaria en beneficio de los productores.

¹⁴⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Ixtacuaco. *Autor por correspondencia: hernandezh.juan@inifap.gob.mx

¹⁴⁹ INIFAP. Centro Nacional de Recursos Genéticos.



Palabras clave: *Vanilla* spp., preservación, germoplasma, biodiversidad

Introducción

La vainilla (*V. planifolia* Jacks ex Andrews), de cuyos frutos procesados se obtiene la vainillina y cientos de compuestos, son usados como un intensificador de sabor en la industria de alimentos, helados, perfumería, farmacéutica, tabacalera y licores, siendo así la más popular en todo el mundo. Este producto, en el mercado internacional, puede alcanzar precios entre 300 y 500 dólares por kilogramo de vainas de vainilla beneficiada. El 95% de la producción mundial de vainilla proviene de *V. planifolia* (Bory *et al.*, 2008; Santillán *et al.*, 2019). No obstante, esta especie, así como otras no cultivadas, están amenazadas o en peligro de extinción (Soto, 2006; Schlüter *et al.*, 2007; Lubinsky *et al.*, 2008; Grisoni *et al.*, 2014), a causa de: la destrucción de su hábitat natural, cambio climático, plagas y enfermedades, disminución de la variabilidad genética por la selección de solo materiales de vainilla de interés económico, entre otros factores (Soto, 2006; Soto y Dressler, 2010). Asimismo, en *V. planifolia*, de acuerdo con estudios previos (Soto y Dressler, 2010; Villanueva *et al.*, 2017; Hu *et al.*, 2019), se menciona que la diversidad genética es muy reducida, debido a que el cultivo siempre se ha propagado de manera asexual por esquejes que se obtienen de las mismas plantaciones comerciales y la polinización se hace manualmente para la obtención de una cantidad adecuada de frutos. Sin embargo, existe la polinización cruzada, aunque en pequeño porcentaje (1%) de manera natural y accidental realizada por los insectos (Soto, 1999; Hernández *et al.*, 2010), que han estado contribuyendo en la variabilidad genética de esta especie, esto permitiría encontrar cuando menos un genotipo con mejores atributos o al menos determinar los morfotipos dentro de cada especie. Por ejemplo, en México, existen algunos tipos dentro de esta especie comercial conocidas como “rayada” (mutante), “oreja de burro” (abortiva), “polen duro”, etc. (Castillo y Engleman, 1993; Hernández, *et al.*, 2010), lo cual indica que si puede existir variabilidad genética y quizá otros morfotipos que no se han identificado todavía. En las especies silvestres (*V. pompona*, *V. insignis*, *V. odorata* y *V. cribbiana*) existen diferencias claras en su fenotipo y resistencia o tolerancia a plagas, enfermedades y sequía, que pueden ser fuentes de mejoramiento genético, de ahí la importancia de resguardarlos en un banco de germoplasma a nivel de campo (CEIXTA) y en el laboratorio de cultivo *in vitro* perteneciente al CNRG-INIFAP. A la fecha, en nuestro país, no se han generado o identificado genotipos con alguna característica sobresaliente, por



ejemplo, en resistencia a algún factor biótico o abiótico, en aroma diferente, entre otros atributos de interés agroindustrial, que superen a la que actualmente se cultiva (*V. planifolia*). Considerando esta situación, así como el valor genético, histórico, económico y cultural que tiene la vainilla en México, en 2017 se estableció un banco de germoplasma de vainilla *ex situ* con el objetivo primordial de rescatar, conservar y caracterizar las especies de México para evitar su extinción, y a futuro determinar si presentan atributos interesantes en productividad, calidad de fruto, perfil aromático o tolerancia a factores bióticos y abióticos.

Materiales y Métodos

El banco de germoplasma de vainilla se ubica en el CEIXTA-INIFAP (20°18'37'' N y 96°59'29'' W, 92 msnm), km 4.5, carretera Martínez de la Torre-Tlapacoyan, Ver. El CEIXTA se encuentra ubicado estratégicamente en la principal área productora de la vainilla, conocida como Totonacapan (Veracruz y Puebla), por lo tanto, el INIFAP, representa un importante centro de investigación para el resguardo de la diversidad genética del género *Vanilla* spp., en México. Las colectas de vainilla se realizaron en los principales municipios productores de vainilla de los estados de Veracruz, (Papantla, Gutiérrez Zamora, Tecolutla y Tihuatlán), Puebla (San José Acateno y Pantepec) y Oaxaca (Valle Nacional y Usila). Las colectas se efectuaron mediante recorridos en parcelas de los productores y se cortaron de uno a dos tramos de tallo conocidos como esquejes (material de propagación) de 1 m de longitud en cada sitio visitado. Como criterio de colecta, se seleccionaron los esquejes vigorosos de 6 a 10 mm de diámetro y físicamente sanos, es decir sin daños visibles de plagas y enfermedades provenientes de plantas madre productivas. Se utilizó un GPS para la determinación de las coordenadas geográficas de los sitios de colecta y se anotaron los datos (pasaporte), como fecha de colecta, localidad, especie de vainilla y nombre del productor. Los esquejes colectados, se trasladaron al CEIXTA para su siembra en bolsas de plástico con dimensiones de 50 x 50 x 50 cm (largo, ancho y altura, respectivamente). El sustrato que se utilizó fue una mezcla de lombricomposta con Cosmopeat®, en la proporción de 2:1. Una vez enraizados y con brote vegetativo, se plantaron en su lugar definitivo en árboles tutores vivos (caoba, cedro y roble). También, en 2021 se llevaron siete materiales vegetativos (esquejes) al CNRG para su conservación *in vitro* de las especies de *V. planifolia*, *V. insignis*, *V. pompona* y *V. cribbiana*. Los esquejes, se plantaron en macetas y se colocaron dentro de un invernadero para su desarrollo y una



vez que emitieron brotes nuevos, se tomaron los meristemos apicales (explantes) para su cultivo *in vitro*, multiplicación y conservación, bajo la modalidad de crecimiento mínimo. Los explantes se sembraron en medio de cultivo Murashige y Skoog (MS, 1962) al 100% con 30 g/L de sacarosa y 9 g/L de agar, con un pH de 5.7.

Descripción fenotípica

Se utilizó como guía los descriptores determinados por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 2014) y se consideraron las características de las hojas, flor y fruto de las diferentes especies representativas de la diversidad genética de vainilla. Se registraron las variables color, forma y tamaño de la flor, que es el órgano que menos cambia con el ambiente y, por lo tanto, el diferenciador entre una especie o variedad y otra. También se realizaron observaciones con respecto a tolerancia de plagas, enfermedades y sequía, su época de floración, calidad de fruto, entre otros atributos. Se tomaron fotografías de las características distintivas de cada especie para dar a conocer a los interesados en el cultivo. Para la identificación de las especies se utilizó como guía las características descritas por Soto y Dressler (2010).

Resultados y Discusión

En total se han logrado conservar 119 materiales genéticos colectados entre los años 2017 y 2019, correspondiente a las especies de *V. planifolia*, *V. pompona*, *V. insignis*, *V. cribbiana* y *V. odorata* (Cuadro 1). Estos materiales están siendo resguardados y conservados en condiciones de campo en el banco de germoplasma del CEIXTA – INIFAP.

Cuadro 1. No. de colectas/accesiones del banco de germoplasma de vainilla del CEIXTA-INIFAP.

Especie	Número de colectas
<i>Vanilla planifolia</i> (Jacks)	78
<i>Vanilla pompona</i> (Shiede)	26
<i>Vanilla odorata</i> (C. Presl)	7
<i>Vanilla insignis</i> (Ames)	5
<i>Vanilla cribbiana</i>	3
Total	119



Descripción de las especies de vainilla

Vanilla planifolia. Es la especie cultivada, conocida como “mansa” o “fina” por los productores de México. Se caracteriza por tener hojas carnosas, elípticas, lanceoladas y de color verde. Las flores son de color verde amarillento y los frutos presentan tres costados cóncavos en forma cilíndrica, de color verde antes de su maduración. Esta especie es susceptible a las principales plagas y enfermedades (Figura 1).



Figura 1. Flores de *V. planifolia* “mansa o fina”.

Vanilla pompona. Esta especie conocida como “platanillo” o “pompona” tiene un desarrollo exuberante, tallo grueso, hojas gruesas y grandes, flor grande y muy llamativa por su color amarillo, el fruto es triangular y succulento, parecido a un plátano pequeño. Por su vigor, resiste los daños causados por *Fusarium oxysporum* fs. *vanillae* y a la sequía (Figura 2).



Figura 2. Flor de *V. pompona*.

Vanilla odorata. Esta especie de vainilla se encuentra en forma silvestre en la selva perennifolia o en vegetación secundaria, en los municipios de Tuxtepec y Usila, Oaxaca; así como en los estados de Tabasco y Chiapas. Es una planta poco vigorosa, se caracteriza por sus hojas angostas y alargadas, tiene de dos a tres floraciones por año, frutos delgados, alargados y aromáticos. La planta tiene un



aspecto similar a la *V. tahitensis* y no es atacada por la principal plaga conocida como chinche roja (*Thentecoris confusus*) (Figura 3).



Figura 3. Flores de *V. odorata*.

Vanilla insignis. Conocida en México como vainilla “cimarrona”, su planta se caracteriza por dos acanaladuras a lo largo del tallo, el que además es rugoso, produce hojas pequeñas y frutos gruesos pero cortos (menores de 10 cm en longitud) e indehiscentes, y al parecer las vainas no son aromáticas (Figura 4).



Figura 4. Flor de *V. insignis*.

Vanilla cribbiana. Es una planta que se distingue por tener hojas delgadas, tallo resistente con entre nudos cortos, florece generalmente en el mes de julio, la flor es de color amarillo intenso con aroma a cítricos. Los frutos son gruesos y cortos, pero no es aromático. No es atacada por la chinche roja y muestra resistencia a la pudrición de raíz y tallo, causado por *F. oxysporum* fs. *Vanillae* (Figura 5).



Figura 5. Flores de *V. cribbiana*.

Conservación *in vitro*. Se sembraron siete accesiones de vainilla para su establecimiento en condiciones *in vitro* (Cuadro 2), de los cuales, solo tres de ellas, lograron establecerse para su multiplicación y conservación en crecimiento mínimo, que fueron los siguientes: *V. planifolia* “rayada”, *V. planifolia* “oreja de burro” y *V. planifolia* “mansa” (Figura 6). Las restantes se contaminaron y se tendrán que sembrar nuevamente.

Cuadro 2. Colectas establecidas en condiciones *in vitro* en el CNRG, durante 2021.

No. clave de colecta	Especie y morfotipo de vainilla
01	<i>V. pompona</i> típica
18	<i>V. planifolia</i> “mansa”
25	<i>V. planifolia</i> “rayada”
90	<i>V. planifolia</i> “mansa”
28	<i>V. planifolia</i> “polen duro”
73	<i>V. planifolia</i> “mansa”
40	<i>V. planifolia</i> “oreja de burro”



Figura 6. Plántulas de vainilla *in vitro*. 1 y 2) *Vanilla planifolia* “rayada”. 3) *Vanilla planifolia* “mansa”. 4) *Vanilla planifolia* “oreja de burro”.

Conclusiones

1. Se han logrado conservar en condiciones de campo 78 materiales genéticos colectados entre los años 2017 y 2019 correspondiente a *V. planifolia* y 41 de otras especies no cultivadas como son *V. pompona*, *V. insignis*, *V. odorata* y *V. cribbiana*. Pero solo tres colectas de *V. planifolia* se han logrado conservar *ex situ* (*in vitro*) en la modalidad de crecimiento mínimo.
2. Se sugiere hacer la caracterización molecular de las accesiones de vainilla para conocer la diversidad genética. Con el análisis genético molecular se irá agrupando los materiales iguales y solo se conservarán en el banco de germoplasma los genotipos identificados como diferentes, lo cual reducirá el costo de mantenimiento al reducir el número de accesiones.
3. Con base a lo observado en campo, la *V. pompona* presenta mayor tolerancia a los daños por *Fusarium oxysporum* y a la sequía; mientras que *V. cribbiana* no fue atacada por la principal plaga (chinche roja) ni por enfermedades, lo cual, pueden ser fuentes de mejoramiento genético. Falta realizar los estudios correspondientes para dar el soporte científico.



Literatura Citada

- Bory, S., M. Grisoni., M.F. Duval and P. Besse. 2008. Biodiversity and preservation of vanilla: present state of knowledge. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55: 551-571.
- Castillo, M.R. y E.M. Engleman. 1993. Caracterización de dos tipos de *Vanilla planifolia*. *Acta Bot. Mex.* 25: 49-59.
- Grisoni, M., R. Gigant., K. Jade., J.B. Dijoux and P. Besse. 2014. Conservation and characterization of biological resources of vanilla: ten years of patience and surprises. P. 177-178. In: Araya, F.C; Cordero, S.R; Paniagua V, A; y Azofoifa, B. JB (eds.). I seminario Internacional de Vainilla. Promoviendo la investigación, la extensión y la producción de vainilla en Mesoamérica. 1 ed. INSEFOR, Universidad Nacional, Heredia Costa Rica.
- Hernández, H. J., S. Sánchez M., E. Curti D. y H. Larios R. 2010. La producción de vainilla en México. Folleto técnico núm. 25. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Ixtacuaco-CIRGOC-INIFAP. 198 P.
- Hu, Y., F.R. Marcio, Jr., A. Bombarely., M. Brym., E. Basil and AH. Chambers. 2019. Genomics-based diversity analysis of *Vanilla* species using a *Vanilla planifolia* draft genome and Genotyping-By – Sequencing. *Scientific Reports* 9:3416
- Lubinsky, P., S. Bory., J. Hernández H., K. Seung Ch. y A. Gómez P. 2008. Origins and Dispersal of Cultivated Vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks, Orchidaceae). *Economic Botany* 62 (2):127-138.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 15: 473-497.
- Santillán, F. A., M. Trejo C., A. Martínez S., A. Martínez L., N. Vasquéz B. y L. Mejia S. 2019. Production potencial of *Vanilla planifolia* Jacks in Totonacapan, México, using geographic techniques. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 10 (4).



Soto, A. M.A. 1999. Filogeografía y recursos genéticos de las vainillas de México. Informe final SNIB-CONABIO del proyecto J101. Instituto Chinoín AC. México, D.F. 106 p.

Soto, A. M.A. y R.L. Dressler. 2010. A revision of the mexican and central american species of vanilla plumier ex miller with a characterization of their its region of the nuclear ribosomal DNA. LANKESTERIANA 9(3): 285-354. 2010.

Soto, A. M.A. 2006. La vainilla: retos y perspectivas de su cultivo. Biodiversitas. Boletín bimestral (mayo-junio) de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Núm. 66, 9 p.

Schlüter, P.M., M.A. A. Soto and S.A. Harris. 2007. Genetic variation in *Vanilla planifolia* (Orchidaceae). Economic botany 61 (4): 328-336.

Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV). 2014. Ginebra, Suiza. <http://www.upov.int/edocs/tgdocs/es/tg303.pdf>. [Consultado el 25 de junio, 2022]

Villanueva, V. S., M. Hernández A., G.C. Fernández C., A. Dorantes E., R. Dzibi G. y J. Martínez C. 2017. Wild *Vanilla planifolia* and its relatives in the Mexican Yucatán Península: Systematic analyses with ISRR and ITS. Botanical Sciences. 95(2): 169-187.



CONTROL MICROBIAL DEL ÁCARO BLANCO, *Polyphagotarsonemus latus* (BANKS) EN PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum*) EN INVERNADERO

Héctor Cabrera Mireles^{150*}, Félix David Murillo Cuevas¹⁵¹, Jimena Ortega Patricio¹⁵⁰, Magali Jimenez Jimenez¹⁵⁰, Jacel García Adame¹⁵¹, Andrés Vásquez Hernández¹⁵⁰, Arturo Andrés Gomes¹⁵⁰ y Rubén Uriel Herrera Bonilla¹⁵⁰

Resumen

El ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) es una plaga que se ha convertido en un severo problema fitosanitario y socioeconómico para los productores de pimiento morrón de varias partes del mundo, debido a su difícil control y resistencia a plaguicidas químicos. Los bioplaguicidas son eficaces en el control de plagas agrícolas, sin causar daños graves al ambiente o empeorar la contaminación del medio ambiente. El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la efectividad de productos biorracionales para controlar al ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*. Se evaluaron dos hongos entomopatógenos *Isaria javanica*, *Beauveria bassiana*, el insecticida comercial Oberon® y un tratamiento en blanco. Así mismo, se evaluaron tres bioestimulantes, *Trichoderma harzianum* cepa T22 + *Rhizophagus intraradices*® cepa INIFAP, Genifix®, Mix y un testigo en blanco. Se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Las variables de respuesta fueron: número de huevos vivos, número de ninfas vivas, número de adultos vivos y total de organismos. Se registraron diferencias estadísticas significativas entre la eficiencia de los plaguicidas en huevo, ninfa y adulto. En el total de organismos no se observó diferencia. En los días después de la aplicación (DDA), *I. javanica* fue eficiente a partir de 3DDA, mientras que *B. bassiana* y Oberon a partir de 5 DDA. En la interacción, los bioestimulantes no contribuyeron significativamente al control del acaro. *B. bassiana* mostró mayor eficiencia, mientras que *I. javanica* se comportó similar al Oberon.

Palabras clave: entomopatógenos, evaluación, eficiencia, muestreo, mortalidad

¹⁵⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor de correspondencia. hector_cabrera@hotmail.com

¹⁵¹ Instituto Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.



Introducción

El pimiento morrón pertenece a la familia de las Solanáceas, tiene relación con las variedades de chile dulce, en esta incluye alrededor de 75 géneros y unas 2,300 especies de distinto tamaño, forma, color y pungencia (SIAP, 2017); *Capsicum annuum* engloba a casi todas las variedades de chile cultivadas. Es de gran importancia comercial y económica tanto nacional como internacional por lo que es cultivada para su consumo en fresco, seco y en productos procesados.

En el año 2009 México ocupó el segundo lugar de producción mundial de pimiento morrón con 1 941,560 toneladas, china ocupó el primer lugar con una producción de 14 520,301 toneladas (FAOSTAT, 2011).

En la agricultura, además de la producción a campo abierto, se practica una amplia variedad de ambientes modificados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental, túneles con cubiertas de plástico y casas de malla sombra (FAO, 2018). También se implementan los cultivos en sistemas hidropónicos, sustratos inertes o en suelo, mismos que representan un ejemplo de ecosistemas artificiales para desarrollar la agricultura intensiva. (Juárez *et al.*, 2011).

Del total de la superficie sembrada de pimiento morrón, solo el 22% se cultiva bajo invernaderos y 44% bajo malla sombra. Este método de producción permite reducir el efecto negativo de las inclemencias del clima, plagas y enfermedades, el resto de superficie se cultiva a cielo abierto (Agroproductores, 2018).

La gran demanda de este y otros productos hortofrutícolas exigen altos estándares de calidad e inocuidad, lo que ha estimulado a la búsqueda de nuevas tecnologías que puedan proteger al cultivo: una de las mejores opciones es la agricultura protegida ya que ha modificado las formas de producir alimentos y generar múltiples ventajas para los productores. Entre las ventajas, es que permite el desarrollo de cultivos agrícolas fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, se enfrenta con éxito a plagas y enfermedades, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados, generando evidentemente un mejor ingreso para los productores (García-Hernández, *et al.*, 2020).

Un elemento fundamental que limita que el pimiento morrón esté presente en el mercado, es la existencia de plagas, como el ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*), que pueden provocar pérdidas que van del 5% hasta el 100% del cultivo. (Soto *et al.*, 2021).



El acaro blanco (*P. latus*) que se ha convertido en un severo problema fitosanitario y socioeconómico para los productores de varias partes del mundo, debido a su difícil control y resistencia a plaguicidas químicos, llegando a provocar una reducción en rendimientos del 80% por necrosis de los puntos de crecimiento, aborto de las flores y deformación en los frutos (Sevilla y Rodríguez, 2009; Montoya *et al.*, 2013).

La producción agrícola aumenta debido al crecimiento de la población y la demanda actual del mercado de consumo, se estima que para el año 2050 la población mundial será de entre 9.400 y 10.000 millones de personas (Bautista *et al.*, 2018). Para satisfacer la creciente demanda de alimentos, a menudo se utilizan fertilizantes y plaguicidas para aumentar la producción y protección de los cultivos. Sin embargo, el uso indiscriminado de estos productos químicos provoca efectos adversos en el medio ambiente y la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) registra cada año de 2 a 5 millones de casos de intoxicación por plaguicidas en todo el mundo, 200 000 muertes, y el 99% de estas muertes ocurren en países en desarrollo. Se considera que la agronomía es un método seguro para reducir el uso de plaguicidas y fertilizantes químicos, su objetivo es sustituir los productos químicos por productos biológicos y promover el uso de métodos adaptados a las condiciones. El uso de bioplaguicidas se ha convertido en una alternativa viable y sostenible para el control de plagas debido a que estos bioproductos no dejan residuos tóxicos y generalmente son específicos para el objetivo biológico, lo que reduce el riesgo de desarrollar resistencia a plagas y enfermedades. La inclusión de bioplaguicidas en un programa de manejo integrado reduce la necesidad de plaguicidas sintéticos y no tiene efectos negativos sobre el rendimiento (Arthurs y Dara, 2018).

Bioplaguicidas son todos los organismos vivos o productos naturales derivados de estos, que reducen las poblaciones de plagas (Thakore, 2006). Su mecanismo de acción está basado en los principios básicos de la patología vegetal y en sus interacciones con los agentes que causa daño directo, como las malas hierbas (bioherbicidas), las enfermedades de las plantas provocadas por hongos (biofungicidas), o las plagas de insectos (bioinsecticidas) (Nava *et al.*, 2012).

Los bioplaguicidas son eficaces en el control de plagas agrícolas, sin causar daños graves al ambiente o empeorar la contaminación del medio ambiente, su aplicación en el campo se enfoca a controlar la contaminación ambiental causada por residuos de plaguicidas químicos, aunque por su naturaleza biológica también promueven el desarrollo sustentable de la agricultura. Sin duda, van a reemplazar gradualmente a una cantidad de los plaguicidas químicos (Leng *et al.*, 2011).



Isaria javanica y *Beauveria bassiana* son los hongos mayormente estudiados y utilizados ampliamente como bioplaguicidas en el combate de insectos plaga; son hongos cosmopolitas que afectan a más de 700 especies de insectos (Motta-Delgado y Murcia-Ordoñez, 2011). Han mostrado gran potencial como agentes microbiológicos para el control de insectos plaga pertenecientes a diferentes ordenes, además de que han sido inofensivos contra organismos benéficos (Flores *et al.*, 2013).

Actualmente, uno de los plaguicidas sintéticos comerciales de mayor uso por su gran eficiencia es el insecticida Oberon® Speed 240 SC, el cual es un nuevo acaricida insecticida que actúa contra las plagas por contacto e ingestión, con movimiento translaminar. Es el único producto en el mercado con efectos en huevecillo, ninfa y adulto de ácaro rojo, mosquita blanca y minador (Bayer, 2022).

Por lo anterior se planteó el presente trabajo de investigación, donde pretendemos conocer si algunos bioplaguicidas son eficaces para el manejo del ácaro blanco en el cultivo del pimiento morrón bajo condiciones protegidas y con estos resultados desarrollar nuevas tecnologías que sean económicamente rentables, pero además que sean amigables con el medio ambiente, Messelink, *et al.*, (2020)

Como objetivo general se planteó evaluar la efectividad de productos biorracionales, usados como control del ácaro blanco en el pimiento morrón bajo condiciones de ambiente protegido. Se consideraron dos objetivos específicos, 1) identificar un bioplaguicida que tenga mayor eficiencia en el control del ácaro blanco (*Polyphagotarsonemus latus*) en pimiento morrón en ambiente protegido, 2) documentar el posible efecto de interacción de bioplaguicidas con bioestimulantes para control del ácaro blanco.

Materiales y Métodos

El proyecto de investigación se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al INIFAP, ubicado en las coordenadas geográficas de latitud norte 18°55'57.3" y Longitud oeste 96°11'31.3" del meridiano de Greenwich y se realizó en el periodo Enero-Julio de 2022.

El invernadero utilizado fue de tipo zenital, cubierto con plástico transparente con estructura metálica, ventilaciones en los laterales en forma natural y cubierto con mallas antiafidos. Con dimensiones de: 12 m de ancho, 50 m de largo y 2.5 m de alto; cuenta en el interior con un piso de tierra, sistema de riego por goteo, con 8 camas.



Se utilizó la variedad Rhino de pimiento morrón, de madurez intermedia, tolerante a las bacterias, color verde a rojo y de forma blocky. Se sembró en tresbolillo, a 50 cm de distancia entre plantas.

Tratamientos de bioplaguicidas

Se evaluaron dos bioplaguicidas *Isaria javanica*, *Beauveria bassiana* y un plaguicida sintético Oberon®, contrastados con un tratamiento en blanco, el insecticida comercial Oberon® en dosis de 1.25 mL/L, los hongos entomopatógenos *Isaria javanica* y *Beauveria bassiana*, ambos a dosis de 5.0 mL/L y el correspondiente testigo (sin aplicación). Para la aplicación de los productos, inicialmente se ajustó el pH del agua a 5.5 utilizando el acidificante y buferizante Dap-Plus 1.2 mL/L de agua complementando con el adherente no iónico INEX-A 1 mL/L de agua. Se aplicaron los productos con una bomba aspersora eléctrica con capacidad de 20 L de agua, cuidando del tamaño de la gota para que fuera lo más fina posible para tener una mayor cobertura del haz y envés de las hojas. Las aplicaciones se realizaron por la tarde después de las 4:00 pm para favorecer una mayor efectividad de los hongos entomopatógenos; debido que a temperaturas mayores de 37°C los hongos pueden reducir su eficiencia o morir.

Tratamientos de bioestimulantes

Se evaluaron tres bioestimulantes que fueron, 1) *Trichoderma harzianum* cepa T22 de PHC® 0.5% + *Rhizophagus intraradices*® cepa INIFAP; 2) Genifix® cepas de *Bacillus* del TecNM-ITUG; 3) Mix® comercial (mezcla de *Trichoderma harzianum*, *T. viridae*, *T. asperellum* y *T. koningii*). El *R. intraradices* se aplicó solamente mezclado con la semilla mientras que los demás bioestimulantes se aplicaron en drench mensual durante todo el ciclo cultivo, de la siguiente manera: T22 y Mix en 20 mL por planta; Genifix en 10 mL por planta.

Delimitación de parcelas

La delimitación de parcelas consistió en un diseño, en parcelas divididas en bloques completamente al azar; las parcelas grandes correspondieron a los Bioestimulantes, y la parcela chica a los Bioplaguicidas.

La parcela experimental consistió en seis plantas, en arreglo de doble hilera con tres plantas por hilera; la parcela útil correspondió a las dos plantas centrales de cada parcela experimental. Cada bloque consistió en los cuatro bioestimulantes (parcelas grandes) y cada bioestimulante contuvo a los cuatro tratamientos de bioplaguicidas. El experimento se distribuyó en dos camas de siembra. Cada cama contuvo cuatro parcelas grandes y 16 parcelas chicas



Diseño de muestreo

De cada parcela experimental se muestrearon dos plantas centrales (parcela útil) de las cuales se tomaron dos hojas de cada una, una en la parte superior y la otra de la parte media. En las cuales se registró la presencia de ácaro blanco por estado de desarrollo. Para el registro de los organismos se utilizó un molde de papel con un espacio de muestra de 1.44 cm² (1.2 x 1.2 cm), el cual se colocó en el envés de la hoja en forma de romboide, en la segunda nervadura de la hoja y en ese espacio se contabilizaron los huevos, ninfas y adultos vivos. El primer muestreo se realizó por la mañana antes de la aplicación de los bioplaguicidas y plaguicida; repitiendo cada muestreo los días 3, 5, 7 y 14 después de la aplicación de los productos.

Diseño estadístico

Para el desarrollo del experimento, se llevó a cabo un diseño factorial en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, con interacción. Los factores correspondieron a 1) Plaguicidas, 2) Días después de la aplicación (DDA), 3) Bioestimulantes. Las variables de respuesta fueron: número de huevos vivos, número de ninfas vivas, número de adultos vivos y total de organismos.

Los datos de los muestreos fueron transformados a eficiencia (%) mediante la fórmula de Henderson y Tilton, (Henderson y Tilton, 1955):

$$\text{Eficiencia \%} = \left(1 - \frac{(\text{n en Co antes del tratamiento} * \text{n en T después del tratamiento})}{(\text{n en Co después del tratamiento} * \text{n en T antes del tratamiento})}\right) * 100$$

Donde: n = número de insectos, T = tratado, Co = control

Para el análisis estadístico se utilizó el programa GLMM univariado, mediante los paquetes estadísticos SPSS 20 e INFOSTAT, obteniendo el análisis de varianza de los factores independientes y su interacción. La prueba de medias se realizó con la prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

Resultados y Discusión

Se registraron diferencias estadísticas en los factores individuales: bioplaguicidas en huevos, ninfas y adulto; DDA en ninfas; bioestimulantes no se observó diferencia estadística. En las interacciones se observó diferencia estadística únicamente en bioplaguicida* bioestimulantes en el total de organismos,



Eficiencia de plaguicidas. Se registraron diferencias significativas entre la eficiencia de los plaguicidas en huevo ($F_{2,612}= 8.201$ $p=0.001$), ninfa ($F_{2,74}=6.870$ $p=0.002$), adulto ($F_{2,222}=3.26$ $p=0.040$), en el total de organismos no se observó diferencia estadística ($F_{2,330}=1.99$ $p=0.1381$). *Beauveria bassiana* y Oberon sobresalieron en el control de huevos y adultos y fueron significativamente diferentes a *Isaria javanica*, en cuanto a ninfas en el bioplaguicida *Beauveria bassiana* se registró el mayor promedio de eficiencia, fue similar al producto Oberon y fue significativamente diferente a *Isaria javanica*, (Cuadro1).

Cuadro 1. Eficiencia (%) de bioplaguicidas en el control del ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero.

Plaguicidas	huevos	ninfas	adultos	total
<i>Beauveria bassiana</i>	83.33±8.6 ^a	92.16±6.1 ^a	55.13±5.8 ^a	68.71±4.4 ^a
Oberon	82.61±8.6 ^a	83.78±6.0 ^{ab}	56.46±7.4 ^a	61.08±5.3 ^a
<i>Isaria javanica</i>	38.10±9.2 ^b	64.29±7.3 ^b	37.29±5.6 ^b	56.19±4.5 ^a

En el factor DDA se observó diferencia estadística en ninfas ($F_{3,74}=3.866$ $p=0.013$), se registró mayor porcentaje de control a los 7 y 5 DDA, compartieron similitud estadística al 3 DDA y fueron diferentes estadísticamente a los 14 DDA (Figura 1).

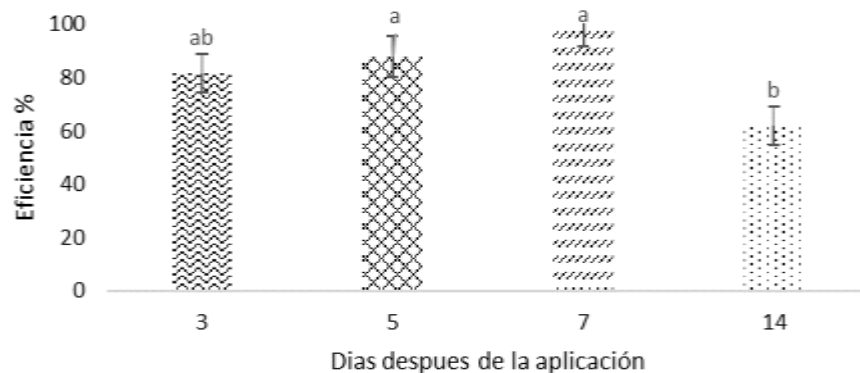


Figura 3. Eficiencia del factor DDA en el control de ninfas de acaro blanco *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero.

Eficiencia de la Interacción de plaguicidas*dda. Tomando en cuenta los días después de la aplicación (DDA) en cada una de las etapas fenológicas del acaro, se pudo observar la variación de la eficiencia



de los plaguicidas a través del tiempo. Para el caso de huevos el bioplaguicida *Beauveria bassiana* a tan solo 3 DDA registró arriba del 80% de eficiencia y a los 14 DDA alcanzó el 100% (Figura 2). En las ninfas, *Beauveria bassiana* y Oberon tuvieron efectos muy similares alcanzando el 100% al día 5 DDA, *Isaria javanica* alcanzó el 100% el día 7 (Figura 3). Para los adultos, al 3 DDA respondió mejor *Beauveria bassiana* con promedio de 76%, y se redujo a los días posteriores, *Isaria javanica* solo alcanzó el 58% en el día 3 y también se redujo posteriormente, el insecticida Oberon se mantuvo en las primeras 3 fechas con 60% y redujo efectividad a los 14 dda (Figura 4).

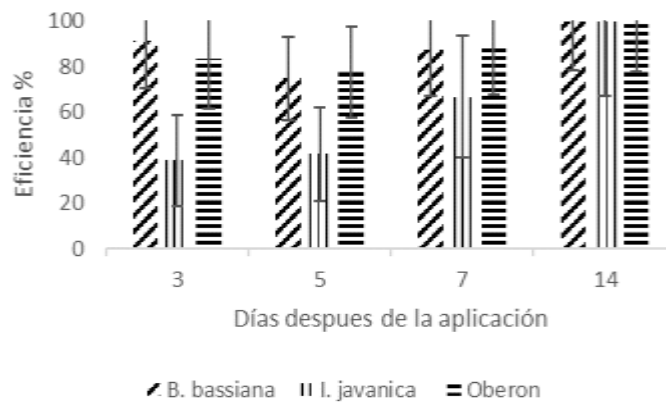


Figura 4. Eficiencia de plaguicidas en el control de huevos de ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero en relación con los días después de la aplicación.

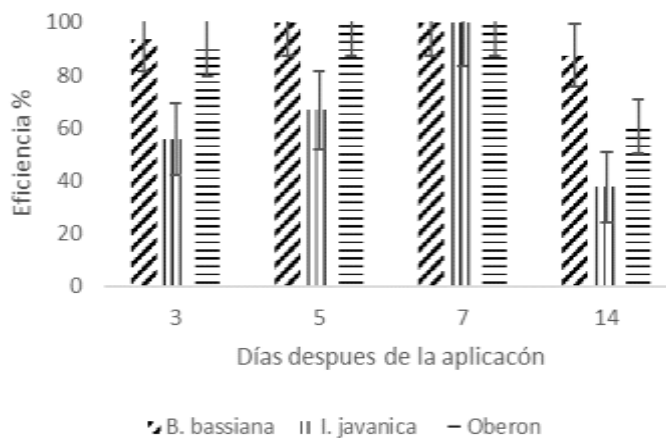


Figura 5. Eficiencia de plaguicidas en el control de ninfas de ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero en relación a los días después de la aplicación.

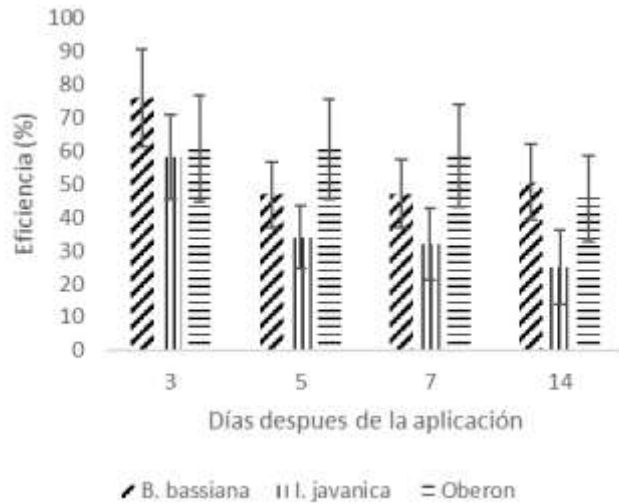


Figura 6. Eficiencia de plaguicidas en el control de adultos de ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero en relación a los días después de la aplicación.

Eficiencia de la Interacción plaguicida*bioestimulante. Se registraron diferencias significativas en el total de organismos ($F_{6,330}=3.56$, $P=0.002$), observándose que los bioestimulantes no contribuyeron al control del acaro, ya que la mayor eficiencia se dio con la interacción Oberon*blanco (Figura 5).

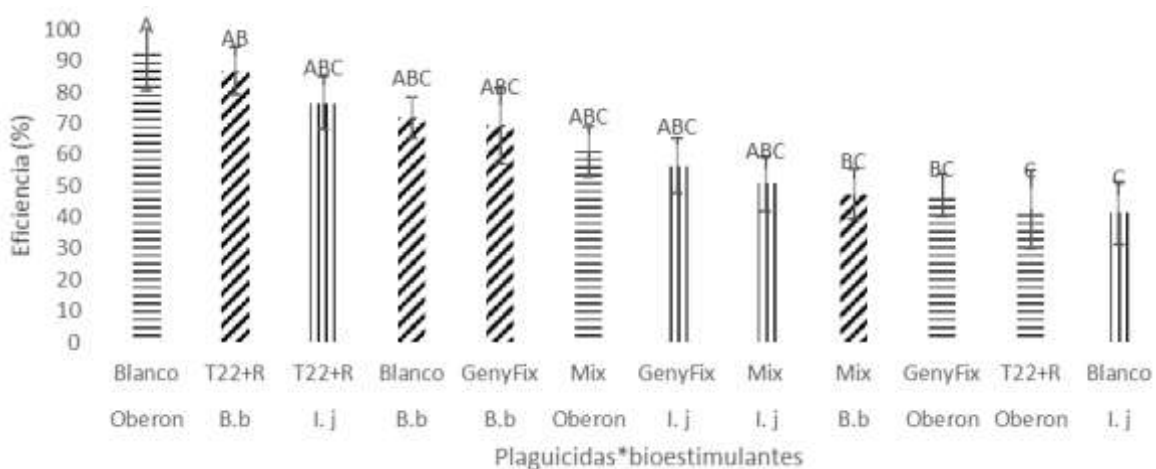


Figura 7. Eficiencia de la interacción plaguicida* bioestimulante en el control de ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en invernadero. T22+R= *Trichoderma harzianum* +*Rhizopagus intraradices*, Bb= *Beauveria bassiana*; Ij= *Isaria javanica*.

Martins *et al.*, (2014) al utilizar el aislamiento *B. bassiana*. Unioeste 53 sobre poblaciones de *Polyphagotarsonemus latus*, obtuvieron tasas de mortalidad total y confirmada de 70% y 57,7%,



respectivamente. En el invernadero, la población disminuyó en un 76,71% al día 16 después de la aplicación. En el campo, la población disminuyó en un 66% al día 12 después de la aplicación, lo que demostró el potencial de este hongo para el manejo de ácaros. Una prueba de invernadero en moreras, reveló que *Metarhizium anisopliae* podría reducir la amplia población de ácaros dentro de los 4 días posteriores al tratamiento. Sin embargo, después de 7 días, su eficacia disminuyó significativamente, Maketon *et al.*, (2008). Un bioensayo de dosis mortalidad reveló que *B. bassiana* (aislado de *Glenia celia*, BbGc) causó una mortalidad de hasta el 80,88% a una dosis de 1×10^8 conidios/mL, mientras que *M. anisopliae* (aislado de *Phylotreta striolata*, MaPs) y *P. fumosoroseus* (aislado de *Pteroma pendula*, PfPp) causaron 60 y 90% de mortalidad, Puspitarini *et al.*, (2022).

Conclusiones

1. El bioplaguicida *Beauveria bassiana* igualó al insecticida *Oberon* con la mayor eficiencia para controlar ácaro blanco, *Polyphagotarsonemus latus*, en chile morrón en condiciones de invernadero.
2. Se demostró que *Beauveria bassiana* tiene un efecto rápido (3 DDA) para controlar el ácaro blanco.
3. La eficiencia de *Isaria javanica* resultó mayor a los 7 y 14 DDA en huevos y ninfas, llegando a ser igual que *Beauveria bassiana* y al insecticida comercial *Oberon*.
4. Los bioplaguicidas *Beauveria bassiana* e *Isaria javanica* pueden ser considerados como una alternativa eficiente para el control de ácaro blanco, *P. latus*, por sus altos porcentajes de eficiencia y por ser productos de nulo impacto ambiental.

Literatura citada

- Agroproductores. 2018. El cultivo de pimiento morrón en México. <https://agroproductores.com/pimiento-morrón-en-méxico/> Consultado 20 julio 2022
- Arthurs S. y K. Dara S. 2018. Microbial biopesticides for invertebrate pests and their markets in the United States. *J Invertebr Pathol.* 2019 Jul;165:13-21. doi:10.1016/j.jip.2018.01.008.



Bautista, E.J., L. Mesa, A. Gómez y I. Martha. 2018. Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria*, 9(4),585-604. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.15>.

Bayer. 2022. Oberon® es un insecticida-acaricida. <https://www.cropscience.bayer.es/Productos/Insecticidas/> Consultado 20 julio 2022.

FAO. 2018. El futuro de la alimentación y la agricultura: vías alternativas hacia el 2050. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <http://www.fao.org/3/CA1553ES/ca1553es.pdf>

Flores M., M. A. Antonio, R. Ramos-López, G. Espinosa, D. Juárez R., P. Díaz, M., y S. Rodríguez N. 2013. Estudio del hongo entomopatógeno *Isaria fumosorosea* como control microbiológico de la mosquita blanca *Bemisia tabaci*. *Interciencia*, 38 (7),523-527.Fecha de Consulta 11 de Junio de 2022]. ISSN: 0378-1844. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33928556008>

FOASTAT. 2011. Estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Estadísticas de países productores y comercializadores de productos agrícolas. Disponible en la página web <http://faostat.fao.org>. Fecha de consulta (Julio de 2022)

García-Hernández, S. A., J. Marín-Sánchez, M. Romero-Méndez, C. Hernández-Pérez, and S. López-Aguirre. 2020. Productive and quality response of six varieties of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) to organic fertilization in Guadalupe, S.L.P. *Revista Bio Ciencias* 7, e743. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e743>

Juárez L. P., R. Bugarín M., R. Castro B., M. L. Sánchez-Monteón, E. Cruz-Crespo, C. R. Juárez-Rosete, *et al.* 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*. Año 3 No. 8. ISSN 2007 – 0713.



- Leng, P., Z. Zhang, G. Pan y Z. Maojun. 2011. Applications and development trends in biopesticides. *African Journal of Biotechnology*. 10(86):19864-19873
- Maketon, M., P. Orosz-Coghlan y J. Sinprasert. 2008. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycota: Hyphomycetes) for control of broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae) in mulberry. In: Bruin, J., van der Geest, L.P.S. (eds). *Diseases of Mites and Ticks*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9695-2_13
- Martins, C. C. A. Alvesa, L. F. P. Mamprima A. y A. Souzaa L. P. 2016. Selection and characterization of *Beauveria* spp. isolates to control the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae). *Braz. J. Biol.* 76(3):629-637. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.22614>
- Messelink, G.J., R. Labbé, G. Marchand y L. Tavella, L. 2020. Sweet Peppers. In: Gullino, M., Albajes, R., Nicot, P. (eds) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops. Plant Pathology in the 21st Century*, vol 9. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22304-5_18
- Montoya, H. R., I. Miranda y Y. Rodríguez. 2013. Percepción de los fitosanitarios sobre el control de *Polyphagotarsonemus latus* (Banks) en la producción protegida de pimiento. *Rev. Protección Veg.* 28 (1):60-64.
- Motta-Delgado, P. A. y B. Murcia-Ordoñez. 2011. Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Revista Ambiente & Água* – 6(2):77-90. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.187>
- Nava P., E., C. García G., J. R. Camacho B. y E. L. Vázquez M. 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3b),17-29. [fecha de Consulta 29 de octubre de 2021]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177003>



- Nugroho, I. y Y.B. Ibrahim. 2004. Laboratory bioassay of some entomopathogenic fungi against broad mite (*Polyphagotarsonemus latus* Bank). International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan) Volume: 6 (2): 223-225.
- Puspitarini, R. D., I. Fernando, T. Widjayanti y M. Ihsan. 2022. Compatibility of the aqueous extract of *Mimosa pudica* and the entomo-acaropathogenic fungus *Beauveria bassiana* in controlling the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). Persian Journal of Acarology, 11(1), 115–131. <https://doi.org/10.22073/pja.v11i1.69081>
- Sevilla M. E. B. y V E. G. Rodríguez. 2009. Evaluación de alternativas químicas y botánicas para el manejo del ácaro blanco (*Poliphagotarsonemus latus*, bank.) En chiltoma (*Capicum annum* l.), Tisma, Masaya. Trabajo de diploma. <https://repositorio.una.edu.ni/2075/1/tnh10s511.pdf>
- SIAP. 2017. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> Consultado 20 julio 2022.
- Soto, A. R., R. A. Vargas y, B. J. Jiménez. 2021. Ecosistema de datos agrícolas: sector hortícola mexicano. Repositorio De La Red Inernacional De Investigadores En Competitividad,14(14). Recuperado a partir de <https://www.riico.net/index.php/riico/article/view/1897>
- Thakore, Y. 2006. The Biopesticide Market for Global Agricultural Use. Industrial Biotechnology 2(3):194-208. doi:10.1089/ind.2006.2.194.



LEGUMINOSAS POTENCIALES PARA SER USADAS COMO ABONO VERDE EN EL CULTIVO DE MAÍZ

Nain Peralta Antonio^{152*}, Andrés Rebolledo Martínez¹⁵², María Enriqueta López Vázquez¹⁵²
y Rosa Laura Rebolledo García¹⁵²

Resumen

Investigaciones previas realizadas en la región costera central de Veracruz reportan que diferentes leguminosas tropicales pueden suministrar al suelo entre 73 y 435 kg/ha de nitrógeno (N), lo que en teoría puede suplir entre el 45 y 100% del total de N requerido por el cultivo de maíz. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el crecimiento y rendimiento del maíz H520 en función del uso de tres especies de leguminosas tropicales, así como fertilizantes inorgánicos y el abono orgánico bokashi, con la finalidad de identificar abonos verdes potenciales que sirvan como una fuente exclusiva o complementaria de N en dicho cultivo. Los tratamientos fueron conformados por el uso exclusivo de *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* y *Mucuna aterrima*, leguminosas combinadas con el 50% de la dosis de N y fósforo (P) mineral, aplicación exclusiva del 50% y 100% de fertilización inorgánica (150-46-00 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O) y aplicación exclusiva de bokashi (25 t/ha). No existieron diferencias estadísticas entre tratamientos para las variables altura del jilote, altura de la hoja bandera, densidad de plantas por hectárea, rendimiento (kg/ha) y peso de olotes (kg/ha). La única variable que mostro diferencias fue peso seco de la biomasa aérea del maíz, *C. ensiformis* presentó menor peso seco en comparación con la *M. aterrima*. Por lo que, en un suelo con buena fertilidad en la región central de Veracruz, *M. aterrima* tiene potencial de ser utilizada como fuente exclusiva de N en el cultivo de maíz; mientras que, *C. cajan* y *C. ensiformis* son especies que pueden contribuir parcialmente en el suministro de N, por lo que, se recomienda aplicarlo en conjunto con bajas dosis de fertilizantes inorgánicos o de abonos sólidos, como el bokashi. Nuevas investigaciones se recomiendan para corroborar los resultados detectados en la presente investigación.

¹⁵² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: peralta.nain@inifap.gob.mx



Palabras Clave: fertilidad de suelo, fijación biológica de nitrógeno, nutrición vegetal, *Zea mays*

Introducción

En México, el maíz es un cultivo de gran relevancia debido a su importancia en la seguridad alimentaria del país, sin embargo, la cantidad de maíz producido no es suficiente para cubrir la demanda nacional, lo que conlleva a la importación de granos (Reyes Santiago *et al.*, 2022). Durante el 2022 se cosecharon alrededor de 6.904 millones de hectáreas, con una producción de alrededor 26.553 millones de toneladas (SIAP, 2023). En el estado de Veracruz, para la producción de maíz de grano a nivel comercial, se recomienda aplicar entre 110 y 160 kg/ha de nitrógeno (N) y alrededor de 46 kg/ha de fósforo (P) (Sierra-Macías *et al.*, 2010; López-Morales *et al.*, 2017; Capetillo-Burela *et al.*, 2021). La principal forma en que se nutre el maíz es mediante la utilización fertilizantes inorgánicos (Jaramillo Albuja *et al.*, 2018), siendo sus principales ventajas la rápida disponibilidad de los nutrientes y su baja cantidad de insumos requeridos por hectárea. Entre los inconvenientes de estos insumos incluyen la mayor probabilidad de pérdida debido a la lixiviación y arrastre por lluvia, acumulación de sales en el suelo, reducción de la biodiversidad edáfica del suelo, reducción paulatina de la fertilidad del suelo y amplia fluctuación en el costo de producción debido a los cambios en el precio de los insumos (Menšík *et al.* 2018; Kulkarni y Goswami, 2019).

Debido a los inconvenientes antes mencionado, se buscan nuevas alternativas de fertilización para reemplazar parcial o totalmente a los fertilizantes inorgánicos. Entre esas alternativas se encuentran los abonos verdes y abonos sólidos fermentados, como las compostas y el bokashi. Los abonos verdes se caracterizan por el uso de especies vegetales, principalmente las que pertenecen a la familia de las Fabaceas o también conocidas como leguminosas, debido a su capacidad de formar simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, dejando disponible este nutriente para ser usados por los cultivos agrícolas de interés. En cuanto a los abonos orgánicos sólidos, sus características químicas cambian en función de los insumos utilizados en su elaboración, además, presentan una baja concentración de nutrientes. Por lo anterior, si se pretende utilizar abonos orgánicos sólidos como la única fuente de nutrición, su principal desventaja es que se requieren grandes cantidades de estos insumos para suministrar la cantidad de nutrientes requerida por la planta. De acuerdo con estudios realizados, se requiere entre 19 y 60 t/ha de composta para suministrar la cantidad de nutrientes



requeridos por el maíz (Lagunes-Domínguez *et al.*, 2018). Estas grandes cantidades no son viables desde el punto de vista operativo, ya que, puede encarecer el costo de producción debido al costo de los insumos, dificulta su aplicación al suelo, además de que se requiere una gran cantidad de insumos orgánicos.

Considerando lo anterior, la mejor estrategia sería un manejo integrado de la nutrición, donde se considere el uso de abonos verdes, abonos orgánicos sólidos y bajas dosis de fertilizantes inorgánicos. En la región central de Veracruz, se detectaron diferentes especies de leguminosas tropicales que pueden ser utilizados como abono verde, y dependiendo de la especie se pueden incorporar al suelo entre el segundo y cuarto mes posterior a la siembra, logrando producir entre 4 y 17 t/ha de materia seca, que se traduce en un suministro de N entre 73 y 435 kg/ha (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022), lo que en teoría podría suplir parcial o totalmente a los fertilizantes nitrogenados. Con base en lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el crecimiento y rendimiento del maíz H520 en función del uso de tres especies de leguminosas tropicales, así como fertilizantes inorgánicos y el abono orgánico bokashi, con la finalidad de identificar abonos verdes potenciales que sirvan como una fuente exclusiva o complementaria de nitrógeno en dicho cultivo.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental Cotaxlta, (Figura 1), ubicado en el municipio de Medellín, Veracruz, en las coordenadas 18°56'05.5"N 96°11'40.8"W. Antes de la siembra el suelo utilizado presentó un pH de 5.62, materia orgánica de 2.88%, de textura franca, con, 11% arcilla, 41% arena y 48% de limo, respectivamente. 106 ppm de nitrógeno nítrico (Brusina), 60 ppm de P-PO₄⁻ (Bray) 20 ppm de S-SO₄⁻² (Turbidimetrico), 680 ppm de K⁺ (Ac.NH₄ pH 7.0), 1,990 ppm de Ca⁺² (Ac.NH₄ pH 7.0) y 510 ppm de Mg⁺² (Ac.NH₄ pH 7.0). El suelo no fue cultivado en los dos años anteriores, se mantuvo con las arvenses locales, sobresaliendo las especies *Sorghum halepense* y *Cyperus rotundus*. Los tratamientos fueron conformados por la combinación de tres especies de abonos verdes, bokashi, así como el 100 y 50% de la fertilización inorgánica, resultando un total de 11 tratamientos (Cuadro 1), Se utilizó un diseño en bloques al azar, con tres repeticiones por tratamiento. El 100% de la fertilización correspondió a una dosis de 150-46-00 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, recomendado



para una densidad de 62,500 plantas/ha (Capetillo-Burela *et al.*, 2021). Para estimar la dosis por planta, la cantidad total de nutrientes se dividió entre la densidad de plantación.

Cuadro 1. Combinación de los abonos verdes *Canavalia ensiformis*, *Cajanus cajan* y *Mucuna aterrima*, con fertilización inorgánica, el abono orgánico bokashi y microorganismos eficientes locales, para la fertilización del maíz.

Tratamiento	Especie de abono verde	Fertilización	
		inorgánica N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg/ha)	Bokashi (t/ha)
1 CAEN	<i>C. ensiformis</i>	-	-
2 CAJCAJ	<i>C. cajan</i>	-	-
3 MUCATE	<i>M. aterrima</i>	-	-
4 CAEN+50N-100P	<i>C. ensiformis</i>	80-46-00	-
5 CAJCAJ+50N-100P	<i>C. cajan</i>	80-46-00	-
6 MUCATE+50N-100P	<i>M. aterrima</i>	80-46-00	-
7 Bokashi	-	-	25
8 50N-50P	-	80-23-00	-
9 50N-100P	-	80-46-00	-
10 100N-100P	-	160-46-00	-
11 Testigo	-	-	-

Para establecer los abonos verdes, la preparación del suelo consistió en dos pasos de rastra el 10/06/2022. El surcado de se realizó un mes posterior al rastreo (11/07/2022). La distancia entre surcos fue de 0.8 m, resultando un total de 125 surcos por hectárea. Las leguminosas utilizadas como abono verde fueron sembradas tres días después del surcado (14/07/2022). Para *C. ensiformis* y la *M. aterrima*, se depositó una semilla cada 20 cm, resultado en una densidad de 62 500 plantas/ha. Para el *C. cajan*, se utilizó 5 g de semilla por metro lineal, resultado en 62.5 kg de semilla por hectárea, respectivamente. Para los tratamientos que incluyeron abono verde, en cada unidad experimental, para cada especie se sembraron cinco surcos de 10 metros lineales. En los tratamientos que no incluyeron abonos verdes, se mantuvo las especies de arvenses locales.



El corte de los abonos verdes se realizó cuatro meses posteriores a la siembra (13/12/2022), de acuerdo con Ávila-Escobedo *et al.* (2022), utilizando una chapeadora. Al momento del corte en cada unidad experimental se realizó un muestreo en 1 m² para estimar la cantidad de materia seca producida por el *C. cajan* (13 y 8 t/ha de la leguminosa y de arvenses, respectivamente), *C. ensiformis* (3 y 4 t/ha de la leguminosa y de arvenses, respectivamente) y *M. aterrima* (9 y 5 t/ha de la leguminosa y de arvenses, respectivamente). En unidades experimentales que no se estableció abonos verdes, únicamente se estimó la materia seca de las arvenses (en promedio 6 t/ha).

Diez días posterior al chapeo se realizó 4 pasos de rastra y formaron surcos con distanciamiento de 0.8 m. El maíz H-520 se sembró el 27/12/2022. La siembra se realizó con espeque, depositando dos semillas cada 40 cm, que equivale a una densidad aproximada de 62,500 plantas/ha.

En los tratamientos que incluyeron fertilizantes inorgánicos y bokashi, la aplicación de los insumos se realizó en una sola aplicación, ambas se realizaron un mes posterior a la siembra (26/01/2023) de forma mateada. La fertilización inorgánica se realizó utilizando como fuentes la urea (46% de N) y difosfato de amonio (18% de N y 46% de P₂O₅). En cuanto al bokashi, se aplicó una dosis de 400 g por planta (en peso seco), equivalente a 25 t/ha. El bokashi utilizado presentó un pH de 6.56, con 0.48% de materia orgánica, 20% N total, 1.42% N-NO₃⁻, 0.23% P₂O₅, 1.47% K₂O, 1.42% Ca⁺², 2.6% Mg⁺². La relación C/N fue de 8.8. En el mismo día que se realizó la aplicación de fertilizantes inorgánicos y el bokashi. Como medida de protección contra plaga, 15 días posteriores a la siembra, se realizó una aplicación del ingrediente activo cipermetrina en dosis comercial. Se realizó el control de arvenses de forma manual y riegos rodados cada vez que fueron necesarios.

A los 99 días posteriores a la siembra del maíz, se registró la altura del jilote y de la hoja bandera, en cada unidad experimental se realizó la medición en tres plantas con competencia completa. Las mismas plantas que fueron medidas, se colectaron, trituraron y se secaron en estufa de secado con aire forzado a 70°C hasta alcanzar peso constante. Con estos datos se estimó el peso seco de total de biomasa en una hectárea. A los 154 días posteriores a la siembra, se realizó la cosecha del maíz. Para estimar la densidad de plantas por hectárea al momento de la cosecha, en cada unidad experimental se cuantificó y cosecho el total de plantas presentes en un surco central. Las mazorcas cosechadas fueron desgranadas y posteriormente se registró el peso de granos y peso de olote. Con peso de grano por planta y el número de plantas por hectárea, se estimó el rendimiento por hectárea. Para conocer el efecto de los tratamientos los datos fueron sometidos a análisis de varianza y la comparación de Mínima Diferencia Significativa (LSD) con $\alpha = 0.05$.



Resultados y Discusión

No se detectó diferencias estadísticas entre tratamientos, en cuanto a la altura del jilote, altura de la hoja bandera, densidad de plantas por hectárea, rendimiento y peso de olotes por hectárea (Cuadro 2).

El efecto de los tratamientos únicamente se detectó en el peso seco de la biomasa aérea del maíz. Un menor peso seco se detectó con CAEN en comparación con la MUCATE (Figura 1).

Cuadro 2. Respuesta del maíz H520 manejado con los abonos verdes *Canavalia ensiformis* (CANENS), *Cajanus cajan* (CAJCAJ) y *Mucuna aterrima* (MUCATE), así como del nitrógeno y fósforo aplicado al 100 (100N y 100P) o 50% (50N y 50P) de la dosis recomendada y aplicado a través de fertilizantes inorgánicos, así como el uso del abono orgánico bokashi.

Tratamientos	Altura de jilote (cm)	Altura de la hoja bandera (cm)	Plantas por hectárea	Rendimiento (kg/ha)	Peso de olote (kg/ha)
CAEN	70 a	155 a	55921 a	4168 a	1099 a
CAJCAJ	64 a	163 a	48036 a	4311 a	1098 a
MUCATE	65 a	165 a	44474 a	4503 a	1056 a
CAEN+50N-100P	70 a	151 a	53503 a	4395 a	1196 a
CACAJ+50N-100P	68 a	147 a	42192 a	4521 a	1174 a
MUCATE+50N-100P	69 a	154 a	43339 a	4804 a	1084 a
Bokashi	68 a	155 a	51015 a	4288 a	994 a
50N-50P	75 a	165 a	55644 a	5357 a	872 a
50N-100P	68 a	159 a	47702 a	4646 a	979 a
100N-100P	71 a	158 a	55641 a	6047 a	1220 a
Sin fertilización	62 a	147 a	49732 a	3965 a	949 a

*CAEN= *Canavalia esformis*; CAJCAJ =*Cajanus cajan*; MUCATE= *Mucuna aterrima*; 50N –100P= 50% y 100% de la dosis recomendada de nitrógeno y fósforo, respectivamente aplicado a través de fertilizantes inorgánicos; 50N-50P= 50% de la dosis recomendada de nitrógeno y fósforo aplicado a través de fertilizantes inorgánicos; 100N-100P= 100% de la dosis recomendada de nitrógeno y fósforo aplicado a través de fertilizantes inorgánicos.

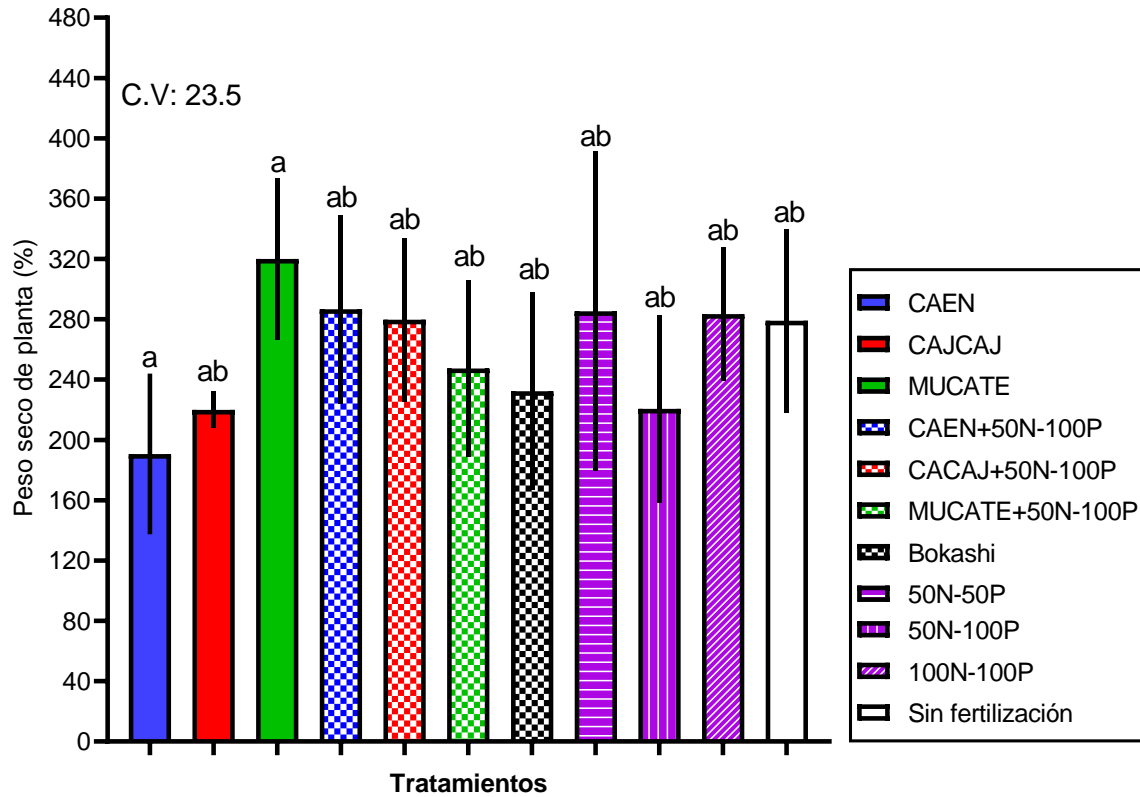


Figura 1. Peso seco de la biomasa aérea del maíz H520 manejado con los abonos verdes *Canavalia ensiformis* (CANENS), *Cajanus cajan* (CAJCAJ) y *Mucuna aterrima* (MUCATE), así como del nitrógeno y fósforo aplicado al 100 (100N y 100P) o 50% (50N y 50P) de la dosis recomendada y aplicado a través de fertilizantes inorgánicos, así como el uso del abono orgánico bokashi.

Inicialmente, para diferentes variables, se esperaban diferencias estadísticas entre los tratamientos, principalmente entre el testigo y aquellos que incluyeron fertilización inorgánica y el bokashi, sin embargo, esta situación no ocurrió. Lo anterior se atribuye a una buena fertilidad del suelo, de acuerdo con los resultados del análisis de suelo, a una profundidad de 20 cm, se encontró una concentración de 106, 60 y 680 ppm de N-nítrico, P y K, respectivamente; si se considera una densidad aparente de 1 g/cm³, en esa profundidad, la cantidad de suelo sería 2000 m³/ha, lo que representa una disponibilidad de aproximadamente 212, 120 y 1360 kg/ha, respectivamente; por lo tanto, se espera que el efecto de los tratamientos de fertilización se presenten posterior a dos o tres ciclos de producción, principalmente si durante la cosecha se retira toda la biomasa producida por el maíz.

En cuanto a los tratamientos que incluyeron la aplicación exclusiva de abonos verdes, desde el inicio ya se esperaba una mayor producción de materia seca total o de rendimiento con la MUCATE, ya que, de las tres especies evaluadas es la que se reporta con la relación C/N más bajo y con alta capacidad para



suministrar N. Para la CAJCAJ, CANENS y MUCATE, en investigaciones previas desarrolladas en la misma región donde se desarrolló el presente estudio, se reportan valores de relación C/N de 31-34, 17-18 y 13-18 y un suministro de 15, 25-26 y 26-30 kg de N por cada tonelada de materia seca producida, respectivamente (Ávila-Escobedo et al., 2022).

Considerando la concentración de N por tonelada y las 13, 3 y 9 t/ha de materia seca producida por CAJCAJ, CANENS y MUCATE se estima que para este estudio suministraron alrededor de 195, 75-78 y 234-270 kg de N por hectárea, respectivamente. Tomando en cuenta la baja relación C/N y la mayor cantidad de N suministrado por la MUCATE, se especula que con esta especie ocurrió una mayor velocidad de mineralización (Wattier *et al.*, 2020) y en consecuencia una mejor sincronía entre la liberación de nutrientes y la demanda del cultivo (Abera y Gerkabo 2021). A pesar de que la CANENS también presenta una baja relación C/N, la cantidad de N suministrado fue menor. Se espera esta baja cantidad de N ocasionó un efecto de inmovilización de N debido a la actividad de los microorganismos edáficos, lo que resultó en una deficiencia de este nutriente y en consecuencia menor crecimiento de la planta de maíz.

Es importante mencionar que los abonos verdes se mantuvieron en campo alrededor de cuatro meses, por lo tanto, esta tecnología se puede implementar en cualquier unidad de producción ubicado en regiones tropicales que cuente con riego; sin embargo, para condición temporal, esta tecnología se recomienda para regiones donde el tiempo de precipitación es superior a ocho o nueve meses, con ello se incrementa la probabilidad de que el maíz cumpla su ciclo productivo sin estrés hídrico. Para regiones tropicales donde el tiempo de precipitación es de seis o siete meses, esta tecnología se recomienda principalmente para la producción de elotes, ya que, es probable que sufra estrés hídrico durante la maduración del grano, lo que puede afectar negativamente el rendimiento. El uso de estos abonos verdes no se recomienda para regiones donde el periodo de lluvia es inferior a cinco meses, salvo que se pretenda utilizar como cobertera o para algún cultivo con ciclo productivo muy corto (menos de dos meses). Considerando lo anterior, para investigaciones futuras se recomienda enfocarse en alternativas agronómicas o nuevas especies de leguminosas que permitan obtener una producción de materia seca superior a 7 t/ha en un periodo inferior a cuatro meses. También se recomienda que en futuros estudios se considere el uso de prácticas agronómicas que promuevan la velocidad de mineralización de los abonos verdes, tales como el uso de bioles o microorganismos eficientes, que han demostrado tener efectos positivos en otros cultivos agrícolas (Kumar *et al.*, 2022).



Conclusión

De acuerdo con los resultados, se concluye que, en un suelo con buena fertilidad en la región central de Veracruz, la *Mucuna aterrima* es un abono verde potencial para ser utilizada como fuente exclusiva de nitrógeno en el cultivo de maíz; mientras que, *Cajanus cajan* y *Canavalia ensiformis* son especies que pueden contribuir parcialmente en el suministro de nitrógeno, por lo que, se recomienda aplicarlo en conjunto con bajas dosis de fertilizantes inorgánicos o de abonos sólidos, como el bokashi.

Literatura Citada

Abera, G., and H. Gerkabo. 2021. Effects of green manure legumes and their termination time on yield of maize and soil chemical properties. *Archives of Agronomy and Soil Science* 67(3):397-409.

Ávila-Escobedo, M. de J., N. Peralta-Antonio, G. Montiel-Vicencio, L. I. Trejo-Téllez, A. Rebolledo-Martinez and P. Sanchez-Garcia. 2022. Screening of Potential Legume to be Used as Green Manure in Tropical Areas of Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3):3172-3188.

Capetillo-Burela, A., C. J. López-Collado, R. Zetina-Lezama, R. Chávez, C. Matilde-Hernández, M. Cadena-Zapata y J. A. López-López. 2021. Modelo conceptual de fertilización nitrogenada para maiz (*Zea mays* L.) en Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 7(14):1636-1650.

Jaramillo Albuja, J. G., B. V. Peña Olvera, J. H. Hernández Salgado, R. Díaz Ruiz y A. Espinosa Calderón. 2018. Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9(5):911-923.



- Kulkarni., S. and A. Goswami. 2019. Effect of Excess fertilizers and nutrients: a review on impact on plants and human population. Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM), Amity University Rajasthan, Jaipur - India, February 26–28, 2019, pp. 2094–2099.
- Kumar, P. A., K. Chozhan, P. Dhevagi, S. Mahimairaja, R. Prabhu, and R. Poornima. 2022. A comparative study of effective microorganisms (EM) and biocompost in the decomposition of coconut waste material. *Journal of Applied and Natural Science* 14(SI)129-137.
- Lagunes-Domínguez, A., J. Vilaboa-Arroniz, D. E. Platas-Rosado, G. López-Romero and A. Alonso-López. 2018. Evaluation of different levels of compost as fertilization strategy in maize cultivation (*Zea mays* L.). *Agroproductividad* 11(1):32-36.
- López-Morales, F., M. G. Vázquez-Carrillo, J. D. Molina-Galán, J. J. García-Zavala, T. Corona-Torres, S. Cruz-Izquierdo, *et al.* 2017. Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(5):1035-1050.
- Menšík, L., L. Hlisnikovský, L. Pospíšilová, and E. Kunzová. 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *Journal of Soils and Sediments* 18:2813-2822.
- Reyes-Santiago, E., F. Bautista-Mayorga, and J. A. Garcia-Salazar 2022. Análisis del Mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta Universitaria* 32:1-16.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sierra-Macías, M., A. Palafox-Caballero, G. Vázquez-Carrillo, F. Rodríguez-Montalvo y A. Espinosa-Calderón. 2010. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía mesoamericana* 21(1):21-29.



Wathier, M., N. Peralta Antonio, J. A. Gomes, S. B. F. Rocha, and R. H. S. Santos. 2020. Decomposition of green manure with different grass: legume ratios. *Archives of Agronomy and Soil Science* 66(7):913-924.



LEGUMINOSAS TROPICALES POTENCIALES PARA SER USADAS COMO ABONO VERDE EN EL CULTIVO DE CAÑA

Nain Peralta Antonio^{153*}, Maurilio Mendoza Mexicano¹⁵³, María Enriqueta López Vázquez¹⁵³, Rosa Laura Rebolledo García¹⁵³ y Andrés Rebolledo Martínez¹⁵³

Resumen

Los abonos verdes son una alternativa para favorecer la nutrición, mejorar la fertilidad del suelo y controlar arvenses en los cultivos agrícolas. En México, existe poca información sobre el uso de esta tecnología en el cultivo de caña de azúcar, por lo tanto, el objetivo fue cuantificar la producción de biomasa y de semillas de seis especies de leguminosas intercaladas con el cultivo de caña, y determinar su efecto en la producción de tallos molederos, para identificar leguminosas potenciales para usarlas como abono verde en dicho cultivo. El experimento se estableció en el Campo Experimental Cotaxtla. La variedad de caña utilizada fue la ‘Mex 69-290’, establecida el 18 de julio del 2022. Los tratamientos consistieron en las especies de leguminosas: *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria paulina*, *Cajanus caja* y *Sesbania* sp. Se sembraron de forma intercalada, cuatro días después de la caña. Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con cuatro repeticiones. En la etapa de floración de las leguminosas, la altura de planta y el peso de biomasa, fresca y seca, fue mayor en *C. cajan* y *C. juncea*. El mayor rendimiento de semilla se registró en *C. cajan* y *C. ensiformis*. La mayor densidad de tallos de caña se cuantificó en *Sesbania* sp., *C. ensiformis*, *C. breviflora* y *C. paulina*. La menor densidad de tallos se observó en *C. cajan* y *C. juncea*. Los resultados muestran que, la mayor producción de biomasa se logra con las especies de mayor altura (*C. cajan* y *C. juncea*), sin embargo, este factor no influye en producción de semilla, ya que, en *C. ensiformis* el rendimiento fue similar. Por otra parte, a mayor altura de la planta y biomasa, existe un efecto negativo sobre la producción de tallos molederos de caña de azúcar. Se recomienda desarrollar nuevos experimentos para corroborar los resultados de esta investigación.

Palabras Clave: Densidad de plantas, nitrógeno, rendimiento de grano, *Saccharum officinarum*

¹⁵³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: peralta.nain@inifap.gob.mx



Introducción

La caña de azúcar es un cultivo de importancia en México, para el 2022 se reportó una superficie sembrada de 832 248 hectáreas, de las cuales se cosecharon 795 205 hectáreas (SIAP, 2023). Para lograr rendimientos aceptables, es necesario la práctica de fertilización, siendo el nitrógeno (N) uno de los nutrientes claves. Para este nutriente, a nivel comercial se aplica entre 150 y 250 kg/ha (Landeros-Sánchez *et al.*, 2016). La principal forma para aportar nutrientes a la caña es a través de fertilizantes inorgánicos. Sin embargo, cuando estos insumos se emplean de forma incorrecta genera diferentes problemas ambientales no deseables, entre ellos está el desequilibrio en la fertilidad del suelo y la contaminación de acuíferos (Menšík *et al.* 2018; Kulkarni y Goswami, 2019), lo cual representa un riesgo para las familias que dependen de estos depósitos de agua.

Por lo anterior, otras alternativas de nutrición son necesarias. Entre esas alternativas se encuentra el uso de abonos verdes, la cual se considera una tecnología relevante para el cultivo de caña de azúcar (Aguilar-Rivera *et al.*, 2012). Las principales especies de plantas utilizadas como abonos verdes pertenecen a la familia de las Fabaceas o también conocidas como leguminosas. La tecnología de abonos verdes consiste en establecer especies de leguminosas, que forman simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, una vez que las plantas alcanzan la etapa de floración se cortan y se depositan sobre o el interior del suelo, para que inicie el proceso de mineralización y los nutrientes sean aprovechados por el cultivo de interés (Mus *et al.*, 2016).

Investigaciones para evaluar el efecto de abonos verdes en el cultivo de caña ya han sido realizados en otros países. En dichas investigaciones se utilizó principalmente la especie *Crotalaria juncea*, ya sea en un sistema de intercalado con la caña o en el sistema de rotación, en ambos casos, el abono verde se cortó al momento de la floración. La respuesta de la caña fue positiva, sobre todo, cuando el abono verde se complementó con fertilizantes inorgánicos (Ambrosano *et al.*, 2005; Syaputra y Hidayati, 2019). En el caso de México, no se encontraron reportes sobre el empleo de la tecnología de abonos verdes en el cultivo de caña de azúcar. Únicamente se encontraron reportes sobre el uso de *C. juncea* o *Sesbania herbacea* como una alternativa para el control de arvenses en suelos cañeros, ya sea antes o durante el desarrollo de la caña (Obrador-Olán *et al.*, 2019; Naranjo-Landero *et al.*, 2020). Tampoco se encontraron reportes sobre el crecimiento y producción de semillas de leguminosas tropicales intercaladas con el cultivo de caña de azúcar. Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue cuantificar la producción de biomasa y de semillas de seis especies de leguminosas intercaladas con el



cultivo de caña de azúcar, asimismo, además de determinar su efecto en la producción de tallos molederos con la finalidad de identificar leguminosas potenciales para ser usado como abono verde en dicho cultivo.

Materiales y Métodos

La investigación fue desarrollada en las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla del Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en las coordenadas geográficas 18°56'05'' N y 96°11' 28'' W. El experimento se desarrolló bajo condiciones de campo abierto y en la fase de plantilla de la caña. El suelo fue clasificado con textura arcillo-franco arenoso según la clasificación textural de suelos USDA, pH de 5.46, materia orgánica de 3.69%. El clima predominante es Aw0, Cálido, con temperatura media de 25.6°C.

Los tratamientos consistieron en diferentes especies de leguminosas de porte erecto. La unidad experimental constó de tres surcos de 5.0 m de longitud (6 m²). Se utilizó un diseño en bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento.

La variedad de caña utilizada fue la Mex 69-290, establecida el 18 de julio de 2022, en condiciones de temporal. La distancia entre surcos fue de 1.2 m, resultado en un total de 83 surcos por hectárea. La preparación del suelo consistió en dos pasos subsuelo, un paso barbecho, dos pasos de rastra y finalmente surcado. El método de siembra fue cordón doble. El manejo agronómico del cultivo de caña de azúcar se basó en el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP. La fertilización consistió en 250-100-250 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente.

Las especies utilizadas como abonos verdes fueron: *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria paulina*, *Cajanus caja* y *Sesbania* sp., las cuales se sembraron cuatro días posteriores a la siembra de la caña (22/07/2022). Las leguminosas se intercalaron con los surcos de caña, para ello la siembra se realizó en el centro del surco. En el caso de *C. ensiformis*, se depositaron dos semillas cada 20 cm, resultando en una densidad de 83,000 plantas/ha. Para *Sesbania* sp. se usó 2.5 g de semilla por metro lineal, que equivale a un total de 20.8 kg/ha. Para las otras leguminosas se utilizó 4 g de semilla por metro lineal, que equivale a 33.2 kg/ha.

Cuando una especie alcanzó el 50% de floración, en cada unidad experimental se realizó un muestreo destructivo, en tres metros lineales. El corte de biomasa se realizó a los 68 y 150 días después de la



siembra para *Sesbania* sp. y *C. cajan*, respectivamente, mientras que, para el resto de las especies el corte se realizó 75 días posteriores a la siembra. En cada fecha de muestreo, se registró la altura de planta, desde la superficie del suelo hasta la parte más alta de la planta; número total de plantas y peso fresco de la biomasa. Una muestra representativa de cada leguminosa fue colectada, conformada por unas o más plantas que en conjunto sumaron alrededor de 500 g de peso fresco. Posteriormente las muestras fueron trituradas en trozos de 1 cm de longitud y se colocaron en estufa de aire forzado a 70°C hasta alcanzar peso constante. Con esta información se estimó el porcentaje de materia seca para cada una de las especies de leguminosas.

Para todas las leguminosas, el resto de plantas se mantuvieron hasta la cosecha de semillas (90, 150, 150, 181, 181 y 204 días después de la siembra para *Sesbania* sp., *C. juncea*, *C. breviflora*, *C. ensiformis*, *C. paulina* y *C. cajan*, respectivamente). Se cosecharon tres metros lineales en cada unidad experimental, con esta información se estimó el rendimiento de grano por hectárea.

Para conocer el efecto de las leguminosas en el desarrollo de la caña, 12 meses posteriores a la siembra de las leguminosas, en cada unidad experimental, se contabilizó el número de tallos molederos por metro lineal, en los dos surcos centrales (Figura 1). Para comparar el efecto de los abonos verdes en las diferentes variables, los datos generados se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) a través del Software estadístico InfoStat.

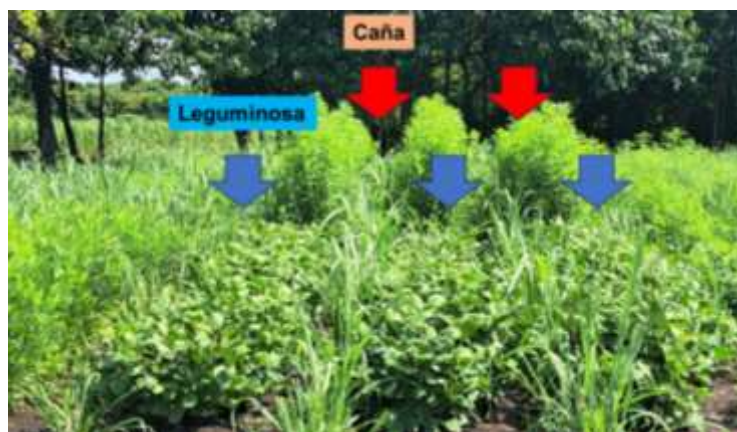


Figura 1. Diferentes especies de abonos verdes tropicales intercaladas con el cultivo de caña de azúcar en el Campo Experimental Cotaxtla, Medellín, Ver.

Resultados y Discusión

Mayor densidad de plantas se detectó con *Sesbania* sp., la cual superó a *C. breviflora* y *C. juncea*, que, a su vez, superaron a la *C. ensiformis* (Figura 2 a). La mayor altura de planta se detectó con *C. cajan*, que fue similar a la *C. juncea* y superior al resto de los abonos verdes (Figura 2 b).

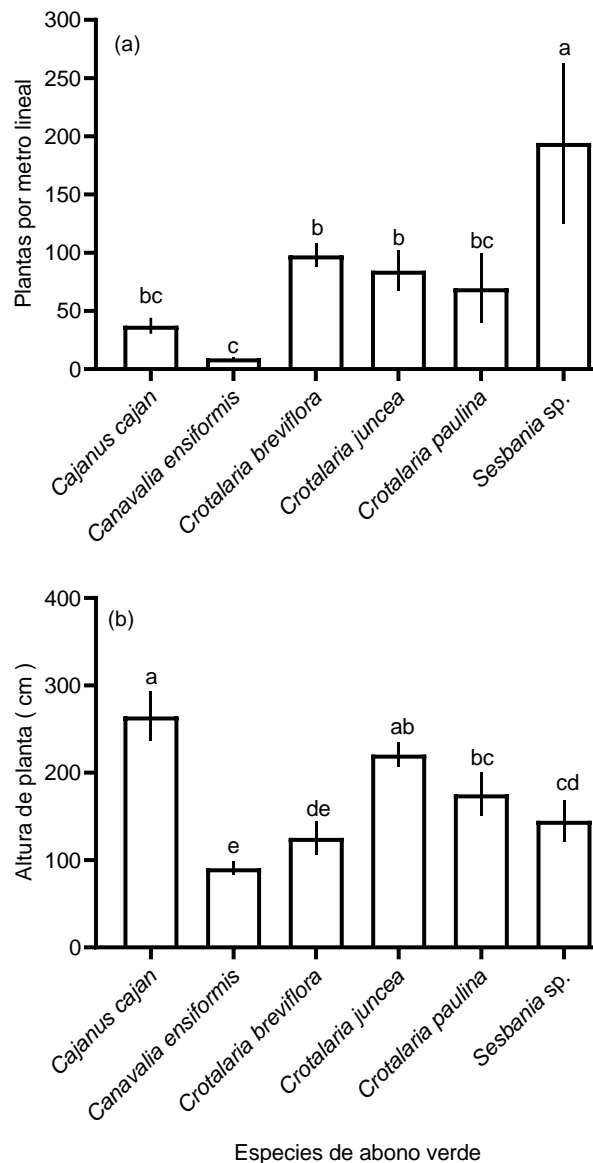


Figura 2. Densidad (a) y altura de planta (b) de diferentes especies de abonos verdes intercaladas con el cultivo de caña de azúcar.

Mayor peso fresco de biomasa se detectó con *C. cajan*, que fue estadísticamente similar a *C. ensiformis*, *C. juncea* y *C. paulina* y, superior al resto de las leguminosas (Figura 3 a). En cuanto al



peso seco de la biomasa aérea, el *C. cajan* fue similar a *C. juncea* y *C. paulina*, pero superior al resto de las leguminosas (Figura 3 b).

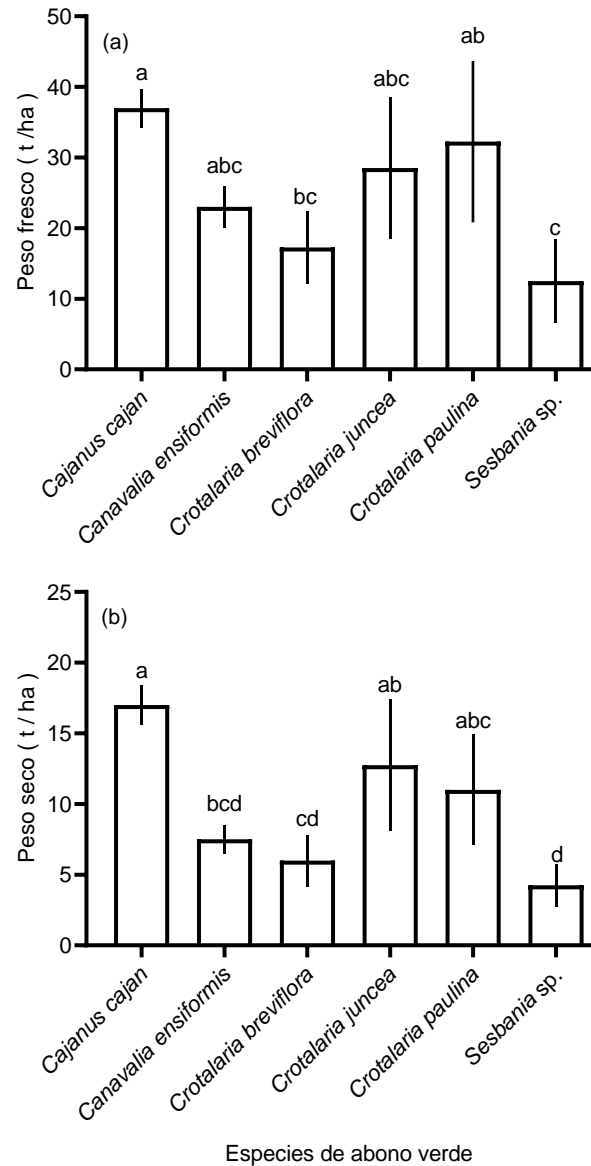


Figura 3. Peso fresco y peso seco de biomasa aérea de diferentes especies de leguminosas utilizadas como abono verde en el cultivo de caña de azúcar.

En rendimiento de semilla, *C. cajan* y *C. ensiformis* fueron estadísticamente similares y ambos superiores a *C. juncea*, *C. paulina* y *Sesbania sp.* (Figura 4 a). La mayor densidad de tallos molederos de caña se detectó con *Sesbania sp.*, la cual fue estadísticamente similar a *C. ensiformis*, *C. breviflora* y *C. paulina*. La menor densidad de tallo se detectó con *C. cajan* y *C. juncea* (Figura 4 b).

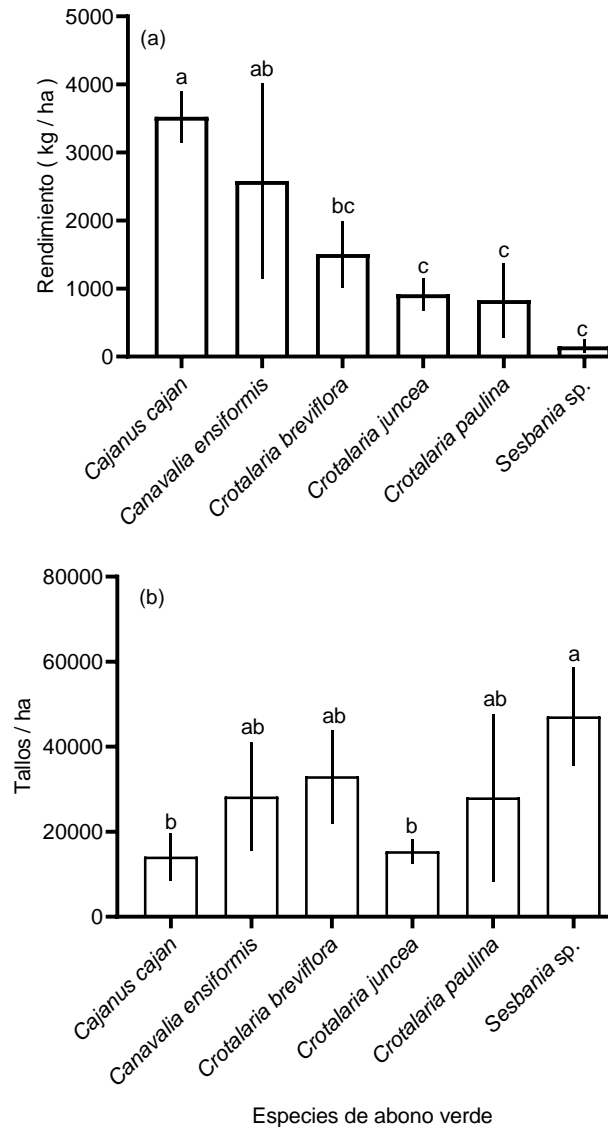


Figura 4. Rendimiento de semillas de diferentes especies de leguminosas utilizadas como abono verde, así como la densidad de tallos de caña de azúcar.

En orden descendente la densidad de plantas por metro lineal de fue 194, 98, 85, 70, 37 y 9, que correspondieron a *Sesbania* sp., *C. breviflora*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. cajan* y *C. ensiformis*, respectivamente. Las densidades de *C. juncea* y *C. cajan*. Estos resultados son similares a los reportes de Peralta-Antonio *et al.* (2021b) y Ávila-Escobedo *et al.* (2022), donde dichas especies se establecieron como monocultivo en la misma región donde se desarrolló el experimento de caña; los mismos autores reportan densidades de *C. breviflora* (55 – 78 plantas/m) y *C. paulina* (11 – 35 plantas/m) superiores a los detectados en esta investigación. La menor densidad de plantas con *C.*



ensiformis se atribuye a que fue la especie con la menor cantidad de semilla depositada por metro lineal (10 semillas), mientras que, para *Sesbania* sp., con los 2.5 g utilizados, se depositó alrededor de 300 semillas por metro lineal, en el caso de cuatro especies de crotalaria y *C. cajan*, con los 4 g utilizados, se depositó entre 140 y 170 semillas por metro lineal (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022).

De acuerdo con los resultados, la densidad de plantas no determina la producción de biomasa aérea, ya que, a pesar de que *Sesbania* sp. mostró cinco veces mayor densidad de plantas (194 plantas por metro lineal) en comparación con *C. cajan* (37 plantas por metro lineal), la materia seca que produjo (4 t/ha) fue 4 veces menor al producido por *C. cajan* (17 t/ha). Los valores de materia fresca y materia seca obtenidos con *C. cajan* (37 y 17 t/ha, respectivamente) se consideran aceptables ya que resultados similares se obtuvieron cuando esta especie se sembró en monocultivo (Peralta Antonio *et al.*, 2021b; Ávila-Escobedo *et al.*, 2022). Aunque en este trabajo no se presentan datos sobre la concentración de N en la biomasa de las diferentes especies de leguminosas, si se considera el peso seco de la biomasa aérea de *C. cajan*, *C. juncea*, *C. paulina*, *C. ensiformis* y *C. breviflora* (17, 13, 11, 8 y 6 t/ha respectivamente) y los reportes de Peralta Antonio *et al.* (2021a) y Ávila-Escobedo *et al.* (2022) sobre la cantidad de N acumulado en 1 tonelada de materia seca (15, 18, 20-24, 25-26 y 22 kg/t, respectivamente) detectados las mismas especies y en la misma región geográfica en investigaciones anteriores, se infiere que se suministró al suelo alrededor de 253-256, 238-239, 215-265, 198-209 y 132 kg/ha de N, respectivamente. En caso de que esos valores fuesen correctos, en un periodo de 2 a 3 meses posteriores a la siembra de las leguminosas, se podría suplir al menos el 50% de N requerido por el cultivo de caña.

Las ventajas logradas por los abonos verdes con mayor producción de materia seca y altura de la planta no se reflejaron en el desarrollo de la caña, ya que, la menor densidad de tallos molederos se detectó en las parcelas donde se intercaló con *C. cajan* y *C. juncea*, alcanzando valores de 14,110 y 15,355 tallos/ha, menores a los 47,102, 28,220, 32,992 y 28,012 tallos/ha alcanzados por *Sesbania* sp., *C. ensiformis*, *C. breviflora* y *C. palina*, respectivamente. Estos resultados indican que la caña de azúcar tiene un mejor desarrollo cuando se intercala con especies que requieren menos de 2.5 meses desde la siembra hasta el corte de biomasa y que presenten alturas inferiores a 2 m. Esta mejor respuesta de la caña se atribuye a un menor tiempo e intensidad de competencia entre la caña y las leguminosas (Naranjo Landero *et al.*, 2020).



Al final del ciclo de las leguminosas, el mayor rendimiento de semillas alcanzado por *C. cajan* (3325 kg/ha) fue mayor al obtenido en investigaciones anteriores donde la misma especie se sembró como monocultivo y alcanzó rendimientos de entre 1948 y 2685 kg/ha (Ávila-Escobedo *et al.*, 2022). Esta especie en particular, en algunas regiones de México (principalmente en el sureste) y en otros países se utiliza para el consumo humano, similar al frijol (como verdura o como grano) o para complementar dietas de animales (Alonso González *et al.*, 2016; Castillo-Gómez *et al.*, 2016), por lo tanto, es importante destacar que, aunque el *C. cajan* afectó negativamente la producción de tallos molederos de caña, esa reducción se puede compensar por la producción de granos, ya que es una alternativa para complementar la alimentación o economía de los productores, ya que, el rendimiento obtenido es mayor al que se obtiene con el frijol en diferentes áreas tropicales del sureste de México, donde se reportan rendimientos inferiores a 2 t/ha (López Salinas *et al.*, 2012; 2015; Tosquy-Valle *et al.*, 2019). No se encontraron otros reportes sobre el uso de abonos verdes intercalado con el cultivo de caña en México, por lo tanto, estos resultados servirán como punto de comparación para investigaciones futuras. Los resultados de esta investigación demuestran que la cantidad de materia seca producida por algunas leguminosas intercaladas con la caña, en la fase de plantilla, son similares a los que se pueden obtener cuando dichas leguminosas se establecen en monocultivo; esto significa que, desde el punto de vista nutrimental, se pueden lograr beneficios similares en un menor tiempo, ya que, en un sistema de rotación de cultivos (normalmente el abono verde en monocultivo) primero se establece el abono verde y posterior a los dos o cuatro meses después de la siembra, se corta el abono verde y se establece el cultivo de interés. Para un sistema de producción de caña en condiciones de temporal, este mayor tiempo invertido en la rotación de cultivo representa en un menor aprovechamiento de la lluvia por parte de la caña, lo que puede ocasionar una reducción de su rendimiento por efecto de estrés hídrico. Otro beneficio que se puede obtener al intercalar leguminosas y caña es el control de arvenses en los primeros meses de desarrollo del cultivo, tal como lo reportan Obrador-Olán *et al.* (2019) y Naranjo Landero *et al.* (2020) con las especies *C. juncea* y *S. herbacea*. Para entender mejor el efecto de las leguminosas en el cultivo de caña, principalmente cuando se utilizan leguminosas que pueden alcanzar alturas superiores a 2 m, se recomienda que en investigaciones futuras se contemplen las siguientes temáticas: el corte de los abonos verdes en diferentes épocas posteriores a la siembra; diferentes dosis de fertilizante, época de fertilización y tipo de fertilizantes, para reducir la competencia nutrimental entre la caña y el abono verde; diferentes densidades de siembra del abono verde, para obtener la máxima cantidad de biomasa en el menor tiempo posible; alternativas para facilitar el corte e



incorporación de la biomasa de abonos verdes al suelo; prácticas agronómicas que promuevan una mayor velocidad de mineralización de los residuos del abono verde, para lograr sincronía entre la liberación de nutrientes y la demanda de la caña.

Conclusiones

La respuesta de las leguminosas cambia en función de la especie, mayor producción de biomasa se logra con las especies de mayor altura (*C. cajan* y *C. juncea*), sin embargo, este factor no es exclusivo para la producción de semilla, ya que, un alto rendimiento también se obtiene con la especie de menor altura (*C. ensiformis*). Por otra parte, a medida que se incrementa la altura de la planta y biomasa de la leguminosa, mayor es el efecto negativo sobre la producción de tallos molederos de caña de azúcar. Para corroborar estos resultados e incrementar el conocimiento sobre el efecto de los abonos verdes en el cultivo de caña de azúcar se sugiere desarrollar nuevos experimentos que consideren: densidad de siembra y época de corte de los abonos verdes, dosis, época y tipo de fertilizantes, así como alternativas para incrementar la mineralización de los residuos vegetales.

Literatura Citada

- Ávila-Escobedo, M. de J., N. Peralta-Antonio, G. Montiel-Vicencio, L. I. Trejo-Téllez, A. Rebolledo-Martinez and P. Sanchez-Garcia. 2022. Screening of Potential Legume to be Used as Green Manure in Tropical Areas of Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3):3172-3188.
- Aguilar-Rivera, N., L. D. A. Rodríguez, V. Enríquez R., A. Castillo M. and A. Herrera S. 2012. The Mexican sugarcane industry: overview, constraints, current status and long-term trends. *Sugar Tech* 14:207-222.
- Alonso González, L., A. Rey y A. Fallas. 2016. El gandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) una excelente alternativa para Sistemas Agrosilvopastoriles. *Repertorio Científico* 19(2):135-143.



- Ambrosano, E. J., P. C. O. Trivelin, H. Cantarella, G. M. B. Ambrosano, E. A. Schammas, N. Guirado, *et al.* 2005. Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. *Scientia Agricola* 62(6):534-542.
- Castillo-Gómez, C., W. Narváez-Solarte y C. M. Hahn-von-Hessberg. 2016. Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. (Fabaceae). *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural* 20(1):52-62.
- Kulkarni., S. and A. Goswami. 2019. Effect of Excess fertilizers and nutrients: a review on impact on plants and human population. *Proceedings of International Conference on Sustainable Computing in Science, Technology and Management (SUSCOM)*, Amity University Rajasthan, Jaipur - India, February 26–28, 2019, pp. 2094–2099.
- Landeros-Sánchez, C., J. C. Moreno-Seceña, M. del Refugio Castañeda-Chávez, F. Lango-Reynoso, J. M. Hernández-Pérez, O. Hernández-Lara, *et al.* (2016). Manejo del nitrógeno en la caña de azúcar de la zona centro de Veracruz, México. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 2(1):43-52.
- López Salinas, E., Ó. Tosquy, H. Valle, Y. Jiménez Hernández, R. A. Salinas Pérez, B. Villar Sánchez y J. A. Acosta Gallegos. 2012. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol “Negro Comapa” en dos regiones de México. *Revista fitotecnia mexicana* 35(4):309-315.
- López-Salinas, E., Ó. H. Tosquy-Valle, B. Villar-Sánchez, J. A. Acosta-Gallegos, J. R. Rodríguez-Rodríguez y P. Andrés-Meza. 2015. Rendimiento y estabilidad de líneas mejoradas de frijol negro en Veracruz y Chiapas, México. *Revista fitotecnia mexicana* 38(2):173-181.
- Menšík, L., L. Hlisnikovský, L. Pospíšilová, and E. Kunzová. 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *Journal of Soils and Sediments* 18:2813-2822.



- Mus, F., M. B. Crook, K. Garcia, A. Garcia Costas, B. A. Geddes, E. D. Kouri, *et al.* 2016. Symbiotic nitrogen fixation and the challenges to its extension to nonlegumes. *Appl Environ Microbiol* 82:3698–3710.
- Naranjo Landero, S., J. J. Obrador Olán, E. García López, A. Valdez Balero and V. I. Domínguez Rodríguez. 2020. Arvenses en un suelo cultivado con caña de azúcar con fertilización mineral y abono verde. *Polibotánica* (50):119-135.
- Obrador-Olán, J. J., E. García-López, L. E. Almeyda-Santos, M. Castelán-Estrada and E. Carrillo-Ávila. 2019. Weeds in a sugar cane soil cultivated with *Crotalaria juncea*. *Planta Daninha* 37: e019171505.
- Peralta-Antonio, N., M. de J. Ávila-Escobedo, G. Montiel-Vicencio, L. I. Trejo-Téllez y A. Rebolledo-Martínez. 2021a. Secuestro de carbono y acumulación de nitrógeno en leguminosas promisorias para ser usadas como abono verde en Veracruz, México. In: Zetina Lezama. R., Tosquy Valle, O. H., Del Angel Pérez, A. L., Ríos Utrera, A., Vázquez Hernández, M. V., Esqueda Esquivel, V. A. *Ciencia y tecnología para el campo mexicano: Retos y oportunidades*. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México. pp. 99 - 111.
- Peralta-Antonio, N., G. Montiel-Vicencio, F. A. Ramírez-Bautista, A. Rebolledo-Martínez, L. Rebolledo-Martínez y M. E. López-Vásquez. 2021b. Crecimiento, producción de biomasa y de semilla de leguminosas potenciales para ser usados como abono verde en Veracruz, México. In: Zetina Lezama. R., Tosquy Valle, O. H., Del Angel Pérez, A. L., Ríos Utrera, A., Vázquez Hernández, M. V., Esqueda Esquivel, V. A. *Ciencia y tecnología para el campo mexicano: retos y oportunidades*. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México. pp. 112 - 123.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 23/07/2023.



Syaputra, R., and S. N Hidayati. 2020. Effect of NPK fertilizer, biofertilizer containing N fixer and P solubilizer, and green manure of *C. juncea* on nutrients uptake and growth of sugarcane. *In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 418(1): 012068.

Tosquy-Valle, O. H., B. Villar-Sánchez, J. R. Rodríguez-Rodríguez, F. J. Ibarra-Pérez, R. Zetina-Lezama y Andrés-Meza, P., *et al.* 2019. Adaptación de genotipos de frijol negro a diferentes ambientes de Veracruz y Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10(6):1301-1312.



SUPRESIÓN DE MALEZAS CON LEGUMINOSAS DE COBERTURA EN PLANTACIONES DE NARANJA cv. VALENCIA

Cristian Matilde Hernández^{154*}, Javier Francisco Enríquez Quiroz¹⁵⁵ y Valentín A. Esqueda Esquivel¹⁵⁶

Resumen

Para que una huerta de naranja sea más productiva, es importante controlar las malezas, ya que estas compiten por el agua y nutrientes que se encuentran en el suelo. Para ello se usan métodos de control manuales, mecánicos y químicos, este último método de control es el más generalizado, sin embargo, si no se aplican correctamente, pueden ocasionar problemas serios al ambiente y a la salud humana, por ende, se deben buscarse alternativas amigables, como el uso de cultivos de cobertura con leguminosas por sus beneficios que aportan al suelo. El objetivo del presente trabajo fue determinar la capacidad de supresión de malezas de diferentes leguminosas de cobertura en una huerta de naranja cv. Valencia. El estudio se realizó en el municipio de Martínez de la Torre, Ver., utilizando el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron siete especies de leguminosas de cobertura, las variables medidas fueron altura, cobertura y producción de materia seca (MS). Los resultados de cobertura indican que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, destacando las leguminosas de crecimiento perenne *Pueraria phaseoloides*, *Neonotonia wightii*, *Centrosema pubescens* y *Arachis pintoi* cuya cobertura del suelo varió entre 84 y 100% un año después de haberse establecido; por su parte, con las leguminosas anuales *Mucuna pruriens* y *Lablab purpureus* la cobertura fue de 1 y 41%, respectivamente. También se detectaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) en la producción de biomasa de leguminosas, en donde destacaron kudzú, centro y soya perenne solas o combinadas (coctel), las cuales fueron superiores al resto de los tratamientos, con una producción de 1,290 kg/ha de MS. La producción de MS con el rastreo, el herbicida glifosato y el testigo enhierbado varió entre 1,020 y 1,580 kg/ha. Se concluye que, en el primer año de evaluación, kudzú, centro y soya perenne de forma individual o en asociación, los mejores resultados, lo cual se reflejó en una eficiente supresión de las malezas.

¹⁵⁴ Campo Experimental Ixtacuaco. CIRGOC.INIFAP. *Autor por correspondencia: matilde.cristian@inifap.gob.mx

¹⁵⁵ Campo Experimental La Posta. CIRGOC.INIFAP.

¹⁵⁶ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP.



Palabras clave: materia seca, cítricos, *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubescens*, *Neonotonia wightii*

Introducción

México es el cuarto productor de cítricos en el mundo aportando el 5.4% (8'826,144 t) de la producción mundial (FAO, 2021), así como también el cuarto productor mundial de naranja, después de China, Brasil e India; cuenta con una extensión de más de 349,339 ha establecidas en más de 15 estados de la república mexicana, en los cuales se producen aproximadamente 4.8 millones de toneladas anuales. El estado de Veracruz es el principal productor nacional de este cítrico, con 2.5 millones de toneladas, que representa más del 50% de la producción nacional. El valor de la producción de esta fruta en 2022 fue de 7,089 millones de pesos. La superficie de este cultivo se ha mantenido estable, con un incremento de 0.3% de 2021 a 2022 (SIAP, 2022).

En las regiones productoras de cítricos, más del 95% de los productores utilizan el herbicida no selectivo glifosato para el control de malezas, ya que es un producto con actividad eficiente contra malezas anuales y perennes, en comparación con los herbicidas paraquat y glufosinato, que solamente tienen efecto en malezas anuales. El paraquat generalmente es más barato o tiene igual precio que el glifosato, mientras que glufosinato cuesta aproximadamente el doble. El glifosato se utiliza de tres a cuatro veces por año (Pérez-López *et al.*, 2014) en dosis de 3 a 6 L de producto comercial por hectárea. Las múltiples aplicaciones de glifosato a través de los años, han ocasionado la aparición de biotipos de malezas con resistencia a dicho herbicida (Bracamonte *et al.*, 2018; Palma-Bautista *et al.*, 2019), además de que representan un riesgo de contaminación ambiental (Salazar y Aldana, 2011).

Debido a lo anterior, es necesario diseñar prácticas que optimicen el uso y conservación del suelo y el medio ambiente en plantaciones jóvenes y adultas, por lo que, los cultivos de cobertura de leguminosas son una alternativa viable, ya que evitan el agotamiento de la fertilidad y reducen la incidencia de malezas. Un cultivo de cobertura es definido como “una cobertura vegetal viva que cubre el suelo de forma temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas, intercalado en relevo o en rotación”. Los cultivos de cobertura se caracterizan por sus funciones más amplias y multipropósitos, las cuales incluyen la supresión de malezas, conservación de suelo y agua, control de plagas y enfermedades y alimentación humana y animal (Pound, 1999).



Las plantas de cobertura pueden pertenecer a cualquier familia, aunque generalmente se prefieren las leguminosas, debido a los beneficios que aportan en algunos cultivos arbóreos como los cítricos, en los cuales se tiene un estrato herbáceo entre los árboles, que es necesario controlar mediante prácticas agrícolas con chapeos manual o mecánico, o bien el uso de productos químicos (Restrepo, 2012). Entre sus beneficios se señalan la aportación de materia orgánica, fijación de nitrógeno al suelo, protección de la erosión, y eventualmente alimentación animal, producción de semilla, disminución del daño por ácaros en los frutos de naranja, además de disminuir el impacto negativo sobre el ambiente por el uso de herbicidas (Pound, 1999; Sandoval y Cortés, 2004). El objetivo de una cobertura de leguminosas es sumar la mayor cantidad de atributos que pueden tener una especie dada, en este caso, se busca la cobertura del suelo en el menor tiempo posible, con la finalidad de sustituir la maleza existente por plantas que contribuyan a disminuir el uso de agroquímicos; sin embargo, la capacidad para lograr esto en un cultivo específico varía de acuerdo con las características del cultivo tales como, especie de cultivo, edad del mismo, hábito de crecimiento, manejo, clima, suelo, entre los aspectos más relevantes, por lo que se debe buscar la o las especies de leguminosas adecuadas con alta velocidad de establecimiento y tolerancia a la sombra (Peters *et al.* 2011; Enríquez *et al.* 2016; Cook *et al.* 2020). El objetivo del presente fue determinar el efecto de la cobertura y la producción de biomasa de leguminosas de cobertura en el control de malezas en plantaciones de naranja, como una alternativa para evitar la utilización de herbicidas en plantaciones de cítricos.

Materiales y Métodos

Localización del experimento

En septiembre de 2021 se estableció un experimento con Naranja cv. Valencia, en el Rancho Lomas de Arena, localizado en el municipio de Martínez de la Torre, Veracruz, México, a los 20°10'01" de LN, 97°06'20" LO, a una altitud de 103 m. De acuerdo a García (1987), la región tiene clima cálido-húmedo con 24°C de temperatura media y 1,980 mm de lluvia anual, y sin estación seca definida. El experimento se conduce en una plantación de naranja cv. Valencia de 32 años de establecida, con distancias de 4 m entre árboles y 8 m entre hileras de árboles, los cuales tienen una altura de 8 a 10 m.



Características fisicoquímicas de los suelos del sitio experimental

El cultivo está establecido en un suelo franco, con pH de 5.84 (moderadamente ácido) y libre de salinidad y de carbonatos totales. Los contenidos de materia orgánica y de fósforo son moderadamente bajos con 1.71% y 18.8 ppm, respectivamente, y el de potasio es bajo, con 117 ppm.

Tratamientos

Las leguminosas de cobertura se establecieron sobre el espacio o calle entre dos hileras de árboles. Se evaluaron 14 tratamientos (Cuadro 1), que incluyeron siete especies de leguminosas sembradas individualmente y cuatro leguminosas combinadas; además, se incluyó un tratamiento de rastreo, otro con una aplicación de glifosato y el testigo enhierbado.

En esta investigación, la evaluación correspondió al desarrollo de las coberturas un año posterior a la siembra (septiembre del 2021), y cuyos resultados del establecimiento y un corte de producción de biomasa fueron registrados por Matilde *et al.* (2022). Durante los meses de enero a mayo, las leguminosas de cobertura permanecieron en campo sin disturbio hasta principios de mayo, que recibieron un chapeo o corte de uniformización considerado como mantenimiento. Por lo anterior, los resultados reportados corresponden al comportamiento de las leguminosas de un corte realizado en el mes de agosto, un año después de la siembra, para ello se midieron las variables altura y cobertura de las plantas y se cosecho la biomasa producida mediante cortes en muestreos de 1 m², con cuatro repeticiones por tratamiento, los resultados se analizaron mediante un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones con PROC GLM de SAS y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en una plantación de naranja cv. Valencia en Martínez de la Torre, Ver.

Tratamiento	Cultivar o mezcla de leguminosas
1	<i>Arachis pintoi</i> + <i>Clitoria ternatea</i>
2	<i>Centrosema pubescens</i> (Centro)
3	<i>Arachis pintoi</i> (Cacahuatillo)
4	<i>Clitoria ternatea</i> (Clitoria o tehuana)
5	<i>Lablab purpureus</i> (Dolichos)
6	<i>Mucuna pruriens</i> (Mucuna o pica-pica mansa)



Tratamiento	Cultivar o mezcla de leguminosas
7	Rastreo
8	<i>Pueraria phaseoloides</i> (Kudzú)
9	Dolichos + Mucuna
10	<i>Neonotonia wightii</i> (Soya perenne)
11	Kudzú + Centro + Soya perenne
12	Coctel (Todas las leguminosas)
13	Glifosato 2.5 L/ha de producto comercial
14	Testigo enhierbado

Resultados y Discusión

Altura de plantas

La altura máxima alcanzada (Cuadro 2) fue para la especie dolichos con 53 cm y la más baja para cacahuatillo con 20 cm, mientras que las malezas fueron más altas con 73 a 24 cm, sin presentar diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos; estos valores fueron registradas en los tratamientos con clitoria y cacahuatillo, respectivamente.

Cobertura de leguminosas y malezas

La cobertura del suelo fue diferente ($p < 0.05$) entre tratamientos, en donde siete tratamientos con leguminosas tuvieron coberturas del 70 al 100%, y solamente cuatro de ellas. Dolichos, mucuna, clitoria y la combinación dolichos-mucuna, presentaron valores inferiores a 52%, e incluso mucuna sola, tuvo una cobertura de 1%. Los tratamientos testigo, rastreo y glifosato tuvieron las coberturas altas; sin embargo, la escasa cobertura de mucuna permitió la infestación de maleza más alta con 96% de cobertura. Las leguminosas de crecimiento perenne como kudzú, soya perenne, centro y cacahuatillo tuvieron altos valores de cobertura, proporcionando un buen control de maleza, al no permitir su presencia en las parcelas; además, por ser especies perennes muestran mayor persistencia en el terreno (Cuadro 2).



Cuadro 2. Altura y cobertura de malezas y leguminosas de cobertura en una plantación de naranja cv. Valencia, en Martínez de la Torre, Ver., un año después de su establecimiento.

Tratamiento Cultivar/mezcla	Altura de leguminosas (cm)	Altura de malezas (cm)	Cobertura de leguminosas (%)	Cobertura de malezas (%)
Cacahuatillo + Clitoria	42 ab	53 a	70 a	14 cd
Centro (<i>C. pubescens</i>)	32 ab	68 a	84 a	15 cd
Cacahuatillo (<i>A. pintoi</i>)	20 bc	24 a	99 a	1 d
Clitoria (<i>C. ternatea</i>)	46 ab	73 a	41 ab	20 cd
Dolichos (<i>L. purpureus</i>)	46 ab	62 a	41 ab	37 bcd
Mucuna (<i>M. pruriens</i>)	27 abc	68 a	1 b	96 a
Rastro	0 c	67 a	0 b	92 a
Kudzú (<i>P. phaseoloides</i>)	41 ab	35 a	100 a	0 c
Dolichos + Mucuna	53 a	37 a	52 ab	25 cd
Soya perenne (<i>N. wightii</i>)	28 ab	31 a	97 a	0 d
Kudzú + Centro + Soya perenne	36 ab	39 a	98 a	2 d
Coctel (Todas las leguminosas)	33 ab	31 a	88 a	4 d
Glifosato	0 c	26 a	0 b	78 ab
Testigo enhierbado	0 c	21 a	0 b	48 bc

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).

Producción de materia seca

El kudzú produjo la mayor cantidad de biomasa seca, con 2,856 kg/ha, la cual fue estadísticamente semejante ($p > 0.05$) a la de la soya perenne y las combinaciones de soya perenne, kudzú y centrosema, así como la de la combinación de todas las leguminosas (Cuadro 3). Por su capacidad de tolerar niveles altos de sombra, el cubrimiento rápido del terreno y la alta producción de biomasa el kudzú se ha utilizado por muchos años como una importante planta de cobertura en plantaciones de hule, palma africana y otros cultivos arbóreos (Samedani *et al.*, 2015; Lima *et al.*, 2017).

Solamente se registró biomasa de malezas gramíneas en los tratamientos en los cuales no se sembraron leguminosas: testigo, glifosato y rastreo, con valores que fluctuaron entre 1,020 y 1,583 kg/ha de



materia seca. Por su parte la materia seca de malezas fue alta en los tratamientos de dolichos y mucuna con 4,437 y 2,860 kg/ha de maleza de hoja ancha, respectivamente, debido al ciclo de vida anual que tienen estas dos especies. El resto de los tratamientos exhibieron valores máximos de 1,067 y mínimos de 103 kg/ha de materia seca, sin presentar diferencias entre tratamientos.

Es importante señalar que el comportamiento de las leguminosas anuales dolichos y mucuna, así como la combinación de éstas en este ciclo, tuvieron una aportación muy pobre en la cobertura del suelo y producción de biomasa de leguminosa, ya que en el primer año durante el establecimiento estas resultaron ser las mejores por su velocidad de cobertura y producción de biomasa tal como fue señalado por Matilde *et al.* (2022). Las leguminosas perennes tuvieron un establecimiento más lento en relación con las leguminosas anuales, pero a través del tiempo han mostrado una excelente capacidad de cobertura del suelo y por consiguiente el desplazamiento o supresión de las malezas, así como una mayor producción de biomasa.

Cuadro 3. Producción de materia seca de leguminosas y malezas en una plantación de naranja cv. Valencia en Martínez de la Torre, Ver., un año después de su establecimiento.

Tratamiento	Materia seca (kg/ha)		
	Leguminosa	Gramínea	Maleza
Cacahuatillo + Clitoria	2,263 ab	0 b	593 a
Centro (<i>C. pubescens</i>)	2,210 ab	0 b	1,067 a
Cacahuatillo (<i>A. pintoii</i>)	1,943 ab	0 b	517 a
Clitoria (<i>C. ternatea</i>)	1,967 ab	0 b	1,040 a
Dolichos (<i>L. purpureus</i>)	766 ab	0 b	4,437 a
Mucuna (<i>M. pruriens</i>)	143 b	0 b	2,860 a
Rastreo	0 b	1,580 a	493 a
Kudzú (<i>P. phaseoloides</i>)	2,856 a	0 b	177 a
Dolichos + Mucuna	1,550 ab	0 b	883 a
Soya perenne (<i>N. wightii</i>)	2,593 a	0 b	247 a
Coctel (Todas las leguminosas)	2,603 a	0 b	240 a
Glifosato	0 b	1,343 a	103 a
Testigo enhierbado	0 b	1,020 a	197 a

Letras diferentes entre columnas indican diferencias entre tratamientos Tukey ($p < 0.05$).



Conclusiones

Las leguminosas de cobertura de ciclo perenne *P. phaseoloides*, *C. pubescens* y *N. wightii* de forma individual o en asociación, presentaron la mayor cobertura, producción de biomasa y persistencia, suprimiendo eficientemente la presencia de maleza.

Literatura Citada

- Bracamonte, E., H. Martins S., R. Alcántara-de la Cruz, J. A. Domínguez-Valenzuela, H. Cruz-Hipolito and R. De Prado. 2018. From tolerance to resistance: mechanisms governing the differential response to glyphosate in *Chloris barbata*. *Pest Manag. Sci.* 74:1118-1124.
- Cook, B. G., B. C. Pengelly, R. Schultze-Kraft, M. Taylor, S. Burkart, J. A. Cardoso A. *et al.* 2020. Tropical forages: an interactive selection tool. 2nd ed. International Center for Tropical Agriculture. Cali, Colombia. <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/pages/view/News> [consultado el 24 de mayo de 2021].
- Enríquez, Q. J. F., V. A. Esqueda E., F. E. Cab J. y J. F. Villanueva A. 2016. Banco de germoplasma de especies forrajeras tropicales del INIFAP en Veracruz. Libro Técnico Núm. 38. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental La Posta. Medellín de Bravo, Veracruz, México. 106 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. FAOSTAT. Valor de la producción agrícola. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QV> [consultado el 13 de junio de 2023].
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4ªed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 217 p.



- Lima, Q. M. A., F. L. de Oliveira y D. M. Natal da Silva. 2017. Leguminous cover crops for banana plantations in semi-arid regions. *Rev. Caatinga*, Mossoró 30(3):614-621.
- Matilde, H. C, J. F. Enríquez Q. y V. A., Esqueda E. 2022. Leguminosas de cobertura en plantaciones de naranja cv. Valencia para controlar maleza en Veracruz. p. 462-469. *In: Uresti, G. J y L. Reyes M. (comps.). Memoria de la XII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Villahermosa. Tab., México.*
- Palma-Bautista, C., J. Gherekhloob, P. A. Domínguez-Martínez, J. A. Domínguez-Valenzuela, H. E. Cruz-Hipólito, R. Alcántara-de la Cruz *et al.* 2019. Characterization of three glyphosate resistant *Parthenium hysterophorus* populations collected in citrus groves from Mexico. *Pest. Biochem. Physiol.*155:1-7.
- Pérez-López, M., F. González Torralva, H. Cruz-Hipólito, F. Santos, J. A. Domínguez-Valenzuela and R. De Prado. 2014. Characterization of glyphosate-resistant tropical sprangletop (*Leptochloa virgata*) and its alternative chemical control in Persian lime orchards in Mexico. *Weed Sci.* 62:441-450.
- Peters, M., L. H. Franco, A. Schmidt y B. Hincapié. 2011. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico americano. Centro Internacional de Agricultura Tropical. BMS/gtz. Cali, Colombia. 214 p.
- Pound, B. 1999. Cultivos de cobertura para la agricultura sostenible en América Latina. p. 97120. *In: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Memorias de una conferencia electrónica realizada de abril a septiembre de 1988. Food and Agriculture Organization. Roma, Italia.*
- Restrepo, T. B. 2012. Control y monitoreo en tiempo en un cultivo de cítricos. Tesis de licenciatura. Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. Caldas, Antioquia, Colombia. 89 p.



Salazar, L. N. J. y M. L. Aldana M. 2011. Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Rev. Cie. Biol. Salud* 13(2):23-28.

Samedani, B., A. S. Juraimi, M. Y. Rafii, S. A. Sheikh A., M. P. Anwar and A. R. Anuar. 2015. Effect of cover crops on weed suppression in oil palm plantation. *Int. J. Agric.* 17(2):251-260.

Sandoval, R. J. A. y M. F. Cortés M. 2004. Leguminosas de cobertura asociadas a naranjo 'Valencia' en huertas establecidas en ladera. p. 95-104. *In: Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 1. INIFAP, CP, ITA No. 18, ITMAR, No.1, UACH, UV. Veracruz, Ver., México.*

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Cierre Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 13 de junio de 2023].



EXTRACTOS VEGETALES Y PRODUCTO ALTERNATIVO PARA MANEJO DE ANTRACNOSIS DE FRUTOS DE PAPAYA

Rebeca Rodríguez Falconi¹⁵⁷, Jorge Gustavo Rodríguez Escobar^{158*}, Iván López Córdova¹⁵⁹, Rafael Guajardo Panes¹⁶⁰ y Lorena Jacqueline Gómez Godínez¹⁶¹

Resumen

En Veracruz y Tabasco cultivar papaya es una alternativa rentable para los productores. De los problemas fitosanitarios que afectan el cultivo de papaya destaca la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides*. La mayoría de los estudios desarrollados se relacionan con productos químicos sintéticos, aunque en años recientes se desarrollaron otras investigaciones para manejo de este problema entre éstas destaca el uso de extractos vegetales. El interés por desarrollar estudios sobre extractos vegetales y productos químicos inocuos, más amables con el ambiente y con los cultivos, que permitan reducir el impacto de la antracnosis de los frutos de papaya, propició la presente investigación con el siguiente objetivo: evaluar el efecto de cinco extractos vegetales y un producto alternativo para manejo de la antracnosis de frutos de papaya. La investigación se realizó *in vitro* en los laboratorios de los Campos Experimentales de Huimanguillo, Tabasco y Cotaxtla Veracruz del INIFAP. Los tratamientos evaluados comprendieron cinco extractos vegetales y un producto químico inocuo: ajo chico (*Allium sativum*), ajo mediano, ajo grande, crucetillo (*Randia aculeata*), oreganón (*Plectanthus amboinicus*) y cloruro de calcio (comestible), Cuatro aislamientos: H1-F2-F2, H2-2F2, H3-F3-M1, 1-E. Tres concentraciones, para extractos: 10, 20 y 30%, para el cloruro de calcio: 0.5%, 1.0% y 2.0%. Todos los productos evaluados se diluyeron en agua con distinto potencial de hidrógeno (pH5 y pH6). Los datos para productos alternativos se analizaron por un factorial A (4) x B (6) x C (3) x D (2) (A= aislamientos, B= biofungicidas, C= concentraciones y D= concentraciones de pH). Se obtuvo significancia para varios factores (Tukey $\alpha = 0.05$). Para esta investigación el aislamiento del hongo: H2-2F2, de Tabasco, es el que presentó mayor sensibilidad a los tratamientos para su reducción. El

¹⁵⁷ Campo Experimental Rio Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Tamaulipas.

¹⁵⁸ Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Veracruz. *Autor por correspondencia: rodriguez.gustavo@inifap.gob.mx

¹⁵⁹ Instituto Tecnológico de Huimanguillo. Tabasco.

¹⁶⁰ Sitio Experimental Teocelo- Campo Experimental Cotaxtla, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

¹⁶¹ Centro Nacional de Recursos Bióticos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Jalisco.



efecto de ajo grande seguido de ajo mediano presentó el mejor efecto sobre los aislamientos de *Colletotrichum* spp. La solución de agua con pH 5 presentó significancia. El mejor efecto biofungicida, fue al 10% de concentración.

Palabras clave: *Colletotrichum* spp., inhibición, ajo, ph, aislamiento

Introducción

La papaya pertenece a la familia Caricaceae, incluye 35 especies en 6 géneros: *Cyclomorpha*, *Carica*, *Vasconcellea*, *Jacaratia*, *Jarilla* y *Horovitzia*; los géneros *Vasconcellea* y *Carica* son trioicos (Ariel y Ming, 2014). En México se cultivan 20,806.19 ha de papaya. En Tabasco y Veracruz cultivar papaya se convierte en una alternativa rentable para los productores, en Tabasco se siembran 214 ha en cinco municipios: Balancán, Cunduacán, Centro, Tacotalpa y Huimanguillo; aunque su superficie sembrada es menor a los estados del Pacífico, su rendimiento promedio de 78.86 t ha⁻¹, lo coloca como el tercer Estado con más alto rendimiento del país, en Veracruz se cultivan 3,618 ha (SIAP, 2023).

La producción de frutos de papaya presenta problemas fitosanitarios, en Tabasco y Veracruz los problemas son causados por las virosis, los fitoplasmas, los ácaros y la antracnosis. Los virus que dañan al cultivo son: virus mancha anular del papayo (PRSV), mosaico del papayo (PapMV), meleira del papayo ((PMeV), necrosis apical del papayo (rhabdovirus); el fitoplasma bunchy top o arrepollamiento, los ácaros y la antracnosis causada por *Colletotrichum* spp., incluso recientemente problemas con temperaturas altas (Rodríguez y Salas, 2016; Rodríguez *et al.*, 2018; Rodríguez y Rodríguez, 2019; Rodríguez *et al.*, 2021). La antracnosis se presenta como manchas redondas hundidas sobre los frutos, causa pérdidas por daño a frutos del 40 al 50%, es causada por diferentes especies del estado asexual del hongo *Colletotrichum* spp. (anamorfo), su estado sexual es *Glomerella* (teleomorfo) (Rojo-Baez *et al.*, 2017; Rodríguez *et al.*, 2021).

Los estudios sobre control biológico de enemigos de los cultivos comprenden estudios de extractos vegetales contra insectos en específico sobre *Spodoptera frugiperda* en maíz (Guevara 2021). Recientemente también se estudian los extractos vegetales por su efecto fitotóxico sobre semillas de cultivos como maíz y frijol, los investigadores indican que ajo funcionó como herbicida para semillas de frijol y en menor porcentaje de maíz (Anza *et al.*, 2023). Incluso se realizan estudios con extractos



vegetales de integrantes de una familia vegetal como las *Brassicaceae* (crucíferas) contra microbios del ser humano como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* y *Salmonella typhimurium* (Favela *et al.*, 2019). Debido al auge de investigación con extractos vegetales en Ecuador se evaluaron métodos de extracción de plantas silvestres: *Petiveria alliacea*, *Plectanthis amboinicus* y *Plantago major*, conocidas en Veracruz las dos primeras como “Zorrillo” y “Oreganón” (Angulo y Cedeño, 2023). En la India se realizó una investigación para evaluar la actividad de extractos vegetales sobre el hongo: *Alternaria carthami*, de los ocho tratamientos el de ajo (*Allium sativum*) a una concentración del 20% presentó el efecto fungitóxico más destacado, superó a *Lantana cámara* (Ranaware *et al.*, 2010). Los estudios con extractos vegetales, etanólicos, se usan en diferentes cultivos, así en tomate contra el hongo: *Fusarium oxysporum*, aunque se registró menor severidad de la enfermedad, no se presentó diferencia estadística (Tucuch *et al.*, 2021). En Coahuila se evaluaron extractos vegetales *in vitro* de higuierilla (*Ricinus communis*), canela (*Cinnamomum zeylanicum*) y naranja (*Citrus sinensis*), contra *Colletotrichum* sp., *Fusarium* sp. y *Monilia* sp., de aguacate, al 1.50, 2.00, 2.50 y 3.00% (v/v) con cuatro repeticiones; canela fue el mejor contra los tres al 3% (Díaz, 2020). Otros grupos de investigadores evaluaron extractos vegetales *in vitro* contra *Colletotrichum* sp., en tomate de árbol en Bolivia y ñame en Colombia (Villacíz-Aldaz *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2011). Adicionalmente en tomate de árbol de siete extractos vegetales evaluados contra *C. gloeosporioides* los mejores resultados se obtuvieron con extractos de hoja de eucalipto (100%), frutos de neem y de ajo con concentración de 75 y 100% (Chacín *et al.*, 2013). En Venezuela se evaluaron extractos vegetales etanólicos de diferentes especies contra *C. gloeosporioides* de mango, *Lippia origanoides* (orégano) y *Gliricidia.sepium* presentaron los mejores resultados, indujeron el 37 y 33% de reducción de la enfermedad (Bolívar *et al.*, 2009). En Colombia se usaron extractos vegetales de *Mascagnia macrodena* contra *C. gloeosporioides* de ñame, el mejor resultado se obtuvo con extracto etanólico a concentraciones de 50, 75 y 100 ppm (Pérez *et al.*, 2014).

En Morelos, México, se investigó el efecto de 40 extractos vegetales crudos contra la germinación de esporas de dos aislamientos de *C. gloeosporioides* de frutos de papaya, los mejores resultados los presentó huelle de noche (*Cestrum nocturnum*) y la chirimoya (*Annona cherimola*) inhibieron la germinación de esporas (Hernández, 2004), En Etiopía se usaron extractos vegetales de 12 especies vegetales contra *C. gloeosporioides*, aislado de frutos de papaya, de éstos destacan los extractos vegetales de *Lantana cámara* y *Echinops* sp. obtenidos con acetato de etilo; el primero tuvo mejor respuesta *in vitro* y el segundo presentó la mejor inhibición del hongo *in vivo* (Ademe *et al.*, 2013).



Algunos investigadores usaron extractos vegetales de ajo (*Allium sativum*) al 5, 10 y 15% de concentración, de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) a 0.0005, 0.0015, 0.0025, 0.0050, 0.0100 y 0.0150% de corteza y cáscara de limón (*Citrus lemon*) al 5, 10 y 15%, y neem (*Azadirachta indica*) a 0.0300, 0.0624 y 0.1200%, para evaluar el efecto sobre *C. gloeosporioides* de frutos de papaya; los mejores resultados se obtuvieron con extractos vegetales de ajo (*Allium sativum*) al 10 y 15%, y canela (*Cinnamomum zeylanicum*) a 0.0050, 0.0100 y 0.0150% (Landeró *et al.*, 2013). En Chiapas se usó orégano (*Oreganum vulgare*), frutos de pimienta (*Pimenta dioica*), hojas de neem (*Azadirachta indica*) y hojas secas de matarratón (*Gliricidia sepium*), obtenidos por destilación y microondas para inhibir el hongo, los mejores tratamientos fueron: *Pimenta dioica* en una concentración del 40% y el M2 UNACH al 20% (Duarte *et al.*, 2021). Para el control de *C. gloeosporioides* de fruto de papaya, un equipo de investigadores realizó estudios de análisis fitoquímico con cromatografía en capa fina de los extractos vegetales, así determinaron *in vitro*, de seis especies vegetales, que el extracto metanólico de *Phytolacca icosandra* presentó la mayor efectividad biológica y se usó contra antracnosis de floración a precosecha, este compuesto presentó un efecto destacado (García-Mateos *et al.*, 2021).

Algunas investigaciones utilizaron el cloruro de calcio para reducir la presencia de antracnosis en frutos de papaya y de olivo, con ese interés como alternativa de control de la antracnosis que afecta papaya en postcosecha se usó cloruro de calcio al 2%, en inmersiones hidrotérmicas (49°C) por espacio de 20 min, se logró menor incidencia y severidad sobre los frutos de papaya (Zamora, 2012). En olivo se logró inhibición relativa de la germinación de conidios de un 12 a un 12.1% y en campo el cloruro de calcio protegió a las aceitunas tratadas con el producto, pero sin someterlas a lavado (Xavier, 2015).

El agua para uso agrícola es afectada por 1) pH, 2) hidrólisis alcalina, 3) turbidez y 4) dureza; benomil con un pH 7 registró una hora de estabilidad y a pH 5 dura 7 h, mancozeb a pH 9 presentó una vida media de 34 horas, a pH 5 duró 20 días (ASP, 2013); estudios realizados en Veracruz el glifosato a la dosis mayor de 712 g ha⁻¹ y pH de 5 a 7 presentó su mejor efecto para control de la maleza *Ixophorus unisetus* (Esqueda y Tosquy, 2015). En investigaciones para control de *Colletotrichum* spp. de papaya en Veracruz, México, se registró que con pH 6.0, del agua, seis aislamientos presentaron sensibilidad a cuatro fungicidas y con pH 5.0, cinco aislamientos presentaron sensibilidad a cinco fungicidas, con este último pH del agua el fungicida mancozeb presentó su mejor efecto, de tres concentraciones evaluadas la comercial destacó por su efecto (Rodríguez *et al.*, 2021)

Considerando el auge de estudios sobre extractos vegetales y productos químicos inocuos como alternativos para combatir problemas fitosanitarios, aunado al interés de estudiar alternativas más



amables con el ambiente y con los cultivos que permitan reducir el impacto de la antracnosis de los frutos de papaya, se planteó la presente investigación con el siguiente objetivo: evaluar el efecto de cinco extractos vegetales y un producto alternativo para manejo de la antracnosis de frutos de papaya.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en los laboratorios de los Campos Experimentales de Huimanguillo, Tabasco y Cotaxtla Veracruz, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se desarrolló de octubre de 2022 a mayo de 2023

Se realizaron recorridos de campo en huertos de Huimanguillo y Cárdenas, Tabasco en enero 2022, para la obtención de fruta de papaya con signos de antracnosis. Se colectó de los genotipos MSXJ y Criolla. En cada huerto se colectaron tres frutos de papaya con una o dos vetas de maduración. Al coleccionar se registró su ubicación, además se cuidó que la fruta no presentara golpes, raspaduras, maduración por el sol y que no tuviera contacto con el suelo, para evitar tener alteraciones en la investigación. La fruta fue llevada al laboratorio del INIFAP C. E. Huimanguillo, se lavaron y se desinfectaron por inmersión en hipoclorito (1:3) por 5 min, después se secaron al aire. Posteriormente las papayas se incubaron en cámara húmeda. Después de 5 días se presentó *Colletotrichum* spp.

Para validar el daño y la agresividad que causa este hongo. Se utilizaron los postulados de Koch. En papayas con una o dos vetas de madurez, se inoculó los hongos obtenidos de las papayas incubadas. En cada carpelo de la papaya se realizaron punciones de 2 mm, se repitió cuatro veces por carpelo y se inoculó en cada una de las punciones con los hongos. Se eligieron solo los hongos con velocidad de crecimiento y el tamaño de la mancha más agresivos. A estos hongos seleccionados se les denominó aislamientos y se les asignó una clave H1-F2-F2, H2-2F2, H3-F3-M1. También, se utilizó un aislamiento de *Collectotrichum* sp., clave de aislamiento: 1-E, de fruta de papaya colectada en Veracruz. Estos hongos se incubaron en cajas Petri en medio de papa dextrosa agar (PDA) a $25\pm 3^{\circ}\text{C}$. Se realizó un incremento monospórico en cajas Petri para obtener una suspensión de 1×10^6 esporas por mililitro y dar inicio a control de *Colletotrichum* sp. Cada uno de los cuatro aislamientos se inoculó en cinco cajas Petri (repeticiones), con ayuda de una micropipeta de 1000 μL , se aplicó 1mL de la suspensión del aislamiento y con una varilla de cristal se esparció de manera homogénea sobre la superficie; de este modo se tuvieron 20 cajas petri para los cuatro aislamientos, a una misma



concentración e igual pH. Para cada pH del agua de dilución de los biocidas, con las tres concentraciones de estos (10, 20 y 30%) se requirieron 60 cajas Petri, ya con los dos pH sumaron 120 cajas Petri.

Los materiales biológicos e inocuos usados para el control de *Colletotrichum* spp. fueron ajo chico (*Allium sativum*), ajo mediano, ajo grande, oregán (*Plectranthus amboinicus* Lour), crucetillo (*Randia aculeata*), y cloruro de calcio; con tres concentraciones y dos pH; se realizaron cinco repeticiones por cada uno de los biofungicidas. Para ajo chico, ajo mediano, ajo grande, oregán y crucetillo se pesaron 4 g más 10 ml de agua, y se maceraron. Las concentraciones utilizadas fueron 10%, 20% y 30% de su concentración original. Las cuáles fueron disueltas en agua con pH 5 y pH 6. El cloruro de calcio se usó la concentración 0.5%, 1% y 2% de su peso volumen a temperatura ambiente diluidos en 100ml de agua esterilizada.

En las cajas Petri, después de 24 h de la inoculación, se colocaron sobre el medio inoculado siete discos de 5 mm de diámetro de papel filtro esterilizados, seis se distribuyeron de manera circular a 2 cm, el séptimo se colocó en el centro. A cada uno de estos discos se aplicó 20 µl de los biofungicidas y el cloruro de calcio. Los datos se tomaron sobre el punto de aplicación del biofungicida y se midió el diámetro horizontal y vertical.

El diseño estadístico desarrollado en la investigación para control biológico fue un factorial A (4) x B (6) x C (3) x D (2), se desarrollaron 144 tratamientos. Donde factor A son los aislamientos, factor B biofungicidas o biológicos, factor C son las tres concentraciones y factor D son los dos pH. Los datos fueron analizados por la comparación de medias Tukey con significancia de 0.05 y un análisis de varianza (ANOVA) por medio del paquete estadístico SAS 9.4.

Resultados y Discusión

Manejo *in vitro* de extractos vegetales y productos alternos

La investigación se realizó “*in vitro*”, inició en el laboratorio del Campo Experimental Huimanguillo (Tabasco) y posteriormente se desarrolló en el laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla (Veracruz). Comprendió cuatro aislamientos agresivos (A) de *Colletotrichum* spp. obtenidos de huertos de papaya de Tabasco. Se estudió el efecto de seis productos biológicos y alternativos (B), con el interés de evaluar la reducción del desarrollo del patógeno, estos productos alternativos se estudiaron



en tres concentraciones (C) y dos pH (D) del agua en la cual se diluyeron los alternativos. La variable que se midió fue la inhibición del crecimiento del hongo o sea la reducción del crecimiento en medio de cultivo dentro de cajas Petri.

Esta investigación estudió el efecto de productos biológicos y alternativos contra cuatro especies del hongo agresivo causante de la antracnosis de frutos de papaya, se usó para la comparación de medias el análisis de varianza (ANOVA) del factorial A (4) x B (6) x C (3) x D (2) con cinco repeticiones (Cuadro 1). El resultado indica que hay significancia estadística con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) tanto para el factor aislamientos como para como para los factores biológicos y pH (Cuadro 2).

Cuadro 1. Análisis de varianza para el estudio de los factores que presentaron efecto de inhibición, *in vitro*, sobre los aislados de *Colletotrichum* spp. procedentes de frutos de Tabasco.

Origen	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	Pr>F
Modelo	11	11.7565	1.0687	19.64	<0.0001
Error	132	7.1838	0.0544		
Corregido	143	18.9404			

Cuadro 2. Análisis de varianza para los factores que presentaron efecto de inhibición, *in vitro*, sobre los aislados de *Colletotrichum* spp.

Origen	Grados de Libertad	de Suma Cuadrados	de Cuadrados Medios	Valor de F	Pr>F
pH	1	6.2654	6.2654	115.12	<0.0001
Aislamientos	3	3.8117	1.2705	23.35	<0.0001
Concentración	2	0.3073	0.1536	2.82	0.0630
Biológicos	5	1.3720	0.2744	5.04	0.0003

Factor aislamientos

Respecto a los aislamientos obtenidos el análisis estadístico (Tukey, $\alpha= 0.05$) destaca que el aislamiento H2-2-F2 presentó mayor inhibición producida por los productos biológicos (cuadros 2 y 3); los otros registrados como: 1-E, H1-2-F2 y H3-F3-M1 presentaron menor inhibición o sensibilidad a los biológicos de Tabasco. De 11 aislamientos obtenidos, de frutos de Tabasco, se seleccionaron los cuatro más agresivos. Lo común es evaluar fungicidas contra el hongo causante de la antracnosis, de



este modo se desarrolló una investigación en mango, en ésta se usaron seis aislamientos de diferentes estados, del hongo causante de la antracnosis de la fruta, contra dos fungicidas (Gutiérrez *et al.*, 2003), con seis aislamientos se pudo determinar que Veracruz poseía dos aislamientos el Ver-1 que se comportó como resistente a los fungicidas y el Ver-2 que se comportó como susceptible. Otro equipo de investigadores realizó estudios sobre las especies de *Colletotrichum* spp. presentes sobre frutos de papaya en cinco estados incluido Veracruz, de 35 aislamientos identifican dos especies y para Veracruz solo reidentifican la presencia de *C. gloeosporioides* (Torres-Calzada *et al.*, 2013), el estado de Tabasco no ha desarrollado estudios de especies del hongo, sin embargo, debido a la susceptibilidad diferencial de los aislamientos del hongo a los productos alternativos, podemos pensar que existen diferentes especies o biotipos del hongo. En Veracruz en una investigación de control de la antracnosis de papaya con seis aislamientos de sus huertos también se encontró una respuesta diferencial a fungicidas y pH del agua de solución de los agroquímicos, así se determinó que a pH 6 del agua seis aislamientos se inhibieron con cinco fungicidas y cuando se cambió el pH a 5 se logró inhibir a cinco aislamientos de *Colletotrichum* spp. (Rodríguez *et al.*, 2021). Los resultados obtenidos en esta investigación de Tabasco, con la respuesta diferencial de los aislamientos a los diferentes tratamientos se relaciona, en gran medida, con los resultados de la investigación realizada en plátano sobre la diversidad genética de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) los investigadores indican que los cambios genéticos en los aislamientos se deben al manejo basado en el mismo tipo e intensidad de fungicidas empleados para el caso de Tabasco es reducido el uso de fungicidas en el cultivo de papaya.

Factor extractos vegetales (biológicos) y alternativo

El resultado de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) indica que hay diferencia entre el efecto de compuestos biológicos y alternativos (cuadro 2), destaca el efecto de ajo grande seguido de ajo mediano (*A. sativum*) sobre los aislamientos de *Colletotrichum* spp. obtenidos de Tabasco (cuadro 3). No presentaron significancia en esta investigación ajo chico, crucetillo (*Randia aculeata*), cloruro de calcio y oreganón (*Plectranthus amboinicus* Lour). A pesar de que se han realizado investigaciones con extractos vegetales para evaluar su efecto en control biológico sobre problemas fitosanitarios (Anza *et al.*, 2023; Bolívar *et al.*, 2009; Chacín *et al.*, 2013; Favela *et al.*, 2019; Guevara, 2021; Pérez *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2014; Tucuch *et al.*, 2021; Villaciz-Aldas *et al.*, 2017), relacionados con papaya son escasas las investigaciones, sin embargo, varios investigadores han tenido éxito con extractos de otros vegetales sobre *Colletotrichum* spp. de papaya (Ademe *et al.*, 2013; Hernández, 2004; García-Mateos *et al.*, 2021). En esta investigación destaca el uso de extractos de ajo grande como el mejor inhibidor



del crecimiento micelial del hongo causante de la antracnosis, aunque se consideraba que el ajo chico pudiera tener compuestos más concentrados el resultado no respaldó nuestra suposición inicial e incluso si evaluáramos solo el ajo chico no apreciaríamos la diferencia, resultados similares en bajo porcentaje de concentración obtuvieron en papaya Landeros *et al.* (2013) y Ranaware *et al.* (2010) contra *A. carthami*, Chacín *et al.* (2013) registran efecto contra *C. gloeosporioides* de tomate de árbol, pero en concentraciones elevadas (75 y 100%). Respecto al oreganón (*Plectranthus amboinicus*) en esta investigación no presentó efecto sobre el hongo a pesar de que plantas similares de otros oréganos si han tenido efecto (Bolívar *et al.*, 2009; Duarte *et al.*, 2021; Pérez *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Comparación de medias de tres factores para evaluar la reducción en el desarrollo de *Colletotrichum* spp. procedentes de frutos de Tabasco.

Biofungicidas	Medias	Aislamientos	Medias	pH	Medias
Ajo grande	0.43083 a	H2-3-F2	0.46519 a	5	0.50079 a
Ajo mediano	0.38575 a	1E	0.39083 ab	6	0.08361 b
Ajo chico	0.33167 ab	H3-F3-M1	0.27750 b		
Crucetillo	0.26708 ab	Hi-2-F2	0.03528 c		
Cloruro Calcio	0.17288 b				
Oreganón	0.16500 b				

*Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ($\alpha > 0.05$).

Factor pH

Para este estudio sobresalió con significancia la solución de agua con pH 5 (cuadro 3), en ella funcionaron mejor los productos biológicos para inhibir el desarrollo micelial de los cuatro aislamientos de *Colletotrichum* spp. Son escasos los trabajos donde se toma en cuenta el pH de solución del agua, en este caso los biológicos y productos alternos tuvieron efecto visible con sus respectivas diferencias, mientras que a pH 6 no se evidenciaron efectos de inhibición del hongo. La única investigación con la cual hay una cercanía en el efecto de los biofungicidas y productos alternativos es con la investigación realizada contra el hongo causante de la antracnosis “*in vitro*” en Veracruz, en esta se registra que a pH 5 funcionaron mejor el producto de contacto mancozeb, mientras que a pH 6 no presentó efecto alguno contra cinco aislamientos agresivos de *Colletotrichum* spp.,



(Rodríguez *et al.*, 2021). es posible que el pH del agua propicie la expresión de los compuestos que actúan como biofungicidas.

Factor concentración

Para el factor concentración también se presentó diferencia significativa. Fue sorprendente registrar que la concentración menor usada en esta investigación presentó el mejor efecto biofungicia, para esta investigación fue al 10%. El resultado de nuestra investigación es similar a los resultados obtenidos por Landero *et al.* (2013), en la que se observó que el extracto de ajo a un 10 y 15% de concentración con inhiben el desarrollo del micelio de *Colletotrichum* spp., obtenido de antracnosis de frutos de papaya. Sin embargo, también existe evidencia que es necesario concentraciones mayores de ajo para que se registren efectos, como en el trabajo de Chacín *et al.* (2013) en la que encontraron que eran las concentraciones de 75 y 100% tenían efectos sobre *Colletotrichum* spp. aislado de *C. betaceae*.

Conclusiones

1. Para biofungicidas y productos alternativos, el aislamiento dos del hongo (H2-2F2) obtenido de Tabasco, es el que presentó mayor sensibilidad a los tratamientos para reducir su desarrollo, los tres restantes presentaron menor sensibilidad a los tratamientos.
2. Respecto a biológicos, el efecto de ajo grande seguido de ajo mediano registró el mejor efecto en la reducción sobre los aislamientos del hongo *Colletotrichum* spp. obtenidos de Tabasco, en esta investigación,
3. Del factor pH, presentó significancia la solución de agua con pH 5, igual que con fungicidas.
4. Para el factor concentración, el mejor efecto biofungicida, fue al 10%.

Literatura Citada

Ademe, A., A. Ayalew. y K. Woldetsadik. 2013. Evaluation of antifungal activity of plants extracts against papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*). J. Plant Pathology and Microbiology. 4:207. doi:10.4172/2157-7471.1000207



- Angulo, A. M. C. y J. K, Cedeño R. 2023. Evaluación de dos métodos de extracción a partir de tres plantas silvestres por dos tipos de cromatografía. Tesis Licenciatura. Escuela Superior Politécnica de Manabi. Manuel Félix López. Ecuador. 60 p.
- Anza, C. H. G., S. I. Ramírez G., O. López B. y S. Espinoza Z. 2023. Fitotoxicidad de extractos vegetales en la germinación de semillas y desarrollo inicial de plantas mono y dicotiledóneas. Espacio I+D, Innovación más Desarrollo. 12I(32):118-140 doi.org/10.31644/IMASD.32.2023.A07
- Arial, R. y R. Ming. 2014. Sex determination in flowering plants papaya as a model system. Plant Science: 56-62
- ASP. 2013. El impacto del ph del agua sobre la efectividad de un agroquímico. ASP. Chile. <http://www.loveland.cl/wp-content/uploads/2015/02/boletin14.pdf> [consultado 03 de junio de 2023]
- Bolívar, K., M. E. Sanabria, D. Rodríguez, M. de Camacaro, D. Ulacio, L. J. Cumana y O. Crescente. 2009. Potencial efecto fungicida de extractos vegetales en el desarrollo *in vitro* del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz. & Sacc. y de la antracnosis en frutos de mango. Revista UDO Agrícola 9(1):175-181
- Chacín, Z., C., M. L. Blanco M., S. C. Sánchez G. y C. Acevedo I. 2013. Evaluación a nivel de laboratorio del efecto de 7 extractos vegetales para el control de *Colletotrichum* sp. agente causal de la antracnosis en el cultivo de tomate de árbol. Innovaciencia1(1):30-35 <https://doi.org/10.15649/2346075X.214> [consultado 01 de junio de 2023]
- Díaz, P. F. A. 2020. Evaluación de extractos botánicos para el control de hongos fitopatógenos en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. 49 p.



- Duarte, R. T. P., S. I. Ramírez G., O. López B. y A. C. Morillo C. 2021. Extractos vegetales para el control *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides* P. aislado de *Carica papaya* L. Espacio I+D, Innovación más desarrollo, 10(26). <https://doi.org/10.31644/IMASD.26.2021.a05> [consultado 01 de junio de 2023]
- Esqueda, E. V. y O. H. Tosquy V. 2015. Efecto del volumen y el pH del agua en el control de *Ixophorus unisetus* (J. Presl) Schldtl. con glifosato. Revista Mexicana de ciencias Agrícolas. 6(1): 97-109
- Favela, G., K. M., L. A. Pérez G., C. N. del Rio A. y N, M. de la Fuente S. 2019. Caracterización preliminar de la actividad antimicrobiana de extractos vegetales de la familia *Brassicaceae*. In: VI Simposio Nacional de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina. IV Simposio Nacional de Microbiología aplicada. RCFB. Ed. Esp. 1: p.
- García-Mateos, M. R., M. Acosta R., E. Rodríguez P., J. Vásquez S. y L. Hernández R. 2021. Extractos vegetales para el control de *Colletotrichum gloeosporioides in vitro*, en periodos de floración y postcosecha del fruto de *Carica papaya*. Polibotánica. 51:213-228
- Guevara, C., S. C. 2021. Evaluación de extractos vegetales en el control *in vitro* del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidóptera: Noctuidae). Tesis M.C. UACH. 50 p.
- Gutiérrez, A., J. G., O. Gutiérrez A., D. Nieto A., D. Téliz O., E. Zavaleta M., F. Delgadillo S. y H. Vaquera H. 2003. Resistencia a benomil y tiabendazol en aislamientos de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Penz, y Sacc. obtenidos de mango (*Mangifera indica* L.) en cinco regiones de México. Rev. Mex. De Fitopatología 21(3):260-266
- Hernández, A. R. C. 2004. Evaluación del potencial antifúngico de extractos vegetales crudos en la germinación de esporas. Tesis Maestría en Ciencias. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional. 175 p.



- Landero, V., N., D. Nieto A., D. Téliz O., R. Alatorre R., M. Orozco S. y C. F. Ortiz G. 2013. Potencial antifúngico de extractos de cuatro especies vegetales sobre el crecimiento de *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya*) en postcosecha. Rev. Venezolana de Ciencia y Tecnología de alimentos. 4(1):47-62
- Pérez, C. A., J. Rojas S., L. Chamorro A. y K. Pérez P. 2011. Evaluación *in vitro* de la actividad inhibitoria de extractos vegetales sobre aislados de *Colletotrichum* spp. Acta Agronómica. 60(2):158-164
- Pérez, C. A., K. Pérez-P. y L. Chamorro A. 2014. Actividad antimicrobiana del extracto de *Mascagnia macrodena* (DC) Mied sobre *Colletotrichum gloeosporioides* causante de antracnosis en ñame. Revista U. D. C. A. Actividad y divulgación científica. Colombia.17(2):413-422
- Ranaware, A. V. Singh y N. Nimbkar. 2010. *In vitro* antifungal study of the efficacy of some plant extracts for inhibition of *Alternaria carthami* fungus. Indian Journal of Natural Products and Resources. 1(3):384-386
- Rodríguez, E., J. G. y A. Salas R. 2016. Respuesta a acaricidas del ácaro *Tetranychus urticae* del cogollo del papayo en Veracruz. p. 303-307. In: Innovación Tecnológica para la Seguridad alimentaria. Villahermosa, Tab., México
- Rodríguez, Q., C. G.; R. Rodríguez F. y J. G. Rodríguez E. 2018. Identificación de *Colletotrichum* spp. en frutos de papaya del centro del estado de Veracruz. p. 225-235 In: Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. Medellín, Ver., México. Año 2. Núm. 1.



Rodríguez, F., R. y J. G. Rodríguez E. 2019. Comportamiento precosecha de genotipos de papaya durante la primavera en el centro de Veracruz. p. 403-416 *In*: Avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático. ISSN: 2594-147X. Medellín, Ver., México. Año 3. Núm. 1.

Rodríguez, E., J. G., R. Rodríguez F. y C. G. Rodríguez Q. 2021. *Colletotrichum* spp. procedente de frutos de papaya del centro de Veracruz, su control con fungicidas y efecto del pH del agua. *Brasilean Journal of Animal and Environmental Research*. 4(3):4512-4523

Rojo-Báez, I., B. Álvarez-Rodríguez, R. S. García-Estrada, J. León-Félix, A. Sañudo-Barajas and R. Allende-Molar 2017. Current status of *Colletotrichum* spp. in México: Taxonomy, characterization, pathogenesis and control. *Revista Mexicana de Fitopatología* 35(3): 549-570.

Ruiz-Campos, C., G. Umaña R. y L. Gómez A. 2022. Identificación multilocus de especies de *Colletotrichum* asociados a la antracnosis de papaya. *Agronomía Mesoamericana* 33(1), doi:10.15517/am.v33il.45495 [consultado 01 de junio de 2023]

SAS Institute. 2018. SAS/STAT user guide. Versión 9.4 SAS Institute. Cary, NC. USA.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Producción anual Agrícola. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> [consultado 31 de mayo de 2023]

Torres-Calzada, C., R. Tapia-Tussell, I. Higuera-Ciapara and D. Perez-Brito. 2013. Morphological, pathological and genetic diversity of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose in papaya (*Carica papaya* L.). *Eur J Plant Pathol* 135:67-79



- Tucuch-Pérez, M. A., J. J. Bojórquez V., R. Arredondo V., F. D. Hernández C. y J.C. Anguiano C. 2021. Actividad biológica de extractos vegetales del semidesierto mexicano para manejo de *Fusarium oxysporum* de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 8(2):8p. DOI:10.19136/era.a8n2.2745 [consultado 01 de junio de 2023]
- Vázquez, G. E., H. Mata V., R. Ariza F. y F. Santamaría B. 2010. Producción y manejo postcosecha de papaya maradol en la planicie Huasteca. Libro Técnico No. 4. SADER. INIFAP. CIRNE. Campo Experimental Las Huastecas. Villa Cuauhtemoc, Tam. México. 155 p.
- Villacíz-Aldaz, L. A., O. León G., R. Santana M., J. Mangui T., G. Carranza, y P. Pasmíño P. 2017. Actividad antifúngica (*in vitro*) de extractos vegetales para el control de antracnosis (*Colletotrichum acutatum*). *Journal of the Selva Andina Biosph. Bolivia*. 5(1):59.64
- Xavier, C. J. 2015. Resistencia y control químico en la antracnosis del olivo causada por *Colletotrichum* spp. Tesis PhD. Universidad de Córdoba, España. 168 p.
- Zamora, A., J. A. 2012. Control de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) cv. Pococí mediante aplicaciones postcosecha de agua caliente y cloruro de calcio. Tesis de licenciatura. Universidad de Costa Rica. 104 p.



TIPOLOGÍA DE PRODUCTORES EN EL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA DEL ESTADO DE OAXACA

Marco Antonio Reynolds Chávez^{162*}, Ángel Capetillo Burela¹⁶², Rigoberto Zetina Lezama¹⁶², Martín Cadena Zapata¹⁶³
y Juan Antonio López López¹⁶³

Resumen

En México los trabajos de investigación documentados a nivel parcelario o de productor son escasos y con información limitada, debido a que son costosos y requieren de personal especializado. Este trabajo de investigación fue basado en la descripción de las tipologías de productores que participan en el Programa Sembrando Vida (PSV), mediante un diagnóstico aplicado a sembradores del estado de Oaxaca. Se realizaron 368 encuestas muestras de una población de 37,719 de pequeños productores y que representan una superficie de cultivo estimada de 56,578 mil ha, distribuidas en dos regiones del estado de Oaxaca. En este estado el PSV opera con 30 facilitadores, 150 técnicos productivos y 150 técnicos sociales; con un total de 1,509 Centros de Aprendizaje Campesino (CAC's) distribuidos en dos territorios Oaxaca Istmo (18,943 sembradores) y Oaxaca Mixteca (18,776 sembradores). Se encontró que la participación en el PSV de los hombres fue superior en 8% a la participación de las mujeres. La edad más representativa de los sembradores inscritos fue de un 22% entre 31 a 40 años; seguido de 20% entre 41 a 50 años. En el nivel de estudios, todos los sembradores tienen al menos estudios básicos el 53% tiene primaria, el 31% secundaria, el 13% cuenta con bachillerato y el 3% tiene licenciatura. Finalmente se encontró que la tenencia de la tierra en su mayoría es comunal con un 70.1%; seguido de la pequeña propiedad y ejidal con un 11.3% para ambos casos. Así mismo, se encontró que el 64% tienen entre 2.1 a 3.0 hectáreas. Se concluye que se debe trabajar para alcanzar la equidad de género en el sector agrícola Oaxaqueño y en programas de gobiernos que promueven el bienestar social y económico en el país. El diagnóstico continúa siendo una herramienta fundamental para identificar y atender personalmente la problemática a nivel productor y parcela con cualquier tipo de cultivo; ya que en esta investigación se pudieron atender los principales problemas mediante la

¹⁶² Campo Experimental Cotaxtla; Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor por correspondencia: reynolds.marco@inifap.gob.mx

¹⁶³ Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



asistencia técnica personalizada durante todo el desarrollo de los cultivos anuales y frutales que tiene los sembradores en sus MIAF dentro de su PUP.

Palabras clave: caracterización de productores en Oaxaca, milpa intercalada en árboles frutales, MIAF, pequeñas unidades de producción

Introducción

El Programa Sembrando Vida (PSV), fue instituido por el Gobierno Federal a partir de 2019, con el propósito de contribuir al bienestar social del sector rural mexicano a través del impulso de la autosuficiencia alimentaria. Con esta iniciativa se pretende coadyuvar a la reconstrucción del tejido social y la recuperación del medio ambiente, mediante la invitación a pequeños productores (sembradores), a establecer unidades de producción de 2.5 hectáreas con sistemas productivos agroforestales, que combinen la producción de los cultivos tradicionales en conjunto con árboles frutícolas y maderables bajo un sistema identificado como Milpa Intercalada entre Árboles Frutales (MIAF).

Las reglas de operación del programa PSV, define al sistema MIAF como “un Sistema Agroforestal (SAF) de cultivo intercalado, constituido por al menos tres especies, el árbol frutal (epicultivo), el maíz (mesocultivo) y frijol u otra especie comestible, de preferencia leguminosa (sotocultivo) en intensa interacción agronómica y que tiene como propósitos, la producción de maíz y frijol como elementos estratégicos para la seguridad alimentaria de las familias rurales, incrementar de manera significativa el ingreso neto familiar, incrementar el contenido de materia orgánica, controlar la erosión hídrica del suelo y con ello lograr un uso más eficiente del agua de lluvia”.

Según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022), el PSV cerró el año 2022 con un padrón de beneficiados de 37,719 pequeños productores y una superficie de cultivo superior a las 56,578 hectáreas en el estado de Oaxaca. En el plano organizacional, el PSV consideró al estado en dos territorios conocido como Oaxaca Istmo (18,943 sembradores) y Oaxaca Mixteca (18,776) respectivamente; en el cual operan 30 facilitadores, 150 técnicos productivos y 150 técnicos sociales; con un total de 1,509 centros de aprendizaje campesino (CAC's). En este sentido, ante la gran diversidad de condiciones climáticas, edáficas, tecnológicas, sociales, religiosas, económicas y



culturales que predominan en las diversas regiones de la entidad de Oaxaca, los técnicos y productores realizaron múltiples interpretaciones y adecuaciones al sistema MIAF para poder adaptar el sistema a su entorno y cumplir con las reglas del programa. Esta situación ha dificultado la operatividad del programa, así como el establecimiento y mantenimiento adecuado del sistema MIAF, situación que podría poner en riesgo las metas del PSV a mediano y largo plazo en México.

Cualquier tipo de intervención dirigida a técnicos y productores del PSV, enfocada a desarrollar sus capacidades y habilidades técnicas en el manejo del sistema MIAF, no debe ser vertical, por el contrario, se debe tener en cuenta los saberes campesinos y las condiciones socio-económicas en que se desarrolla un determinado grupo de beneficiarios. En este punto, los trabajos dirigidos a conocer la tipología de los productores generalmente ayudan a identificar y comprender más a detalle las razones que les obligan a tomar ciertas decisiones en sus Unidades de Producción (UP); además, constituyen una herramienta valiosa en el proceso de toma de decisiones (Betancourt *et al.*, 2005), ya que la generación de políticas diferenciadas para mejorar los sistemas de producción (Vilboa y Díaz, 2009) permiten predecir las posibilidades de éxito de cualquier tipo de intervención dirigida a mejorar el funcionamiento del sistema. De acuerdo con Paz (1998), la tipología es una herramienta metodológica que permite agrupar productores y fincas que presentan características similares; así como, potencialidades y restricciones similares frente a uno o varios elementos seleccionados (Amador *et al.*, 1995).

El objetivo de este trabajo fue tipificar los productores del PSV del estado de Oaxaca e identificar los principales sistemas de tenencia de la tierra y especies cultivadas en el sistema MIAF a fin de predecir el éxito de una estrategia de intervención horizontal enfocada al desarrollo de las capacidades y habilidades de técnicas para el manejo eficiente del sistema MIAF.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó de junio a diciembre del año 2022, mediante la realización de una encuesta semiestructurada que tomó como universo el número total de productores beneficiados por el PSV en el estado de Oaxaca. El diseño de la encuesta incluyó una serie de preguntas abiertas y cerradas enfocadas a tipificar las principales características de los productores beneficiados por el PSV; las cuales, consideraron aspectos como la tenencia de la tierra, cultivos establecidos, nivel actual de adopción de



la tecnología MIAF, nivel de mecanización, dependencia del glifosato y otros herbicidas en el control de maleza, características edáficas predominantes en las Pequeñas Unidades de Producción (PUP) y principales limitantes bióticos y abióticos del desarrollo y la producción de las especies cultivadas en el sistema MIAF; sin embargo, en este documento sólo se presentan los resultados obtenidos en la tipología de productores y nivel actual de la adopción de los componentes del sistema MIAF.

El tipo de muestreo utilizado para la investigación fue el identificado como estratificado (Mucha-Espinal y Lora-Loza, 2021). El estado de Oaxaca consideró dos territorios conocidos como Oaxaca Istmo (18,943 sembradores) y Oaxaca Mixteca (18,776) considerando 30 facilitadores, 150 técnicos productivos, 150 técnicos sociales y 1,509 centros de aprendizaje campesino (CAC's); en el cual, primeramente, fueron seleccionados los municipios más representativos, considerando variables como características agroecológicas de la región, número de productores y superficie total beneficiada por el Programa Sembrando Vida. En cada municipio y localidades, los productores entrevistados fueron seleccionados mediante un procedimiento aleatorio simple (Otzen y Manterola, 2017) dictaminado por un intervalo constante de selección. El tamaño de la muestra se calculó con base al padrón de beneficiarios del PSV del estado de Oaxaca del año 2022, mediante la ecuación propuesta por Montatixe y Eche (2021). El número de total de encuestas aplicadas ($n=381$) se obtuvo, a un nivel de confianza del 95%, un margen de error del 5% y una población de 37,719 sembradores y 1509 CAC'S. Las encuestas finalizadas fueron concentradas en hojas de cálculo del programa Excel para su respectivo análisis estadístico. Se obtuvieron los análisis estadísticos descriptivos como: mínimos, máximos, media y desviación estándar, para determinar la dispersión promedio de todos los puntos de los datos alrededor de su media grupal. Los resultados obtenidos en las encuestas fueron validados, mediante recorridos de campo y entrevistas directas a productores y técnicos clave, mediante la técnica de lluvia de ideas y entrevista para obtener información adicional resguardada por los técnicos de campo. La experiencia acumulada por los técnicos, en los años de desarrollo del programa Sembrando Vida, permitió identificar problemas específicos a nivel región y unidad de producción, así como también las necesidades de capacitación para los técnicos y sembradores del PSV.



Resultados y Discusión

Tipificación de los beneficiarios del PSV del estado de Oaxaca

Participación de la mujer en el PSV. En el ámbito rural Oaxaqueño, como en otros estados del país, la participación de las mujeres en las actividades primarias como la agricultura, se ha incrementado poco a poco con el tiempo. Los resultados obtenidos en la encuesta, indican que la participaron de las mujeres en el PSV fue de un 46.46% y el 54.54% correspondió a los hombres (Figura 1); los cuales, es sumamente interesante debido que, en ese estado, el sexo femenino tiene un gran porcentaje de presencia en el sector agrícola.

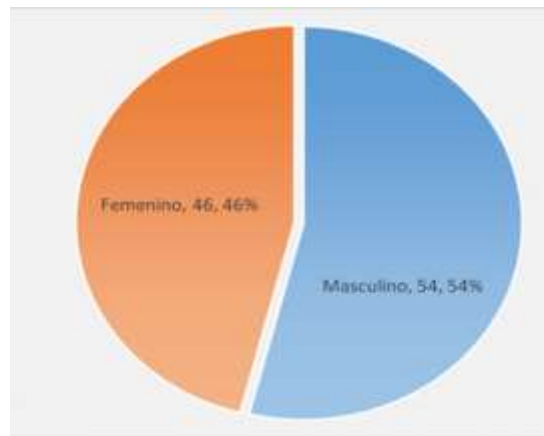


Figura 1. Sexo de los productores encuestados en el estado de Oaxaca.

Esto se pudo corroborar durante los cursos de capacitación que se realizaron *in situ* (parcelas de sembradores), donde se registraba un gran número de mujeres campesinas (sembradoras). Esta relación contrasta con los datos de tenencia y posesión de los derechos ejidales y comunales; ya que, según RAN (2022), de un total de 3.3 millones de ejidatarios mexicanos el 74.5% son hombres y el 25.34% son mujeres.

Por otro lado, en lo que respecta a la edad, se encontró que el 16% de los sembradores de Oaxaca, tienen entre 21 a 30 años; 22% entre 31 a 40 años; 20% entre 41 a 50 años; 20% entre 51 a 60 años; 11% entre 61 a 70 años; 4% entre 71 a 80 años y 1% entre 81 a 90 años de edad respectivamente (Figura 2).

Estos resultados muestran que aproximadamente el 50% de los sembradores se encuentran entre 41 a 60 años lo cual indica que los jóvenes ya se están quedando en campo y no tienden a migrar a las



grandes ciudades como ocurrían en años pasados en este estado del país; lo cual, es sumamente interesante ya que eso garantiza que las futuras generaciones en el corto plazo seguirán trabajando la tierra y podrán proveer de alimentos inocuos a las familias oaxaqueñas y a las del resto del país.

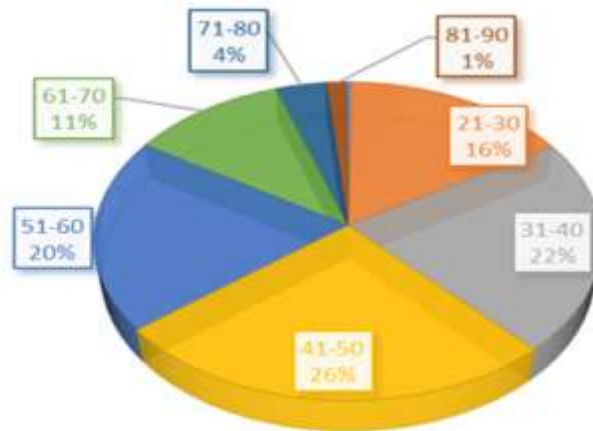


Figura 2. Edad de los productores encuestados en el estado de Oaxaca.

Estos resultados tienen una relación con la variable nivel de estudios de los sembradores, ya que, en este estado, no se tiene ningún sembrador sin estudios, debido que el 53% tiene primaria concluida, el 31% secundaria terminada, el 13% cuenta con bachillerato y el 3% tiene licenciatura terminada (Figura 3).

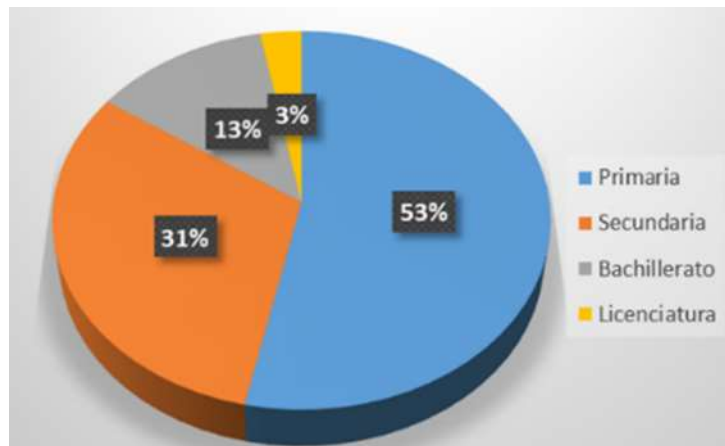


Figura 3. Escolaridad de los sembradores de Oaxaca.



Lo anterior podría ser el efecto de que este estado al igual que otros, los últimos gobiernos han implementado políticas públicas para la mejora de la educación y por ellos posiblemente se tienen mínimos números de personas que no sepan leer ni escribir; lo cual, entre los pobladores genera cierta competencia que literalmente los obliga a superarse constantemente. De acuerdo con algunas investigaciones, la edad de los productores está fuertemente relacionada con su nivel de escolaridad y otros factores ligados a la adopción de nuevas tecnologías (Zayas *et al.*, 2014; es decir, generalmente los productores más jóvenes tienen un mayor grado de escolaridad, Canales & Corilla, 2019).

Otras investigaciones realizadas por García-Zalazar *et al.*, (2023) entre otros, concluyeron que el nivel educativo de los productores está fuertemente relacionado con el índice de adopción de tecnología. No obstante, algunas investigaciones como las realizadas por Hernández-Chavarría *et al.*, 2022 en algunos distritos agrícolas de Durango, México, señalan que el nivel de productividad de parcelas no estuvo asociada al nivel de escolaridad, edad y género de los productores y que factores exógenos como el acceso al agua podrían tener una mayor influencia. Con relación al número de integrantes de las familias, se encontró que el 16% de las familias de los sembradores está integrada por menos de dos integrantes y 3% por más de cinco integrantes respectivamente. La mayor parte de las familias (81%) está conformada por tres a cinco integrantes. Éstos resultados muestran que las familias en las zonas rurales son relativamente pequeñas en comparación con las familias rurales de otros estados como lo es Chiapas; en los cuales las familias cuentan con más de 7 personas en sus hogares. Esos datos tienen una relación directa en lo correspondiente al número de personas dependientes económicamente y activas de los sembradores, debido que el 88% de los casos existen menos de dos dependientes económicos; mientras que el 11% tienen entre 3 a 5 dependientes económicos y sólo el 1% restante tienen más de 5 personas que dependen económicamente del sembrador, también se encontró que el 87% de los sembradores cuentan con menos de dos personas económicamente activas en las familias de Oaxaca; mientras que el 12% tienen de tres a 5 personas y finalmente el 1% de las familias tienen más de cinco personas económicamente activas en sus familias.

Otro indicador encontrado en esta investigación fue la formalidad de las familias, debido que el 58% de los sembradores son casados, el 24% viven en unión libre, el 12% son solteros, el 5% son viudos y el 1% es divorciado.

Estos datos muestran que más del 50% de las familias cuentan con un núcleo familiar estable y un porcentaje muy pequeño (1%) en la modalidad de divorciado (Figura 4); lo cual es sumamente



interesante ya que debido a que se tiene un alto porcentaje de familias sólidas, eso repercute en que posiblemente las futuras generaciones también tengan solidez en sus futuras familias.

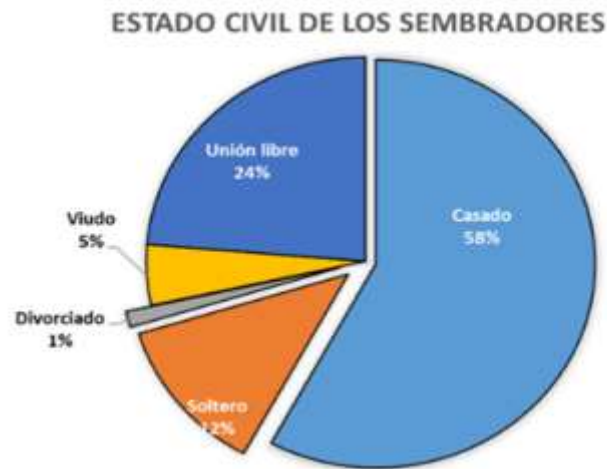


Figura 4. Estado civil de los sembradores de Oaxaca.

En el marco de la denominada “agricultura familiar” citada por Garner y Campos (2014), considerada el motor de las transformaciones productivas y económicas del sector rural en México, la SAGARPA y FAO (2012) trabajaron en la elaboración de cinco estratos familiares sustentados en una tipología de las unidades económicas rurales (UER) en las que se consideran aspectos como el trabajo familiar y su relación con unidad productiva, la racionalidad productiva y su relación con el mercado y la estrategia de ingresos. De acuerdo con este sistema de clasificación, se ha hipotetizado que la mayoría de las unidades de producción que pertenecen al PSV del estado de Oaxaca podrían clasificarse en el estrato “E1” que corresponde a la agricultura familiar de subsistencia sin vinculación al mercado y sólo una pequeña parte podría pertenecer al estrato “E2” denominada agricultura familiar de subsistencia con vinculación al mercado.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que, la familia rural Oaxaqueña que participa en el PSV es numerosa, con alto porcentaje de dependientes económicos y una baja disponibilidad de mano de obra familiar. Dado que los sistemas actuales de producción en estas comunidades generalmente implican pequeñas extensiones de terreno (< 4 hectáreas) mínimamente tecnificadas, con poca inyección de recursos económicos y asesoría técnica, las cosechas generalmente son de autoconsumo con excedentes que carecen de mercado. Los resultados son una economía familiar frágil con pocas o nulas expectativas de desarrollo.



Esta relación coincide con los datos de tenencia y posesión de los derechos ejidales y comunales ya que, según (Registro Agrario Nacional [RAN], 2022) de un total de 3.3 millones de ejidatarios mexicanos el 74.5% son hombres y el 25.34% son mujeres. Esta proporción se mantiene para el estado de Oaxaca ya que poco más del 30% de los derechos ejidales pertenecen a las mujeres (Registro Agrario Nacional [RAN], 2021). En este sentido, sólo en el 2.7% de los casos ocupaban un cargo en los órganos ejidales o comunales (Instituto Nacional de la Mujeres [INMUJERES] 2020).

Tenencia de la tierra

La distribución de los sistemas de tenencia de la tierra dentro del PSV en Oaxaca no fue diferente a la que se presentaba antes de que este programa iniciara operaciones en 2019/20. En este sentido, es necesario mencionar que, en México, la tenencia de la tierra para la agricultura principalmente gira en dos grandes ejes, como por ejemplo la ejidal y la pequeña propiedad; sin embargo, en el estado de Oaxaca, se encontró que los sembradores del PSV, cuentan con cinco tipos de tenencia de tierras que le permite ese programa para el desarrollo de sus MIAF.

Estos datos muestran que en Oaxaca el mayor porcentaje de tenencia de la tierra es comunal con un 70.1%; seguido de la pequeña propiedad y ejidal con un 11.3% para ambos casos, 5.2 en la modalidad de rentada y 2.1% en aparcería respectivamente (Figura 5).

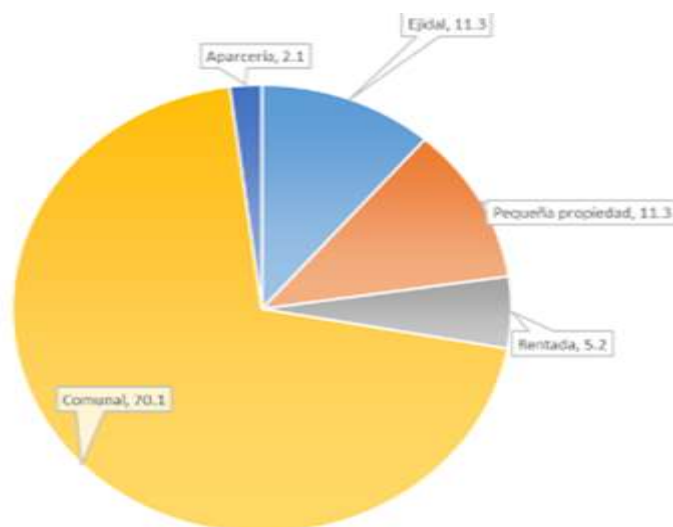


Figura 5. Tenencia de la tierra de los sembradores del estado de Oaxaca.

Es importante citar que los encuestados declararon que trabajaban en tierras rentadas o con otros tipos de arreglos acordados con los dueños de los terrenos. aún se cuentan con ejidos dedicados a la agricultura convencional, lo cual es sumamente importante ya que los agricultores son los principales



proveedores de alimentos del campo para la región y municipios cercanos a la zona urbana del estado; además que fueron pocos los productores sin tierras que decidieron rentar terrenos para poder participar en el programa.

Dado que en México el ejido es la principal forma de tenencia de la tierra reconocida por la Reforma agraria (Andrade-Sáenz, 2009) y que el padrón está compuesto por poco más de 5.2 millones de ejidatarios que habitan 32 mil núcleos agrarios distribuidos a lo largo y ancho de la República Mexicana, resulta lógico entender que el ejido es la forma principal de tenencia de la tierra en el PSV. Este contexto podría explicar, en parte, la baja participación de la mujer en el PSV (46%) ya que según la Procuraduría Agraria (2011) y RAN (2019), solo 25.9% del total del padrón de ejidatario son del sexo femenino.

La tenencia de la tierra es un factor importante cuando se habla de equidad de género; ya que las tierras, al ser consideradas como el patrimonio más importante de las familias rurales, la posesión de una parcela es un factor que contribuye sustancialmente al bienestar y empoderamiento femenino, la reducción de la pobreza y el control de sus ingresos (Vázquez-García, 2020). Inversamente, la carencia de tierras disminuye sus dificultades para conseguir leña, agua y plantas importantes para la salud y seguridad alimentaria de sus familias (Behrman, Meinzen-Dick y Quisumbing, 2012). El programa Sembrando Vida, especifica que cada sembrador debe contar con al menos 1.0 hectárea de MIAF (Milpa Intercalada en Árboles Frutales) y 1.5 hectárea para SAF (Sistemas Agroforestales) en sus PUP; sin embargo, existen sembradores que cuentan con una superficie mayor a la indicada por el programa, ya que se intuye que muchos de ellos tuvieron una visión mayor sobre los grandes beneficios del sistema MIAF. La distribución de las PUP, se observa en Figura 6.



Figura 6. Superficie de las PUP del estado de Oaxaca.



Derivado de ello, se encontró que el 64% tienen entre 2.1 a 3.0 hectáreas, el 12% tienen entre 1 y 2 hectáreas, 6% entre 3 y 4 hectáreas, el 4% tienen de 4.1 a 5.0 hectáreas, y del 1% cuentan con 1.0 hectáreas respectivamente.

Procedencia de la mano de obra y recursos económicos para el MIAF

Se sabe que el costo de la mano de obra (jornales) es diferente en cada región, estado y país, por lo que en el estado de Oaxaca no es la excepción, ya que se encontró que el costo por jornal diario es muy variado debido que el 75% tiene un costo mayor a \$200.00, el 20% varía entre \$101.00 y \$200.00, y sólo el 5% cuesta menos de \$100.00 ya que éste último es utilizado básicamente para labores esporádicas con una duración menor a 4 horas. Dado lo anterior, en algunas localidades se tiene cierta escasez debido que muchos hijos de sembradores inmigran a Estados Unidos, a pesar que para el manejo de los MIAF se requiere una alta demanda de mano de obra, se encontró que el 29% de los MIAF requieren más de 10 jornales por hectáreas para preparar su terreno, el 33.1% requieren entre 5 y 10 jornales y finalmente el 37% requieren menos de 5 jornales por hectárea para el desarrollo de esa actividad respectivamente.

En el contexto del párrafo anterior, los resultados obtenidos en este trabajo son acordes a los argumentos que presentan Camas-Gómez *et al.* (2012) quienes aseveran que el sistema MIAF es un generador de empleos y, en muchos casos, se constituye como factor que podría influir en la reducción de la migración en las zonas rurales y el abandono del campo. Es cierto que, al tratarse de una tecnología compleja, el sistema MIAF exige más trabajo para su implementación y mantenimiento; no obstante, también requiere de una mayor inversión cuando la mano de obra familiar es escasa. Trabajos realizados por Ruiz-Mendoza *et al.* (2012), en la sierra Mixe de Oaxaca, demostraron que la mano de obra para el establecimiento y mantenimiento del sistema MIAF puede llegar a ser muy alto ya que para una hectárea de terreno se requieren un total de 173 jornales.

Tal y como se citó en párrafos anteriores, el establecimiento del sistema MIAF requiere de una inversión inicial fuerte, principalmente por la adquisición de los frutales y la mano de obra para el trazo de las curvas a nivel y siembra de los cultivos anuales y perenes, debido que puede resultar muy costoso y difícil de financiar por un productor de subsistencia ubicado en áreas marginales. Son diversas las fuentes de financiamiento que fueron encontradas en este trabajo; sin duda, aunque no única, la fuente más importante de recursos fue el proporcionado por el gobierno federal; aun cuando se sabe que los sembradores que están inscritos en el Programa Sembrando Vida, reciben un estímulo económico cada mes para darle mantenimiento a sus Pequeñas Unidades de Producción, por lo que



dentro de este diagnóstico se planteó la pregunta para identificar si en sus sistemas le inyectan más recursos del que reciben mensualmente, por lo que se encontró que más del 70% de los recursos que utilizan en sus PUP proviene del gobierno y el resto de recursos propios, préstamos y remesas principalmente.

Finalmente, una de las principales limitantes del sistema MIAF es que para su establecimiento se requiere de mucha mano de obra y recursos económicos para realizar actividades como desmonte, trazo de curvas a nivel, elaboración de cepas (hoyos para frutales), compra de árboles frutales, siembra, compra o elaboración de lombricomposta o bocashi, instalación de tutores y del filtro de sedimentos. Por ejemplo, en climas tropicales el arreglo topológico de las especies frutales considera una densidad de 832 árboles de limón y en templado hasta 900 árboles de duraznos; en este contexto, la Unión internacional para la conservación de la naturaleza (Unión internacional para la conservación de la naturaleza [UICN], 2023) señala que el costo del establecimiento del sistema MIAF y del primer año de producción en clima templado es de 76 760 pesos MXN/ha y el de clima tropical es de 82 690 pesos MNX/ha. En ambos casos, el mayor costo de inversión corresponde a la compra de los árboles frutales; para el caso del limón, que puede alcanzar un precio de hasta 60 pesos MXN/árbol en los viveros regionales, la inversión realizada en este rubro podría alcanzar hasta el 60% del total del costo de transición.

Conclusiones

Se debe trabajar para alcanzar la equidad de género en el sector agrícola rural Oaxaqueño y en programas de gobierno que promueven el bienestar social y económico en las zonas más marginadas del país. La edad y grado de escolaridad de los sembradores del estado de Oaxaca muestran condiciones óptimas para el desarrollo de una estrategia de intervención tecnológica fundamentada una coparticipación de saberes campesinos, técnicos y científicos que tenga en cuenta las condiciones edafoclimáticas, sociales, ambientales y culturales de cada región. Asimismo, con la tipificación obtenida de los participantes registrados en el PSV “sembradores y sembradoras” permitirá planear nuevas estrategias para mejorar dicho programa en formas de escalamiento, de operación de desarrollo y de escalamiento territorial.



Literatura Citada

- Amador M. Durán C., V. H. Ruíz y L. C. Banquero. 1995. Caracterización socio-productiva y tipología de productores del cantón de Acosta. Avances de investigación núm. 14. Cedeco. Costa Rica. 34 p.
- Andrade Sáenz, N. 2009. La adopción del dominio pleno como causal de la extinción de los ejidos y comunidades en México. México: Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
- Betancourt K., M. Ibrahim, C. Villanueva y B. Vargas. 2005. Caracterización del manejo productivo de sistemas lecheros en la cuenca del río Bulbul de Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Livestock Research for Rural Development*. 17(80):1-12.
- Behrman J., R. Meinzen-Dick and A. Quisumbing. 2012. The gender implications of largescale land deals. *The Journal of Peasant Studies*, 39(1), 49-79. doi:10.1080/03066150.2011.652621.
- Canales, T., and M., Corilla. 2019. Factores que incidieron en la productividad agrícola en la Región Junín -2017. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. Retrieved from http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5517/T010_47473929_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camas-Gómez, R. A. Turrent-Fernández, J. I. Cortes-Flores, M. Livera-Muñoz, A. González-Estrada B. Villar-Sánchez, *et al.* 2012. Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(2), 231-243. Recuperado en 05 de marzo de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000200002&lng=es&tlng=es.
- Garner, E. and A. P., Campos. 2014. Identifying the 'family farm': an informal discussion of the concepts and definitions. *ESA Working*. Rome, FAO. 14-10 pp.



Hernández-Chavarría, J., González-Lazalde, I., y M. Q., Galván-Ismael. 2022. La productividad en los distritos agrícolas de Durango, México. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: División De Ciencias Económicas Y Sociales*, (37), 37. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi37.441>

Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES). 2020. Desigualdad en cifras. Las mujeres y el acceso a la tierra. Año 6, Boletín N° 5. 2 p. [En línea]: Consultado el 22 de marzo de 2021. Disponible en: http://cedoc.inmujeres.gob.mx/documentos_download/BA6N05.pdf

Montatixe, Sánchez y M. D., Eche E. 2021. Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra* [en línea]. Vol.8, n.1, e1735. Epub 04-ene-2021. ISSN 2477-8850. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>.

Mucha-Espinal, L.F. y M.G., Lora-Loza. 2021. Técnicas de muestreo para investigación cuantitativa: aplicación informática. Fondo Editorial Universidad César Vallejo. 1ª. Edic. dic. 2021. 137 p. Lima, Perú. DOI: www.doi.org/10.18050/tecnicasmuestreo.

Otzen, T. y C., Manterola, 2017. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Paz, R. 1998. Construcción de tipologías de sistemas de producción a partir del análisis estadístico multivariante. *Argentina*. 2:105-126.

Procuraduría Agraria. 2011. Estadísticas agrarias. Información seleccionada. México: Procuraduría Agraria.

Registro Agrario Nacional (RAN). 2022. Sujetos de núcleos agrarios certificados y no certificados. Recuperado de http://www.ran.gob.mx/ran/indic_gen/nucag-certynocert-avance-2022-abr.pdf

Registro Agrario Nacional (RAN). 2021. Indicadores básicos de la propiedad social 2021. http://www.ran.gob.mx/ran/indic_bps/1_ER-2021.pdf



Registro Agrario Nacional (RAN). 2019. Registro Agrario Nacional, 2019, Estadística con perspectiva de género, Tabulados.

Ruiz-Mendoza, A D., L Jiménez-Sánchez, O L Figueroa-Rodríguez y M., Morales Guerra. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (8 1):1605-1621. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n8/v3n8a10.pdf>

SAGARPA y FAO. 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Diagnóstico del sector rural y pesquero: Identificación de la problemática del sector agropecuario y pesquero de México 2012. Ciudad de México.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2022. Amplía Secretaría de Bienestar cobertura de Sembrando Vida en Guerrero. <https://www.gob.mx/bienestar/prensa/amplia-secretaria-de-bienestar-cobertura-de-sembrando-vida-en-guerrero>

Unión internacional para la conservación de la naturaleza (UICN). 2023. Modelo de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en ladera. [En línea]. Consultado el 23 de febrero de 2023. Disponible en: <https://www.oaxacabajoemisiones.mx/?P=MIAF>

Vázquez-García, Verónica. 2020. Género y privatización del ejido en San Salvador Atenco, México. *Perfiles latinoamericanos*, 28(55), 325-348. Epub 02 de julio de 2020. <https://doi.org/10.18504/pl2855-013-2020>

Vilboa, A. J. y R. P. Díaz. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical*. 27(4):427-436.



Zayas, B., R.A., P. Saiz A., M. Romero L. y J.A. Castro M. 2014. La educación como factor de desarrollo agropecuario en el Évora, Sinaloa, México. Revista Mexicana de Agronegocios 35: 1132-1144.



IDENTIFICACIÓN A NIVEL TRANSCRIPTÓMICO DE LA FAMILIA DE GENES CDR EN *Citrus latifolia* Y SU EXPRESIÓN DURANTE LA ENFERMEDAD POR HLB

Felipe Roberto Flores de la Rosa¹⁶⁴, Carlos González Cruz¹⁶⁵, Jacel Adame García¹⁶⁵, Arianna Christine Chan León¹⁶⁶, Ricardo Santillán Mendoza¹⁶⁴, Jorge M. Santamaría¹⁶⁶ y Humberto Estrella Maldonado^{164*}

Resumen

Huanglongbing (HLB) es la enfermedad más devastadora en la producción de cítricos a nivel mundial. Actualmente, no existen especies o genotipos de cítricos resistentes al HLB; sin embargo, se ha reportado que el limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) es la especie de cítricos más tolerante al HLB, aunque sus mecanismos moleculares que desencadenan dicha tolerancia aún no han sido caracterizados. En *Poncirus trifoliata*, un pariente cercano de los cítricos, se ha sugerido que la alta expresión de genes de resistencia a enfermedades constitutivas (CDR) está asociada a la tolerancia al HLB, por tal motivo, el objetivo de este trabajo fue identificar genes CDR en el transcriptoma del limón persa y determinar si el HLB induce su expresión. Transcritos con uno o dos dominios catalíticos fueron identificados, luego, un análisis filogenético para genes CDR fue realizado con los transcritos seleccionados. El análisis de similitud entre proteínas fue estimado usando alineamientos, matriz de identidad, UPGMA y análisis de motivos conservados. Una vez identificados los genes CDR en *C. latifolia* (CICDR), se determinó su expresión con los datos del transcriptoma y fueron validados mediante RT-qPCR en hojas asintomáticas y sintomáticas al HLB. Un total de 146 secuencias con uno o dos dominios catalíticos fueron identificados. Los datos del transcriptoma y RT-PCR no mostraron diferencias significativas en la expresión de estos genes CICDR entre plantas sintomáticas y asintomáticas al HLB. Por lo tanto, se sugiere que la tolerancia al HLB no se correlaciona con el aumento de expresión de genes CDR en limón persa.

¹⁶⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco. *Autor de correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

¹⁶⁵ Tecnológico Nacional de México, Campus Úrsulo Galván.

¹⁶⁶ Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.



Palabras clave: genes CDR, HLB, limón persa, expresión relativa

Introducción

El estado de Veracruz en México, es el principal productor y exportador de limón persa (*Citrus latifolia* Tan.) en el mundo, debido a la alta calidad de los frutos cosechados (Berdeja-Arbeu *et al.*, 2019). Sin embargo, la enfermedad Huanglongbing (HLB) ha sido reportada en campos de limón persa en Veracruz (Márquez-Pérez *et al.*, 2018). HLB, también conocida como la enfermedad del enverdecimiento de los cítricos, representa la peor amenaza en la historia de la industria citrícola, causada por tres diferentes especies de *Candidatus Liberibacter* (Thapa *et al.*, 2020). *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas) es la especie más dispersa a nivel mundial (Ajene *et al.*, 2020), incluyendo México (López-Buenfil *et al.*, 2017). Aunque no existen genotipos o variedades de cítricos resistentes a la infección por CLas (Alquézar *et al.*, 2021; Alves *et al.*, 2021), algunas especies tolerantes como *C. aurantifolia* (Arce-Leal *et al.*, 2020) y *C. australasica* (Weber *et al.*, 2022) han sido reportadas. Por lo tanto, desarrollar el mejoramiento genético es crucial para comprender los mecanismos moleculares de especies con alto niveles de tolerancia contra el HLB. La tolerancia al HLB ha sido documentada en parientes cercanos de cítricos como *Poncirus trifoliata* (Ramadugu *et al.*, 2016). *P. trifoliata* es una especie muy importante en la industria de los cítricos porque es utilizado como portainjerto para diferentes especies de cítricos, induciendo características muy deseables a los frutos (Hu *et al.*, 2022). Estudios transcriptómicos y genómicos han sugerido que la tolerancia al HLB en *P. trifoliata*, está asociada a la alta expresión de genes de la familia CDR (Constitutive Diseases Resistance). Estos genes están altamente expresados en genotipos tolerantes, pero son ausentes en susceptibles (Rawat *et al.*, 2017). Los genes CDR pertenecen a la familia génica proteasa aspártica y han sido caracterizados en *Arabidopsis thaliana* (Xia *et al.*, 2004), donde están asociadas en la respuesta de defensa en plantas frente a estreses bióticos y abióticos (Figuereido *et al.*, 2021). El limón persa todavía se considera una de las especies menos susceptibles al HLB en comparación con cítricos dulces como naranja (*C. sinensis*), mandarina (*C. clementina*) e incluso con el limón mexicano (*C. aurantifolia*). Recientemente, árboles de limón persa afectados por HLB mostraron un mejor rendimiento fisiológico en términos de mayores tasas fotosintéticas, mayor conductancia estomática y transpiración, en comparación con el limón mexicano afectado por HLB (Sivager *et al.*, 2021),



sugiriendo que la dinámica del floema se puede mantener en limón persa durante la infección por CLAs. Sin embargo, esta aparente alta tolerancia al HLB mostrada por el limón persa no ha sido estudiada a nivel molecular. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la hipótesis que la tolerancia al HLB del limón persa podría estar relacionada con la capacidad de su familia de genes *CDR* para mostrar una alta expresión en respuesta al HLB en una manera similar como ocurre en *P. trifoliata*, identificando la familia de genes *CDR* en el transcriptoma del limón persa y determinando el efecto de la infección por CLAs en la expresión de estos genes.

Materiales y Métodos

Identificación de secuencias CDR en el transcriptoma de lima persa

Se identificaron todos los transcritos de tipo CDR a partir de un análisis transcriptómico realizado en limón persa por nuestro grupo (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023). Se realizó una búsqueda de secuencias que contenían uno o dos dominios aspártico proteasa (DTGS o DSGT) utilizando el software HMMER v3.3.2 (Wheeler y Eddy, 2013) contra la base de datos Pfam (Acceso: PF00026) (Mistry *et al.*, 2020). Todas las secuencias que contenían los dominios aspártico proteasa se utilizaron en el presente análisis.

Análisis filogenético de secuencias CDR

Se construyó un árbol filogenético utilizando genes *CDR* identificados en el transcriptoma de lima persa, así como secuencias de diferentes genes *CDR* obtenidos de los genomas de *P. trifoliata* y *C. sinensis* disponibles en Citrus Genome Database (<https://www.citrusgenomedb.org/>). Las secuencias de los genes *CDR* de las tres especies fueron alineados en el algoritmo Muscle usando el software BioEdit (Hall, 1999). Se realizó un análisis de Máxima Parsimonia no ponderado utilizando el software T.N.T. (Goloboff *et al.*, 2008), con la finalidad de reconstruir las relaciones filogenéticas entre secuencias usando un enfoque de Nueva Tecnología de Búsqueda y un Bootstrap de 1000 repeticiones para remuestrear. Un árbol consenso estricto fue construido con todos los árboles más parsimoniosos.

Análisis de similitud entre proteínas CICDR, CsCDR y PtCDR

Para comparar la similitud entre las proteínas CDR de las tres especies, todos los genes CDR fueron traducidos a proteína utilizando la herramienta ExpASy (<https://web.expasy.org/translate/>) y se seleccionó el ORF más grande para su posterior análisis. Luego se construyó un alineamiento con un



algoritmo ClustalW usando el software BioEdit (Hall, 1999). Además, se calculó una matriz de identidad genética entre todas las proteínas CDR basado en la distancia p . Después se construyó un dendrograma UPGMA con las distancias calculadas (Bootstrap = 1000 repeticiones), ambos análisis se realizaron en el software MEGA V.11 (Tamura *et al.*, 2021). Las estructuras de motivos conservados de las proteínas *CICDR*, *CsCDR* y *PtCDR* se analizaron utilizando el software MEME (<http://meme-suite.org/tools/meme>).

Expresión de genes *CICDR* en limón persa durante la infección por CLas

Para determinar la expresión de genes *CICDR*, se consultó los genes diferencialmente expresados (DEG's) de la base de datos del transcriptoma de limón persa (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023), con la finalidad de obtener los datos de recuentos de lecturas, la tasa de cambio (Log_2) y los valores p de los transcritos identificados como secuencias *CDR*.

Validación de la expresión de genes *CICDR* mediante RT-PCR y RT-qPCR

Se recolectaron hojas fisiológicamente maduras de árboles de limón persa de 7 años naturalmente infectados por CLas, con y sin síntomas para la extracción de ARN. La infección por CLas se diagnosticó mediante el protocolo de PCR anidado. La concentración y la pureza de las muestras de ARN se examinaron con el espectrofotómetro NanoDrop™ 1000 (Thermo Scientific NanoDrop Technologies, LLC, Wilmington, DE, EE. UU.), la calidad se evaluó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.5% durante 30 min a 80 V. El ADN complementario (ADNc) fue sintetizado utilizando la enzima transcriptasa inversa M-MLV (Promega), siguiendo las instrucciones del fabricante. Se diseñó un par de primers usando el software Primer Express Ver. 3.1 (Applied Biosystems USA) para evaluar los niveles de expresión relativos (REL) de los genes *CICDR*. Para el análisis de expresión génica mediante RT-PCR se utilizó el producto de amplificación del gen endógeno *SAND* (Mafra *et al.*, 2012). Los REL del gen *CICDR8* se validaron mediante RT-qPCR, y el gen *UPL7* se utilizó como gen endógeno para normalizar todos los valores (Mafra *et al.*, 2012). La especificidad de la reacción se confirmó utilizando el método de la curva estándar melt. La reacción se realizó en un termociclador StepOne™ Real-Time PCR Systems y StepOne Software v2.3 (Applied Biosystems, Foster City, CA, EE. UU.). Los REL del gen *CICDR8a* en hojas sintomáticas y asintomáticas se calcularon utilizando el método $2^{-\Delta\Delta CT}$ (Schmittgen y Livak, 2008). Datos REL se sometieron a un análisis T-Student bilateral en Software R.



Resultados y Discusión

La enfermedad del HLB es de gran preocupación para muchos agricultores, técnicos e investigadores de todo el mundo. Debido a la dificultad para aislar a CLAs (Merfa *et al.*, 2019), el desarrollo de estrategias para atacar directamente a las bacterias que causan la enfermedad han sido bastante desalentadoras, permitiendo que la generación de resistencia genética al patógeno sea la herramienta más prometedora para el manejo a largo plazo del HLB (Martinelli y Dandekar, 2017; Li *et al.*, 2021). Por lo tanto, el estudio de diferentes genotipos con diferentes niveles de tolerancia a HLB es muy importante para comprender los mecanismos moleculares de esta tolerancia y luego usarlos en programas de mejoramiento genético con el objetivo de usarlos en la generación de genotipos tolerantes a HLB. Un total de 146 secuencias del transcriptoma de lima persa mostraron el dominio aspartil proteasa. Estas secuencias se utilizaron para la reconstrucción filogenética de máxima parsimonia en conjunto con las secuencias CDR de *P. trifoliata* y *C. sinensis*. La búsqueda permitió recuperar los cinco árboles más parsimoniosos (L=789), y finalmente se construyó el árbol consenso resultando en siete clados donde se agruparon al menos una secuencia del gen *PtCDR* o *CsCDR*, y al menos un transcrito CDR de *C. latifolia*. El clado que contiene al gen *PtCDR1* también contiene al transcrito TRINITY_DN735_c2_g1_i1. Otro clado agrupó al gen *PtCDR8* con diferentes isoformas del transcrito TRINITY_DN3834_c0_g1, este clado mostró similitud con el clado que contiene al gen *PtCDR3* que también tiene una isoforma del transcrito TRINITY_DN3834_c0_g3_i1. Por otro lado, el transcrito TRINITY_DN9086_c0_g1_i1 mostró alta similitud con el gen *PtCDR6*, sin embargo, los transcritos TRINITY_DN12502_c0_g2, TRINITY_DN18041_c0_g1_i2 y tres isoformas del transcrito TRINITY_DN735_c0_g1 también mostraron similitud con el gen *PtCDR6* de *P. trifoliata*. Finalmente, se recuperaron dos clados con secuencias de *C. sinensis*, el clado con el gen *CsCDR3* que fue homólogo al transcrito TRINITY_20694_c0_g1_i1, y el gen *CsCDR13* que fue homólogo a cuatro isoformas del transcrito TRINITY_DN5173_c0_g1 (Figura 1).

Todos los genes *CICDR* identificados se resumen en el Cuadro 1. Una de las especies de cítricos más tolerantes al HLB es *P. trifoliata* y se ha sugerido que la sobreexpresión de genes *CDR* en respuesta a la enfermedad puede ser una parte importante del mecanismo molecular asociado a su tolerancia al HLB. Contrariamente, los genotipos susceptibles a HLB mostraron una baja expresión de los genes *CDR* en respuesta a la enfermedad (Rawat *et al.*, 2017). Nuestros resultados muestran al menos seis

genes *CDR* presentes en el transcriptoma de la limón persa, dos fueron filogenéticamente homólogos a los genes *PtCDR* y dos fueron homólogos a los genes *CsCDR*.

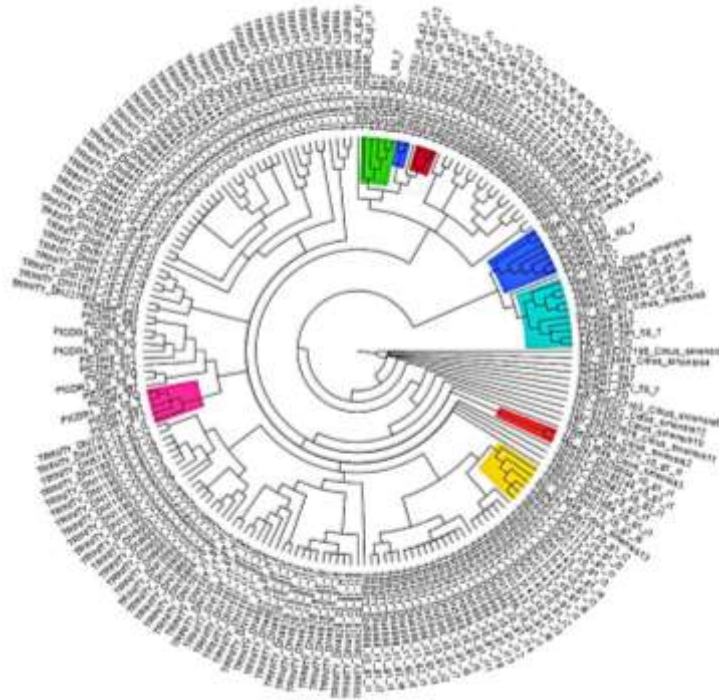


Figura. 1. Árbol filogenético de las secuencias del transcriptoma de *C. latifolia* con dominio proteasa aspártica y los genes *PtCDR* y *CsCDR*. Los clados donde se observó un gen *CDR* se marcaron con diferentes colores.

Cuadro 1. Identificación de genes *CDR* en el transcriptoma de *C. latifolia* y sus homólogos en *P. trifoliata* and *C. sinensis*.

Transcrito	Gen <i>CDR</i> en <i>C. latifolia</i>	Homólogo
TRINITY_DN5173_c0_g1_i2	<i>CiCDR3</i>	<i>CsCDR3</i>
TRINITY_DN12502_c0_g2_i1	<i>CiCDR4</i>	-
TRINITY_DN735_c0_g1_i3	<i>CiCDR5</i>	-
TRINITY_DN9086_c0_g1_i1	<i>CiCDR6</i>	<i>PtCDR6-PtCDR1</i>
TRINITY_DN3834_c0	<i>CiCDR8</i>	<i>PtCDR8-PtCDR3</i>
TRINITY_DN20694_c0_g1_i1	<i>CiCDR13</i>	<i>CsCDR13</i>

El alineamiento múltiple de aminoácidos mostró algunas regiones altamente conservadas relacionadas con los dominios funcionales aspartil proteasa (Figura 2). El transcrito TRINITY_DN18041_c0_g1_i1



no mostró ningún dominio catalítico, por lo tanto, se descartó para futuros análisis. Todas las demás secuencias mostraron el dominio DTGS, sin embargo, la proteína TRINITY_DN12502_c0_g2_i1 tenía un dominio DSGS modificado, así como la proteína TRINITY_DN2094_c0_g1_i1 la cual también tenía un dominio DTSN modificado. Interesantemente, la proteína CsCDR13 tenía un dominio DTAS modificado. En cuanto al dominio DSGT, la proteína TRINITY_DN2094_c0_g1_i1 fue la única que no presentó el dominio DSGT, sin embargo, las proteínas TRINITY_DN12502_c0_g2_i1 y TRINITY_DN735_c0_g1_i3 mostraron el dominio modificado como DTGT y DCGT, respectivamente.



Figura 2. Alineamiento parcial de proteínas CDR de *C. latifolia*, *C. sinensis* y *P. trifoliata*. Los dos dominios catalíticos están delimitados en cuadro rojo (DTGS) y verde (DSGT).

La matriz de similitud mostró que algunos transcritos de limón persa codifican a proteínas muy similares respecto a sus homólogos de *P. trifoliata* o *C. sinensis*, con valores de similitud superiores al 90% (Cuadro 2). El transcrito TRINITY_DN3834_c0_g3_i1 mostró 93.6% de similitud con la proteína PtCDR3. Asimismo, el ORF más grande codificado por el transcrito TRINITY_DN9086_c0_g1_i1 fue idéntico a la proteína PtCDR1 (100%) y también mostró una gran similitud con PtCDR6 (99.6%) a pesar de no mostrar homología filogenética entre los genes *PtCDR1* *PtCDR6*, lo que sugiere que esta proteína tiene múltiples orígenes en el genoma de *P. trifoliata*, pero que es única en *C. latifolia*. Además, TRINITY_DN12502_c0_g2_i1, TRINITY_DN735_c0_g1_i3, TRINITY_DN20694_c0_g1_i1 y TRINITY_DN5173_c0_g1_i2 mostraron baja similitud de genes CDR entre *C. latifolia* y *C. sinensis* (Cuadro 2). El análisis UPGMA corroboró los valores de similitud obtenidos (Figura 3).



Cuadro 2. Matriz de porcentaje de similitud de proteínas codificadas a partir de transcritos CICDR contra proteínas PtCDR y CsCDR. Los valores de similitud superiores al 90% están sombreados en gris.

	PtCDR1	PtCDR3	PtCDR6	PtCDR8	CsCDR3	CsCDR13
TRINITY_DN3834_c0_g3_i1	28.6	93.6	28.4	80.8	30.7	41.7
TRINITY_DN9086_c0_g1_i1	100	28.0	99.6	29.8	32.9	30.4
TRINITY_DN12502_c0_g2_i1	50.4	31.6	50.0	29.9	29.3	27.9
TRINITY_DN735_c0_g1_i3	49.9	31.2	49.7	31.1	29.7	27.0
TRINITY_DN3834_c0_g1_i4	29.0	78.1	29.0	95.2	29.0	42.3
TRINITY_DN20694_c0_g1_i1	28.3	28.9	27.7	34.4	26.8	25.3
TRINITY_DN5173_c0_g1_i2	24.7	25.2	24.5	25.2	23.0	26.2

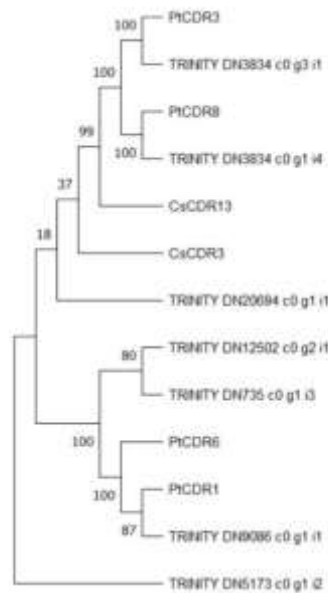


Figura 3. Dendrograma UPGMA construido con base en las distancias p de la secuencia de la proteína CDR de *C. latifolia*, *C. sinensis* y *P. trifoliata*.

La proteína codificada por el transcrito TRINITY_DN9086_c0_g1_i1 (CICDR6) es muy similar a dos proteínas de *P. trifoliata* (PtCDR1 y PtCDR6), pero el gen es homólogo al gen *PtCDR6*, no a *PtCDR1*, este resultado es semejante a lo descrito por Rawat *et al.* (2017), los cuales asociaron ambos genes *PtCDR* con un solo gen de *C. sinensis*; indicando que la posición de ambos genes en la filogenia sugiere que en *P. trifoliata* esta proteína tiene múltiples orígenes con una evolución convergente (Storz, 2016), a diferencia de *C. sinensis* y *C. latifolia* con un solo ortólogo en sus genomas. Por el contrario,



el gen *CICDR8* traduce al menos dos isoformas diferentes que son filogenéticamente homólogas a los genes *PtCDR8* y *PtCDR3*, además codifican a proteínas muy similares a las proteínas *PtCDR8* y *PtCDR3*; además, son homólogos al gen *PtCDR2*.

Con respecto al análisis de motivos conservados, las proteínas homólogas filogenéticas, los motivos y su organización fue muy similar. Por ejemplo, la proteína codificada por el transcrito TRINITY_DN9086_c0_g1_i1, *PtCDR1* y *PtCDR6*, mostraron los mismos motivos en la misma posición y longitud. Las proteínas *PtCDR3* y *PtCDR8* mostraron patrones muy similares de motivos conservados con ambas isoformas del transcrito TRINITY_DN3834_c0, indicado por la filogenia y la matriz de similitud (Cuadro 2). Además, las proteínas codificadas por los transcritos TRINITY_DN12502_c0_g2_i1 y TRINITY_DN735_c0_g1_i3 tenían patrones similares a otras proteínas CDR, pero el número y la organización de las mismas fueron diferentes, lo que sugiere que se trata de genes *CICDR* específicos de *C. latifolia*. Las proteínas *CsCDR3* y TRINITY_DN5173_c0_g1_i2 comparten cuatro motivos conservados, incluyendo los dominios catalíticos, a pesar de que esos genes no tienen homología filogenética. Para *CsCDR13* y TRINITY_DN20694_c0_g1_i1, el análisis mostró que para TRINITY_DN20694_c0_g1_i1, el motivo que contiene el dominio DTGS no está completo en el C-terminal (Figura 4).

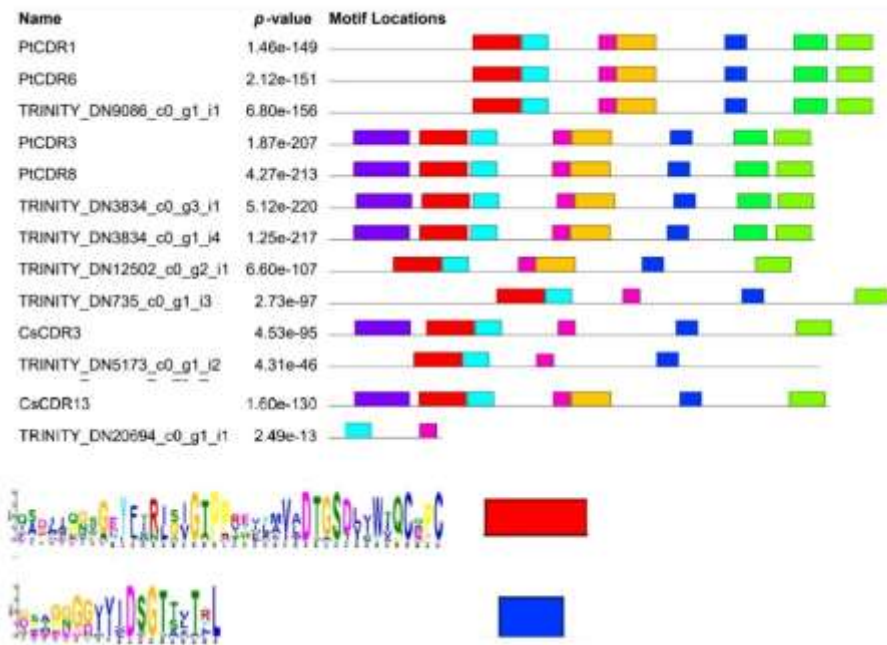


Figura. 4. Búsqueda de motivos conservados en las secuencias de proteínas CDR de *C. latifolia*, *C. sinensis* y *P. trifoliata*.



Los datos obtenidos del transcriptoma de limón persa naturalmente infectado con CLAs, mostró que la mayoría de los transcritos de los genes *CICDR* mostraron un recuento bajo, una tasa de cambio < 2 (Log_2) y un valor $p > 0,05$, lo que indica que no hay diferencias en la expresión de los genes *CICDR* en limón persa durante la infección por CLAs (Cuadro 3).

Cuadro 3. Conteos por millón, tasa de cambio (Log_2) y valor p asociado a cada transcrito de tipo *CICDR*.

Transcrito	Gene <i>CDR</i> en <i>C. latifolia</i>	Conteos de muestras asintomáticas (HLB -)	Conteos de muestras sintomáticas (HLB +)	Log ₂	Valor p
TRINITY_DN5173_c0_g1_i2	<i>CICDR3</i>	174.6	234.6	0.071	0.84
TRINITY_DN12502_c0_g2_i1	<i>CICDR4</i>	9.0	12.3	0.079	0.97
TRINITY_DN735_c0_g1_i3	<i>CICDR5</i>	526.6	414.3	-0.073	0.12
TRINITY_DN9086_c0_g1_i1	<i>CICDR6</i>	37.0	57.0	0.28	0.64
TRINITY_DN3834_c0_g1	<i>CICDR8</i>	2030.6	1811.6	-0.45	0.45
TRINITY_DN3834_c0_g3	<i>CICDR8</i>	779.0	133.3	-1.25	0.06
TRINITY_DN20694_c0_g1_i1	<i>CICDR13</i>	10.6	6.0	-1.04	0.72

Obtuvimos ARN de tres réplicas foliares de árboles de limón persa con síntomas de HLB y tres réplicas foliares sin síntomas (lo que corrobora que las muestras asintomáticas no estaban infectadas con CLAs; datos no mostrados). No se observó amplificación en casi todos los genes *CICDR*, excepto para el caso del gen *CICDR8a* (transcrito TRINITY_DN3834_c0_g1). El patrón de amplificación observado en la electroforesis correspondió con el número de conteos en la base de datos del transcriptoma, lo que sugiere que el número de ARNm de los genes *CICDR* en las muestras (sintomáticas o asintomáticas), fue tan bajo que no fue posible su observación cualitativa a través del método RT-PCR, a diferencia del gen *CICDR8a* y el gen control *SAND* (Figura 5a). Asimismo, comparamos los valores REL entre muestras de limón persa sintomáticas y asintomáticas de HLB utilizando RT-qPCR para el gen *CICDR8a*. Los resultados del análisis estadístico indicaron que no hay diferencias significativas en la expresión de este gen cuando se establece la infección por CLAs, resultado que está en concordancia con lo encontrado en el análisis de DEGs del transcriptoma (Figura 5b).

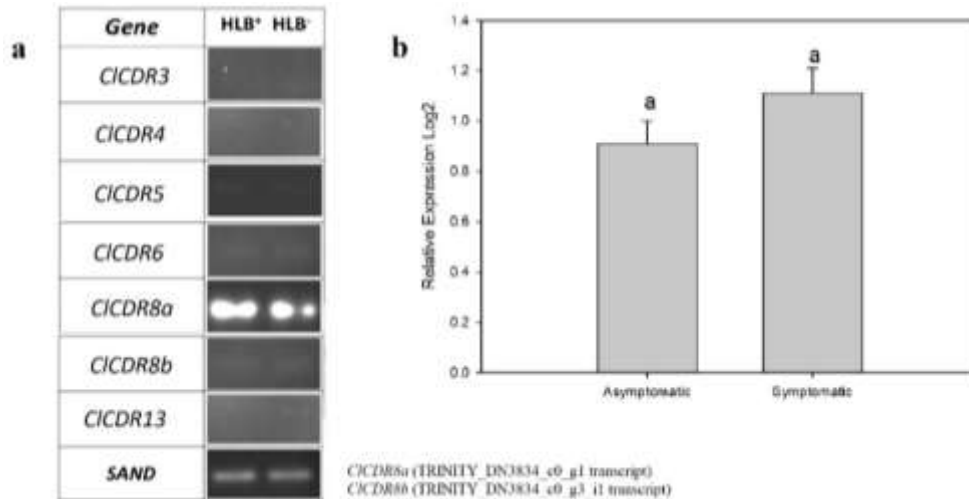


Figura 5. Amplificación de genes *CICDR* en hojas de limón persa con síntomas de HLB (HLB+) y asintomáticos (HLB-), obtenidos a partir del transcriptoma de limón persa. a) Expresión de genes *CICDR* por RT-PCR. b) Niveles de expresión relativos del gen *CICDR8a* por RT-qPCR.

La expresión heteróloga de los genes *PtCDR2* y *PtCDR8* en el mutante *cdr1* de *Arabidopsis* demostró la capacidad de restaurar la respuesta hipersensible (HR) a *Pseudomonas syringae*, asociando la HR con altos niveles de expresión de genes PR (Ying *et al.*, 2020), apoyando la hipótesis de que la sobreexpresión de estos genes está asociada con la tolerancia al HLB. En *C. latifolia* no se observó un homólogo a *PtCDR2*, pero se encontró un homólogo a *PtCDR8*; contrario a los resultados esperados, la infección por CLas no indujo una sobreexpresión detectable de este gen (*CICDR8a*), ni en los resultados del transcriptoma ni del análisis mediante RT-qPCR, lo que sugiere que este gen no está relacionado con la tolerancia observada en esta especie de cítrico (Sivager *et al.*, 2021).

El presente trabajo es la primera aproximación evolutiva a la complejidad de la familia de genes CDR, y la evidencia sugiere que hay muchas copias de genes que codifican para proteínas similares en *P. trifoliata* (*PtCDR2*, *PtCDR3* y *PtCDR8*) con funciones tentativamente redundantes, mientras que en *C. latifolia* es un gen único que codifica para diferentes proteínas por splicing alternativo, como se ha informado en otros cultivos de cítricos (Del Carratore *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2021). Además, el bajo número de conteos en el transcriptoma y la no amplificación por RT-PCR de todos los demás genes *CICDR*, incluida la isoforma *CICDR8* homóloga al gen *PtCDR3*, son consistentes con el comportamiento de esta familia en otras plantas de cítricos como *C. sinensis* (Rawat *et al.*, 2017). Esos resultados son evidencia de que el HLB no induce la sobreexpresión de esta familia en *C. latifolia*, es decir, la tolerancia reportada en limón persa no está asociada a la familia CDR.



Conclusiones

Los resultados mostrados en el presente trabajo demuestran que existen al menos seis miembros de la familia CDR en *C. latifolia*, algunos de ellos son homólogos a los genes *PtCDR* y *CsCDR*. Sin embargo, la tolerancia reportada previamente en *C. latifolia* frente al HLB, no está asociada con la sobreexpresión de esta familia de genes. De hecho, se necesitan más estudios para dilucidar qué otras familias de genes pueden estar sobreexpresadas en respuesta a la enfermedad que pueden explicar la tolerancia relativamente alta al HLB mostrada por *Citrus latifolia*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET). Número de proyecto: 15 1906/2021.

Literatura Citada

- Ajene, I. J., F. M. Khamis, B. van Asch, G. Pietersen, N. Seid and I. Rwomushana, *et al.* 2020. Distribution of *Candidatus Liberibacter* species in Eastern Africa, and the First Report of *Candidatus Liberibacter asiaticus* in Kenya. *Sci Rep.* 10:3919.
- Alquézar, B., L. Carmona, S. Bennici and L. Peña. 2021. Engineering of citrus to obtain huanglongbing resistance. *Curr Opin Biotechnol.* 70:196-203.
- Alves, M. N., S. A. Lopes, L. L. Raiol-Junior, N. A. Wulff, E. A. Girardi, P. Ollitrault, *et al.* 2021. Resistance to ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’, the Huanglongbing Associated Bacterium, in sexually and/or graft-compatible Citrus relatives. *Front Plant Sci.* 11:617664.



- Berdeja-Arbeu, R., M. V. Gómez, J. Méndez-Gómez, R. Escobar-Hernández and G. J. Pérez-Marroquín. 2019. Performance and quality of 'Persian' lime fruit with chemical nutrition, manure and legume in Martínez de la Torre, Veracruz, México. *Investigacion y Ciencia* 27(78):44-50.
- Del Carratore, R., E. Magaldi, A. Podda, P. Beffy, and B. E. Maserti. 2011. A stress responsive alternative splicing mechanism in *Citrus clementina* leaves. *J Plant Physiol.* 168(9):952-959.
- Estrella-Maldonado, H., C. González-Cruz, C. Matilde-Hernández, J. Adame-García, J. M. Santamaría, R. Santillán-Mendoza, *et al.* 2023. Insights into the Molecular Basis of Huanglongbing Tolerance in Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) through a Transcriptomic Approach. *Int J Mol Sci.* 24:797.
- Figueredo, L., R. B. Santos and A. Figueredo .2021. Defense and Offense Strategies: The Role of Aspartic Proteases in Plant–Pathogen Interactions. *Biology.* 10(2):75.
- Goloboff, P.A., J. S. Farris and K. C. Nixon. 2008. TNT, a free program for phylogenetic analysis. *Cladistics.* 24(5):774-786.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series.* 41:95-98.
- Hu, Z., F. Wang, H. Yu, M. Zhang, D. Jiang, T. Huang, *et al.* 2022. Effects of scion-rootstock interaction on citrus fruit quality related to differentially expressed small RNAs. *Sci Hortic.* 298:110974.
- Li, X., H. Ruan, C. Zhou, X. Meng and W. Chen. 2021. Controlling Citrus Huanglongbing: Green Sustainable Development Route Is the Future. *Front Plant Sci.* 12:760481.



- López-Buenfil, J. A., J. A. Ramírez-Pool, R. Ruiz-Medrano, M. C. Montes-Horcasitas, C. Chavarín-Palacio, J. Moya-Hinojosa, *et al.* 2017. Dynamics of Huanglongbing-associated Bacterium *Candidatus Liberibacter asiaticus* in *Citrus aurantifolia* Swingle (Mexican Lime). *Pak J Biol Sci.* 20(3):113-123.
- Mapfra, V., K. S. Kubo, M. Alves-Ferreira, M. Ribeiro-Alves, R. M. Stuart, L. P. Boava, *et al.* 2012. Reference Genes for Accurate Transcript Normalization in Citrus Genotypes under Different Experimental Conditions. *PLoS One.* 7(2):e31263.
- Marquez-Pérez, F.J., J. Flores-Sánchez, L. Rodríguez-Mejía, J. Marquez, S. Michereff, V. Ancona, *et al.* 2018. Progress and spatial pattern of HLB in Persian lime in Nayarit. *Bio Ciencias.* 5:e351.
- Martinelli, F. and A. M. Dandekar. 2017. Genetic Mechanisms of the Devious Intruder *Candidatus Liberibacter* in Citrus. *Front Plant Sci.* 31(8):904.
- Merfa, M. V., E. Pérez-López, E. Naranjo, M. Jain, D. W. Gabriel and L. De la Fuente. 2019. Progress and obstacles in culturing ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’, the bacterium associated with Huanglongbing. *Phytopathology.* 109(7):1092-1101.
- Mistry, J., S. Chuguransky, L. Williams, M. Qureshi, G. A. Salazar, E. L. L. Sonnhammer, *et al.* 2021. Pfam: The protein families database in 2021. *Nucleic Acids Res.* 8(49):412-419.
- Ramadugu, C., M. L. Keremane, S. E. Halbert, Y. P. Duan, M. L. Roose, E. Stover, *et al.* 2016. Long-term field evaluation reveals Huanglongbing resistance in *Citrus* relatives. *Plant Dis.* 100:1858-1869.
- Rawat, N., B. Kumar, U. Albrecht, D. Du, M. Huang, Q. Yu, *et al.* 2017. Genome resequencing and transcriptome profiling reveal structural diversity and expression patterns of constitutive disease resistance genes in Huanglongbing-tolerant *Poncirus trifoliata* and its hybrids. *Hort Res.* 4:17064.



- Schmittgen, T.D. and K. J. Livak. 2008. Analyzing real-time PCR data by the comparative C(T) method. *Nat Protoc.* 3(6):1101-1108.
- Sivager, G., L. Calvez, S. Bruyere, R. Boisne-Noc, P. Brat, O. Gros, *et al.* 2021. Specific physiological and anatomical traits associated with polyploidy and better detoxification processes contribute to improved Huanglongbing tolerance of the Persian lime compared with the mexican lime. *Front Plant Sci.* 12:685679.
- Storz, J. F. 2016. Causes of molecular convergence and parallelism in protein evolution. *Nat Rev Genet.* 17(4):239-250.
- Tamura, K., G. Stecher and S. Kumar. 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Mol Biol Evol.* 38(7):3022-3027.
- Thapa, S. P., A. De Francesco, J. Trinh, F. B. Gurung, Z. Pang, G. Vidalakis, *et al.* 2020. Genome-wide analyses of *Liberibacter* species provides insights into evolution, phylogenetic relationships, and virulence factors. *Mol Plant Pathol.* 21(5):716-731.
- Weber, K. C., L. M. Mahmoud, D. Stanton, S. Welker, W. Qiu, J. W. Grosser, *et al.* 2022. Insights into the mechanism of Huanglongbing tolerance in the australian finger lime (*Citrus australasica*). *Front Plant Sci.* 13:1019295
- Wheeler, T.J. and S. R. Eddy. 2013. nhmmer: DNA homology search with profile HMMs. *Bioinformatics* 29(19):2487-2489.
- Wu, B., N. Li, Z. Deng, F. Luo and Y. Duan. 2021. Selection and evaluation of a thornless and HLB-tolerant Bud-Sport of pummelo citrus with an emphasis on molecular mechanisms. *Front Plant Sci.* 12:739108.
- Xia, Y., H. Suzuki, J. Borevitz, J. Blount, Z. Guo, K. Patel, *et al.* 2004. An extracellular aspartic protease functions in *Arabidopsis* disease resistance signaling. *EMBO J.* 23(4):980-988.



Ying, X., B. Redfern, F.G. Gmitter Jr and Z. Deng. 2020. Heterologous Expression of the Constitutive Disease Resistance 2 and 8 Genes from *Poncirus trifoliata* Restored the Hypersensitive Response and Resistance of *Arabidopsis* cdr1 Mutant to Bacterial Pathogen *Pseudomonas syringae*. *Plants*. 9:821.



IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN ERF EN *Citrus latifolia* EN RESPUESTA AL HLB

Humberto Estrella Maldonado^{167*}, Katya Zaleta Salas¹⁶⁷, Cristian Matilde Hernández¹⁶⁷, Arianna Christine Chan León¹⁶⁸,
Ricardo Santillán Mendoza¹⁶⁷ y Felipe Roberto Flores de la Rosa¹⁶⁷

Resumen

Un análisis a nivel transcriptómico en limón persa implicados en la respuesta al Huanglongbing reveló 47 transcritos de tipo ERFs. Un análisis filogenético agrupó las proteínas CIERFs en doce grupos (I, II, III, IV, V, VI, VI-L, VII, VIII, IX, X, Xb-L). Asimismo, se analizaron alineamientos múltiples y análisis de dominios conservados de las proteínas CIERFs donde fueron claramente visibles el dominio AP2 el cual presentó al elemento YRG (hélices $\beta 1$ y $\beta 2$) y al elemento RAYD (hélice $\beta 3$ y hélice α -), así como residuos de Alanina (A) y Aspartato (D). Los análisis de expresión indicaron que en casi todos los miembros de la familia de genes *CIERFs*, las hojas asintomáticas al HLB mostraron un mayor conteo de transcritos por millón en comparación con hojas sintomáticas al HLB. Para corroborar lo anterior, se realizó un análisis de expresión génica mediante RT-qPCR con la finalidad de validar la expresión relativa de cinco genes candidatos los cuales están involucrados en regular diversos procesos de respuesta a estreses biótico y abiótico. Consistentemente, los resultados revelaron que en hojas sintomáticas al HLB, el gen *CIERF41* mostró altos niveles de expresión relativa (REL) en comparación con hojas asintomáticas. Aunque falta mayor estudio por realizar, los datos de REL, transcritos por millón y tasa de cambio, sugieren que los mecanismos reguladores de la familia de genes *CIERFs* son importantes en la tolerancia durante la infección por *Candidatus Liberibacter* (CLas) en esta especie.

Palabras clave: expresión relativa, estrés abiótico/biótico, limón persa

¹⁶⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Ixtacuaco. *Autor por correspondencia: estrella.humberto@inifap.gob.mx

¹⁶⁸ Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.



Introducción

El limón persa (*Citrus x latifolia* Tanaka) es un cultivo perenne de larga vida hortícola y de gran importancia a nivel mundial, esta especie bajo condiciones naturales experimenta múltiples estreses bióticos y/o abióticos al mismo tiempo. Los cambios en los patrones de precipitaciones pluviales, el incremento de la temperatura media, el incremento de la salinización, inundaciones prolongadas, sequía severa, la deficiencia de nutrientes, la alta irradiación (Núñez-Vázquez *et al.*, 2017), así como, diversas enfermedades generadas por organismos patogénicos como el Huanglongbing (HLB), el virus de la tristeza de los cítricos (CTV), la muerte descendente, viroides, fusariosis, cáncer bacteriano, entre otras, han provocado una disminución en la producción (entre el 20 y 40%) del limón persa (Navarro 1979; El-Sharkawy *et al.*, 2009).

La enfermedad conocida como Huanglongbing (HLB), ha sido reportada en campos de limón persa en Veracruz (Márquez-Pérez *et al.*, 2018), el HLB es considerado la enfermedad de los cítricos más importante en el mundo (Thapa *et al.*, 2020). El HLB es causado por la bacteria *Candidatus Liberibacter spp.*, (CLib), su propagación se da a través de yemas infectadas y es transmitida por dos insectos vectores, *Diaphorina citri* (psílido asiático) y *Trioza erytreae* (psílido africano). En México, el principal vector es *Diaphorina citri*, el cual vive y se desarrolla en todas las especies de cítricos (INTAGRI, 2022). La infección por CLib no es fácil de cuantificar, pues a menudo solamente afecta algunas partes del árbol y las mermas son pequeñas, pero en otras ocasiones se infecta el árbol entero (Camacho-Tapia *et al.*, 2016). Una vez que un árbol se enferma con HLB, no tiene cura, causando pérdida de vigor, muerte de ramillas, producción de frutos amargos y deformes, y finalmente, provocando la muerte de las plantas sintomáticas (Camacho-Tapia *et al.*, 2016). Por lo tanto, las plantas han aprendido a defenderse contra el estrés biótico y el estrés abiótico activando sus mecanismos de defensa (Feng *et al.*, 2020). En este sentido, los Factores de Transcripción (FT) pertenecientes a la familia de Factores de Respuesta al Etileno (AP2/ERF), juegan un papel importante en las respuestas al estrés abiótico y/o biótico en las plantas (Zhu *et al.*, 2010). Se sabe que los factores de transcripción de la familia AP2/ERF regulan diversos procesos de respuesta al estrés ambiental en las plantas superiores, como el estrés abiótico (frío, calor, sequía, salinidad, estrés osmótico) y el estrés biótico (insectos herbívoros y patógenos microbianos) (Dietz *et al.*, 2010; Zhou *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2016; Feng *et al.*, 2019; Xie *et al.*, 20019). Además, diversos reportes han informado que las plantas



modificadas genéticamente que sobre-expresan los factores de transcripción de la familia AP2/ERF han mostrado una mayor tolerancia tanto al estrés abiótico como del biótico (Jin *et al.*, 2018).

El presente trabajo de investigación pretende estudiar la familia de factores de transcripción tipo ERF a partir de un análisis transcriptómico realizado en limón persa con HLB (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023). Asimismo, se analizó el conteo de transcritos por millón (TPM) y los niveles de expresión de genes candidatos (*CIERF41*, *CIERF69.2*, *CIERF72*, *CIERF80* y *CIERF90*) en hojas asintomáticas y sintomáticas al HLB en *Citrus latifolia* Tan. El presente estudio generará en el conocimiento sobre genes de tipo *CIERFs* con potencial para el mejoramiento biotecnológico de cultivares de *Citrus latifolia* permitiendo una mayor comprensión de la enfermedad HLB y en respuesta a diversos tipos de estrés abióticos y/o bióticos.

Material y Métodos

Identificación de secuencias ERF en el transcriptoma de lima persa

Se identificaron 47 transcritos de tipo ERF a partir de un análisis transcriptómico realizado en limón persa naturalmente infectado con CLas (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023). Adicionalmente, estas secuencias génicas fueron nombradas como *CIERFs*. Por otra parte, basado sobre su anotación y BLAST, se descargaron 118 secuencias de genes ERF a partir del genoma de naranja dulce y mandarina, estas secuencias fueron nombradas como *CitERFs* (<http://www.citrusgenomedb.org>). Finalmente, los 47 *CIERFs* y 118 *CitERFs* mostraron dominios AP2/ERF, por lo tanto, fueron seleccionados para realizar los futuros análisis.

Alineamiento, análisis filogenético e identificación de motivos conservados de proteínas *CIERFs*

Se realizó el alineamiento de 47 proteínas *CIERFs* de limón persa y 118 proteínas *CitERFs* de *Citrus sinensis* y *Citrus clementina*, utilizando el software BioEdit (Hall, 1999) usando el programa ClustalX 1.81 (Thompson *et al.*, 1997). El árbol filogenético de las proteínas ERFs se construyó con el método Neighbor-Joining (NJ) utilizando el software MEGA 11 (Tamura *et al.*, 2011), asimismo, estas secuencias fueron nombradas de acuerdo con el árbol filogenético y la tabla de identidad construida. Los valores Bootstrap fueron calculados utilizando 10,000 réplicas y las distancias evolutivas se calcularon a partir del modelo evolutivo de corrección Poisson. Las estructuras de motivos conservados



de las 47 proteínas CIERFs y 118 proteínas CitERFs se analizaron usando el programa MEME v5.1.1 (<http://meme-suite.org/tools/meme>) usando los parámetros establecidos por default.

Transcritos por millón y Tasa de Cambio de genes CIERFs

Los transcritos por millón (TPM) y su tasa de cambio (FC por sus siglas en inglés: Fold Change) de todos los genes tipo *CIERFs* fueron identificados a partir del transcriptoma de limón persa infectado naturalmente con CLas (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023). Asimismo, los TPM y FC fueron graficados bajo dos condiciones: 1) hoja de *Citrus latifolia* asintomática al HLB y 2) hoja de *Citrus latifolia* sintomática al HLB.

Extracción de ARN total y síntesis de ADNc

Se colectaron hojas fisiológicamente maduras (etapa V5, escala propuesta por Ribeiro *et al.*, 2021) de árboles de limón persa de siete años naturalmente infectados por CLas, con y sin síntomas de HLB para la extracción de ARN. La infección por CLas se diagnosticó mediante el protocolo de PCR anidado desarrollado por Lee *et al.* (2010). Se utilizaron 200 mg de tejido fresco para llevar a cabo la extracción siguiendo el método CTAB (2%) descrito previamente por Estrella-Maldonado *et al.* (2022). El ARN fue purificado siguiendo el protocolo de ADNasa I (Invitrogen). La concentración y pureza del ARN fue determinado con espectrofotómetro NanoDrop One (Thermo Scientific). La integridad del ARN se analizó mediante electroforesis en gel de agarosa al 1.2%. La síntesis de ADNc de doble cadena se realizó a partir de 300 ng de ARN total, utilizando 50 U/ μ L MultiScribe™ de transcriptasa inversa III siguiendo el protocolo del fabricante (Invitrogen).

Validación de expresión de genes *CIERs* mediante RT-qPCR

Los oligonucleótidos para validar genes candidatos *CIERFs* se diseñaron con el programa Primer Express v.3.1 (Applied Biosystems). La RT-qPCR para analizar la expresión de los genes *CIERFs* se realizó en el termociclador QuantStudio 1 (Applied Biosystems) con las condiciones: 2 min a 50°C, 15 min a 95°C, 40 ciclos de 15 s a 95°C y 1 min a 60°C y una extensión final a 72°C durante 30 s. El valor límite (Ct) superior a 38 ciclos se consideró como indicador de expresión génica indeterminada. La eficiencia de cada gen se determinó a partir de una curva estándar realizando diluciones seriadas de ADNc, asimismo, la especificidad de los genes fue confirmada mediante curvas de disociación. Los REL de los genes *CIERF41*, *CIERF69.2*, *CIERF72*, *CIERF80* y *CIERF90*, en hojas asintomáticas y sintomáticas al HLB se calcularon utilizando el método $2^{-\Delta\Delta CT}$ (Schmittgen y Livak, 2008). El gen endógeno UPL7 fue utilizado como gen de referencia para normalizar todos los valores (Mafra *et al.*, 2012). Los REL de los genes se sometieron a un análisis T-Student bilateral en el software R-Studio.



Resultados y Discusión

El crecimiento y el desarrollo de las plantas son influenciados por muchos factores ambientales, incluidos los estreses abióticos y bióticos. Bajo estos estreses, se induce la expresión de muchos genes, incluidos los factores de transcripción, los cuales inducen la tolerancia al estrés (Yokotani *et al.*, 2013). Asimismo, se ha informado que el etileno regula los mecanismos biológicos de las plantas en respuesta a diversos estreses abióticos (inmersión, sequía, salinidad, inundaciones y frío) y bióticos (insectos, hongos e infecciones microbianas). Por lo anterior, en el presente estudio se contempló identificar a partir de un análisis transcriptómico a la familia de genes ERF, lo anterior debido a que esta familia tiene funciones importantes en la regulación transcripcional de una variedad de procesos biológicos relacionados con diversas respuestas a estímulos ambientales como la respuesta al estrés biótico y abiótico, la regulación del metabolismo y en los procesos de desarrollo en varias especies de plantas. Se identificaron un total de 47 contigs de tipo ERF en *C. latifolia*, estas secuencias mostraron una alta identidad (superior al 80%) contra las 118 secuencias de proteínas de tipo ERF obtenida del genoma de los cítricos (CitERF: naranja dulce y clementina) (datos no mostrados). El análisis filogenético construido con las 47 proteínas CIERF y 118 proteínas CitERF indicó que todas las proteínas se agruparon en doce grupos (I, II, III, IV, V, VI, VI-L, VII, VIII, IX, X y Xb-L). Respecto a los grupos VIII y IX, un mayor número de proteínas de tipo CIERF fueron agrupados (11 y 14 proteínas respectivamente) (Figura 1). Como era de esperarse, se identificó un gran número de proteínas CIERFs en el transcriptoma de limón persa, no obstante, en otras especies se ha elucidado que la familia de genes ERF representa a la subfamilia más grande dentro de la superfamilia de los AP2/ERF (Solomón y Drea, 2019). Asimismo, se ha reportado que esta subfamilia de los ERF está dividida en diez grupos, el grupo I-IV son proteínas de unión a elementos sensibles a la deshidratación (DREB), mientras que los grupos del V-X comprenden al factor de respuesta de etileno (Sakuma *et al.*, 2002; Nakano *et al.*, 2006; Cui *et al.*, 2016).

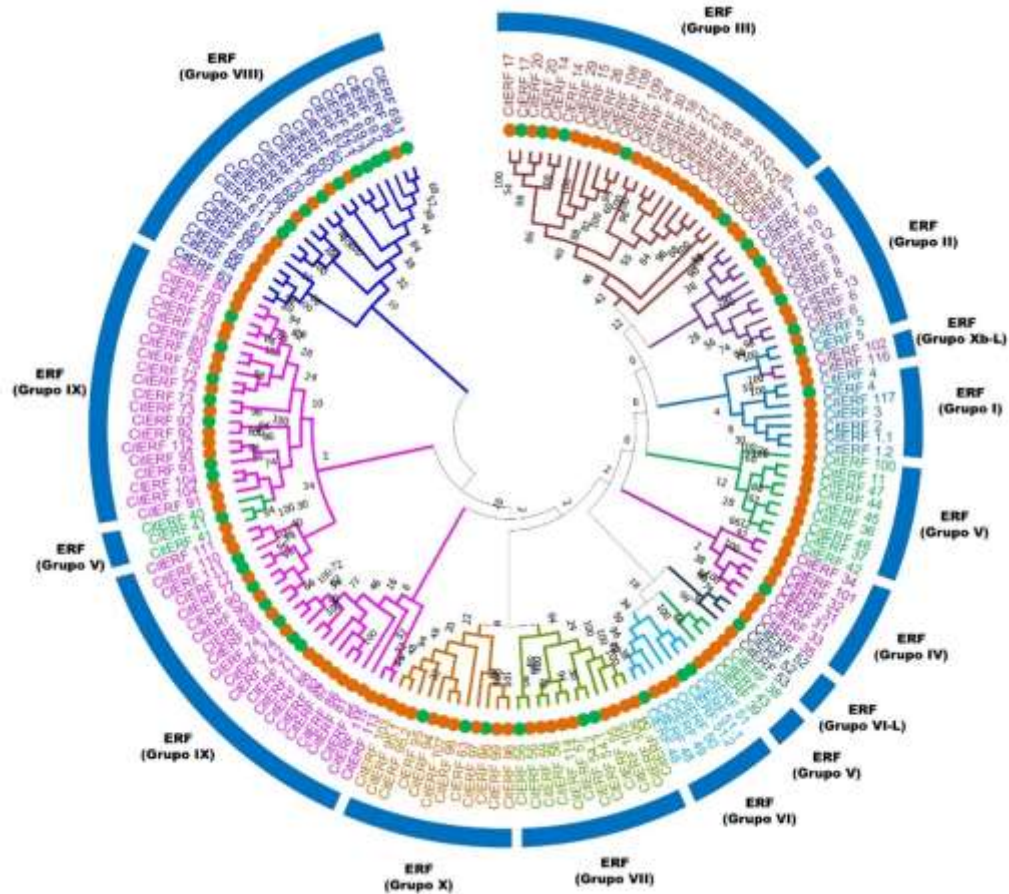


Figura 1. Árbol filogenético de las proteínas ERFs en *Citrus latifolia* (●), *Citrus sinensis* y *Citrus clementina* (●). Se representan los subgrupos clasificados como I, II, III, IV, V, VI, VI-L, VII, VIII, IX, X y Xb-L. Los 12 subgrupos se distinguen por diferentes colores.

Se analizaron los alineamientos múltiples de las proteínas CIERFs y resultó claramente visible los dominios AP2/ERF conservados (Figura 2). Casi todas las proteínas CIERFs presentaron el dominio AP2 el cual exhibe al elemento YRG (hélices $\beta 1$ y $\beta 2$) y al elemento RAYD (hélice $\beta 3$ y hélice α -). Sin embargo, este mismo análisis indicó que las regiones C-terminales de los dominios AP2/ERF de tres proteínas (CIERF62.1, CIERF69.1 y CIERF95) poseen una homología muy baja con la secuencia consenso en la región que corresponde a la mitad C-terminal de la hélice α (Figura 2). En *Citrus*, Xie *et al.* (2019) ha reportado estos mismos dos dominios AP2 con sus regiones β - y α -hélices. Adicionalmente, el análisis de motivos conservados reveló que la Glicina (G), Arginina (R), Ácido glutámico (E), Triptófano (W), Leucina (L), Alanina (A) y Aspartato (D), son algunos aminoácidos que se conservaron entre todos los miembros de la familia CIERF en limón persa (Figura 3). Lo anterior es importante debido a que la Alanina (A) y el Aspartato (D) son aminoácidos necesarios para la



activación y la unión a la caja GCC en miembros de la familia ERF (Wang *et al.*, 2010, Wang *et al.*, 2014).

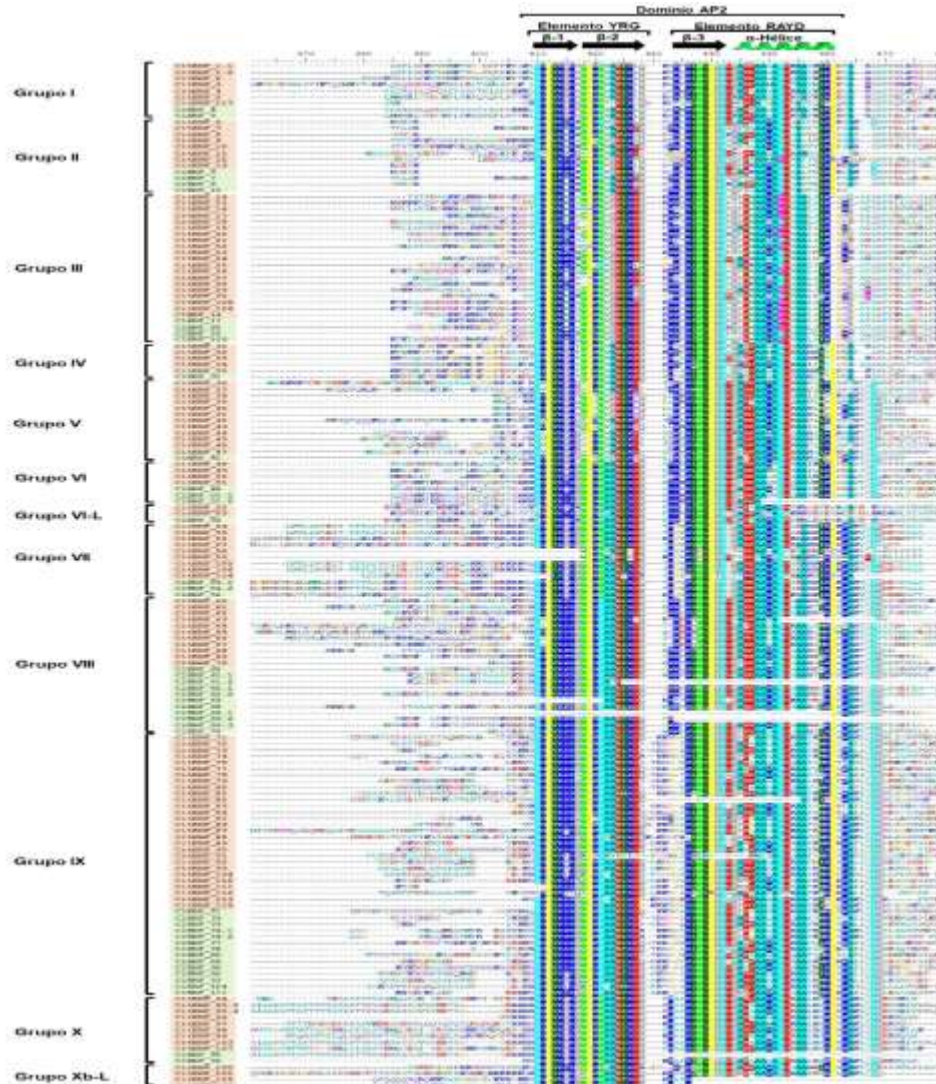


Figura 2. Alineamiento de 47 proteínas CIERFs de limón persa frente a las 118 proteínas CitERF identificadas en naranja dulce y clementina mediante el programa ClustalW. El dominio AP2 exhibe al elemento YRG (hélices $\beta 1$ y $\beta 2$) y RAYD (hélice $\beta 3$ y hélice α -). Letras con sombreado del mismo color indican residuos de aminoácidos parcial o totalmente conservados.



Figura 3. Distribución de motivos conservados de las proteínas CIERFs. La altura de la letra (aminoácido) en cada posición representa el grado de conservación en cada uno de los 4 motivos predichos (motivo 1-4). Cada motivo con residuos de aminoácidos conservados se representa con diferentes colores.

La base de datos del análisis transcriptómico reveló en la mayoría de los transcritos tipo ERFs, las hojas de limón persa asintomáticas de HLB mostraron un mayor número de conteos en comparación con las hojas síntomas al HLB (Figura 4a). Los genes *CIERF54.1* y *CIERF54.2* (grupo VII) mostraron

el mayor número de conteos, seguido por los genes *CIERF69.2* y *CIERF69.3* (grupo VIII), y los genes *CIERF7* y *CIERF111* (grupos II y X respectivamente). Con respecto a los valores de tasa de cambio (FC), el cual indica cuántas veces se expresó un gen en la hoja sintomática al HLB en relación con su propia expresión cuando no presenta síntomas al HLB, reveló que son pocos los genes que presentan una tasa de cambio mayor a 2 (*CIERF10* y *CIERF104*), además, el gen *CIERF41* mostró una tasa de cambio 7 veces mayor (Figura 4b).

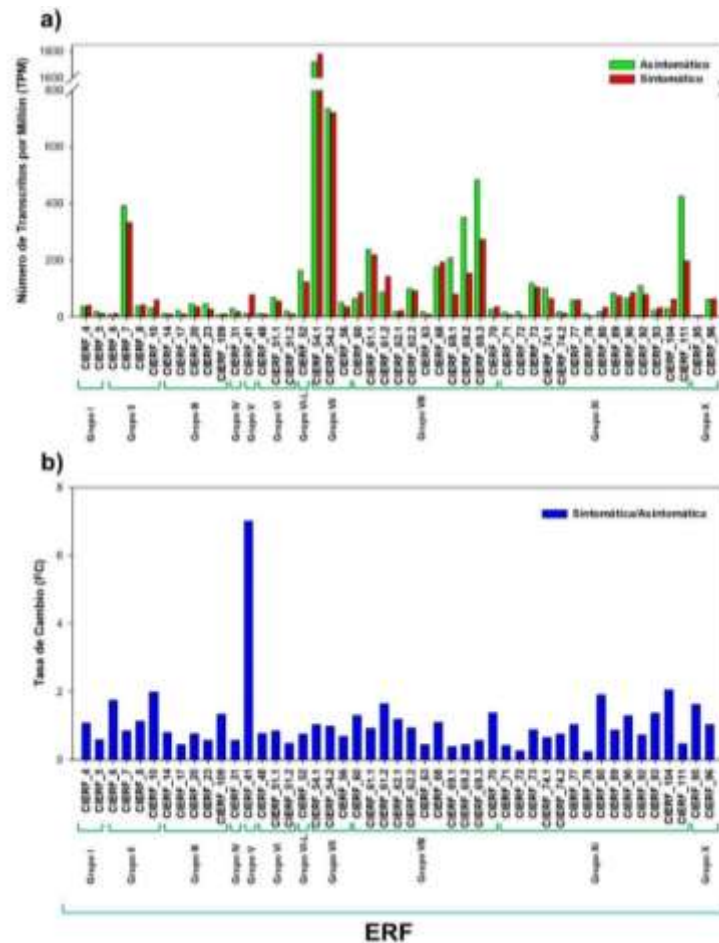


Figura. 4. Número de transcritos por millón (TPM) (a) y su tasa de cambio (b) de los genes CIERFs identificados en el transcriptoma de limón persa naturalmente infectado por CLas. Todos los genes fueron distribuidos en base a subfamilias de esta familia de genes ERF.

Finalmente, basándonos en su TPM y FC, fueron seleccionados los genes *CIERF41*, *CIERF69.2*, *CIERF72*, *CIERF80* y *CIERF90*. Adicionalmente, el software STRING Vers. 12 nos reveló que estos



genes candidatos a evaluar, tenían una alta homología con secuencias ERFs de *Arabidopsis thaliana*, los cuales están involucrados en las respuestas al estrés abiótico y/o biótico en plantas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Genes candidatos de tipo *CIERF* y sus homólogos en *A. thaliana* con función descrita.

Transcrito	Gen ERF en <i>C. latifolia</i>	TPM		Homólogo en <i>A. thaliana</i>
		HLB (-)	HLB (+)	
DN9937_c0_g2	<i>CIERF41</i>	11.0	77.6	Genes: <i>ERF03</i> , <i>ERF09</i> , <i>ERF60</i> , <i>ERF110</i> Función: Involucrados en la regulación de la expresión génica por factores de estrés y vías de transducción de señales de estrés.
DN102394_c0_g1	<i>CIERF69.2</i>	350.1	153.3	Genes: <i>ERF04</i> , <i>ERF08</i> Función: Actúan como represores transcripcionales. Se une al elemento promotor relacionado con la patogenicidad de la caja GCC. Participan en la regulación de la expresión génica por factores de estrés y vías de transducción de señales de estrés, además de regular otros ERF.
DN30955_c0_g1	<i>CIERF72</i>	18.2	4.7	Genes: <i>ERF13</i> , <i>ERF14</i> , <i>ERF95</i> , <i>ERF96</i> Función: Actúan como activadores transcripcionales. Se une al elemento promotor relacionado con la patogenicidad de la caja GCC.
DN14226_c3_g1	<i>CIERF80</i>	17.7	33.7	Genes: <i>ERF07</i> , <i>ERF56</i> , <i>ERF109</i> , <i>ERF113</i> Función: Participan en la regulación de la expresión génica por ácido abscísico, factores de estrés y vías de transducción de señales de estrés.
DN7525_c0_g2	<i>CIERF90</i>	65.8	84.5	Gen: <i>ERF02</i> , <i>ERF13</i> , <i>ERF96</i> Función: Participan en la regulación de la expresión génica por factores de estrés y vías de transducción de señales de estrés. Participa en las vías de resistencia a enfermedades.

Posteriormente, estos genes fueron validados a través del análisis mediante RT-qPCR. Los resultados confirmaron que en hojas asintomáticas al HLB, los genes *CIERF69.2*, *CIERF72*, *CIERF80* y *CIERF90*



mostraron bajos niveles de expresión en comparación a hojas presentan con síntomas al HLB. Interesantemente, *CIERF41* fue el único gen que mostró una alta expresión en hojas sintomáticas al HLB (Figura 5). Hasta donde se sabe, los miembros de los factores de transcripción de la familia AP2/ERF juegan un papel importante en la defensa de los daños abióticos y bióticos (insectos herbívoros y patógenos microbianos) (Hao *et al.*, 1998). Asimismo, se ha reportado que la sobreexpresión de genes AP2/ERF en plantas activas genes relacionados con patogenicidad y mejora su resistencia a bacterias, hongos y virus, entre otros (Zhang *et al.*, 2009). Por lo anterior, es importante seguir elucidando genes *CIERFs* importantes en la tolerancia durante la infección por CLas en esta especie y que tengan correlación con la tolerancia a estrés abiótico (alta temperatura, sequía, etc.).

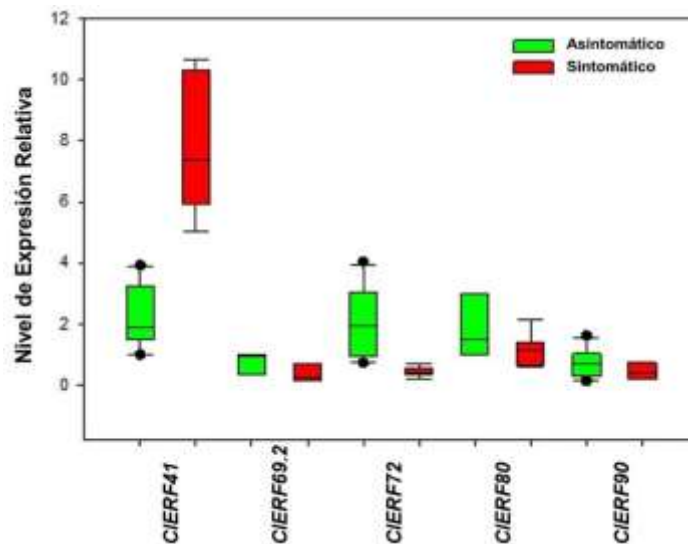


Figura. 5. Niveles de expresión relativa de genes *CIERFs* en hojas de limón persa asintomáticas de HLB (cajas verdes) y sintomáticos (cajas rojas-), obtenidos a partir del transcriptoma de limón persa.

Conclusiones

Se identificaron 47 miembros *CIERFs* a partir del transcriptoma de limón persa en respuesta al HLB. Todas las proteínas *CIERFs* mostraron los dominios característicos de la familia AP2/ERF. En términos de análisis de expresión en respuesta al HLB, con excepción del gen *CIERF41*, los demás genes seleccionados mostraron en hojas asintomáticas al HLB un mayor número de transcritos por millón



(TPM), así como una alta expresión relativa (REL) en comparación con las hojas sintomáticas. Nuestra hipótesis sugiere que la enfermedad por HLB es la responsable de disminuir los conteos y la expresión de genes tipo *CIERFs*. Genes como el *CIERF41* podría estar confiriendo al limón persa una cierta tolerancia al estrés biótico y abiótico, sin embargo, se necesitan realizar más investigación para confirmar esta hipótesis.

Agradecimientos

K. Zaleta Salas, agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada del proyecto No. 322068 denominado: “Fortalecimiento del equipo e infraestructura para el estudio y control de las principales enfermedades de cítricos para incidir en el bienestar social de la zona citrícola de Veracruz”.

Literatura Citada

- Camacho-Tapia, M., R. I. Rojas-Martínez, A. Rebollar-Alviter, S. Aranda-Ocampo and J. Suarez-Espinosa. 2016. Aspectos biológicos, ecológicos, epidemiológicos y manejo de *Candidatus Liberibacter*. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 22(1):1-12.
- Cui, L., K. Feng, M. Wang, M. Wang, P. Deng, W. Song, *et al.* 2016. Genome-wide identification, phylogeny and expression analysis of AP2/ERF transcription factors family in *Brachypodium distachyon*. BMC Genom. 17:636.
- Dietz, K.J., M. O. Vogel and A. Viehhauser. 2010. AP2/EREBP transcription factors are part of gene regulatory networks and integrate metabolic, hormonal and environmental signals in stress acclimation and retrograde signalling. Protoplasma 245(1-4):3-14.



- El-Sharkawy, I., S. Sherif, I. Mila, M. Bouzayen and S. Jayasankar. 2009. Molecular characterization of seven genes encoding ethylene-responsive transcriptional factors during plum fruit development and ripening. *J. Exp. Bot.* 60(3):907-922.
- Estrella-Maldonado, H., A. Chan-León, G. Fuentes, A. Girón-Ramírez, Y. Desjardins and Santamaría J. M. 2022. The interaction between exogenous IBA with sucrose, light and ventilation alters the expression of ARFs and Aux/IAA genes in *Carica papaya* plantlets. *Plant Mol. Biol.* 110(1-2):107-130.
- Estrella-Maldonado, H., C. González-Cruz, C. Matilde-Hernández, J. Adame-García, J. M. Santamaría, R. Santillán-Mendoza, *et al.* 2023. Insights into the Molecular Basis of Huanglongbing Tolerance in Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) through a Transcriptomic Approach. *Int. J. Mol. Sci.* 24:797.
- Feng, K., H. Xi-Lin, X. Guo-Ming, L. Jie-Xia, D. Ao-Qi, X. Zhi-Sheng, *et al.* 2020. Advances in AP2/ERF super-family transcription factors in plant. *Crit. Rev. Biotechnol.* 40(6):750-776.
- Feng, W., J. Li, S. Long and S. Wei. 2019. A DREB1 gene from zoysiagrass enhances Arabidopsis tolerance to temperatura stresses without growth inhibition. *Plant Sci.* 278:20-31.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: A User-Friendly Biological Sequence Alignment Editor and Analysis Program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symp. Ser.* 41:95-98.
- Hao, D. Y., M. Ohme-Takagi and A. Sarai. 1998. Unique mode of GCC box recognition by the DNA-binding domain of ethylene-responsive element-binding factor (ERF domain) in plant. *J. Biol. Chem.* 273(41):26857-26861.
- INTAGRI (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). 2022. Avances en el Control del HLB de los Cítricos. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/avances-en-el-control-del-HLB-de-los-citricos>. [consultado 1 de junio de 2023].



- Jin, Y., W. Pan, X. Zheng, X. Cheng, M. Liu, H. Ma, *et al.* 2018. OsERF101, an ERF family transcription factor, regulates drought stress response in reproductive tissues. *Plant Mol. Biol.* 98(1-2):51-65.
- Mafra, V., K. S. Kubo, M. Alves-Ferreira, M. Ribeiro-Alves, R. M. Stuart, L. P. Boava, *et al.* 2012. Reference Genes for Accurate Transcript Normalization in Citrus Genotypes under Different Experimental Conditions. *PLoS One* 7(2): e31263.
- Márquez-Pérez, F.J., J. L. Flores-Sánchez, L. Rodríguez-Mejía, J. Marquez, S. J. Michereff, V. Ancona, *et al.* 2018. Progress and spatial pattern of huanglongbing in Persian lime in Nayarit, Mexico. *Bio Ciencias* 5: e351.
- Nakano, T., K. Suzuki, T. Fujimura and H. Shinshi. 2006. Genome-wide analysis of the erf gene family in *Arabidopsis* and rice. *Plant Physiol.* 140:411-432.
- Navarro, L. 1979. Micro injerto de ápices caulinares *in vitro* para la obtención de plantas de agrios libres de virus. *Bol. Serv. Plagas* 5:127-148.
- Núñez-Vázquez, M. J. D. Amico, M. C. Pérez, M. Betancourt. 2017. Water and saline stress on citrus. Strategies for reducing plant damages. *Cult. Trop.* 38(4):65-74.
- Ribeiro, C., J. Xi, D. Teper, D. Lee and N. Wang. 2021. The transcriptome landscapes of citrus leaf in different developmental stages. *Plant Mol. Biol.* 106:349-366.
- Sakuma, Y., Q. Liu, J. G. Dubouzet, H. Abe, K. Shinozaki and K. Yamaguchi-Shinozaki. 2002. DNA-Binding Specificity of the ERF/AP2 domain of *Arabidopsis* DREBs, transcription factors involved in dehydration- and cold-inducible gene expression. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 290:998-1009.
- Schmittgen, T.D. and K. J. Livak. 2008. Analyzing real-time PCR data by the comparative C (T) method. *Nat. Protoc.* 3(6):1101-1108.



- Solomon, C. U. and S. Drea. 2019. Besides and beyond flowering: Other roles of *EuAP2* genes in plant Development. *Genes* 10:994.
- Tamura, K., G. Stecher and S. Kumar. 2021. MEGA11: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Version 11. *Mol. Biol. Evol.* 38(7):3022-3027.
- Thapa, S. P., A. De Francesco, J. Trinh, F. B. Gurung, Z. Pang, G. Vidalakis, *et al.* 2020. Genome-wide analyses of *Liberibacter* species provides insights into evolution, phylogenetic relationships, and virulence factors. *Mol. Plant Pathol.* 21(5):716-731.
- Thompson, J. D., T. J. Gibson, F. Plewniak, F. Jeanmougin and D. G. Higgins. 1997. The CLUSTAL_X windows interface: Flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Res.* 25:4876-4882.
- Wang, L., L. Qin, W. Liu, D. Zhang and Y. Wang. 2014. A novel ethylene-responsive factor from *Tamarix hispida*, ThERF1, is a GCC-box- and DRE-motif binding protein that negatively modulates abiotic stress tolerance in *Arabidopsis*. *Physiol. Plant.* 152:84-97.
- Wang, S., S. Yang, Y. Yin, J. Xi, S. Li and D. Hao. 2010. Molecular dynamics simulations reveal the disparity in specific recognition of GCC-box by AtERFs transcription factors super family in *Arabidopsis*. *J. Mol. Recognit.* 22:474-479.
- Xie, Z., T. Nolan, H. Jiang, B. Tang, M. Zhang, Z. Li, *et al.* 2019. The AP2/ERF Transcription factor TINY modulates brassinosteroid regulated plant growth and drought responses in *Arabidopsis*. *Plant Cell.* 31(8):1788-1806.
- Yamasaki, K., T. Kigawa, M. Seki, K. Shinozaki and S. Yokoyama. 2013. DNA-binding domains of plant-specific transcription factors: Structure, function, and evolution. *Trends Plant Sci.* 18:267-276.



- Yokotani, N., T. Ichikawa, Y. Kondou, M. Iwabuchi, M. Matsui, H. Hirochika, *et al.* 2013. Role of the rice transcription factor JAmyb in abiotic stress response. *J. Plant Res.* 126(1):131-139.
- Yu, Y., A. Liu, X. Duan, S. Wang, X. Sun, H. Duanmu, *et al.* 2016. GsERF6, an ethylene responsive factor from Glycine soja, mediates the regulation of plant bicarbonate tolerance in Arabidopsis. *Planta* 244(3):681-698.
- Zhang, G., M. Chen, L. Li, Z. Xiu, X. Chen, J. Guo, *et al.* 2009. Overexpression of the soybean GmERF3 gene, an AP2/ERF type transcription factor for increased tolerances to salt, drought, and diseases in transgenic tobacco. *J. Exp. Bot.* 60(13):3781-3796.
- Zhu, Q., J. Zhang, X. Gao, J. Tong, L. Xiao, W. Li, *et al.* 2010. The Arabidopsis AP2/ERF transcription factor RAP2.6 participates in ABA, salt and osmotic stress responses. *Gene* 457(1-2):1-12.
- Zhou, M.Q., C. Shen, L. H. Wu, K. X. Tang, and J. Lin. 2011. CBF-dependent signaling pathway: a key responder to low temperatura stress in plants. *Crit. Rev. Biotechnol.* 31(2):186-192.



EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE *Bacopa procumbens* EN INVERNADERO

Karen Quintana Bautista¹⁶⁹, Valentín López Gayou¹⁶⁹, Elizabeth Vargas Anaya¹⁶⁹, Minerva Rosas Morales¹⁶⁹,
Ramón Díaz Ruíz¹⁷⁰ y Ada María Ríos Cortés^{169*}

Resumen

El análisis de crecimiento de un cultivo es importante ya que nos ayuda a conocer el comportamiento de una planta e identificar cuando se presenta alguna variación que puede ser respuesta a factores como el genotipo, ambiente y condiciones de manejo. Con este tipo de análisis se puede conocer y así controlar las variables que pueden afectar el crecimiento y desarrollo de un cultivo, aspecto importante también al trabajar con plantas medicinales. Tal es el caso de *Bacopa procumbens* planta que tradicionalmente se usa para tratamientos contra enfermedades como anemia, malaria, dolor de muelas, además como cicatrizante y antimicrobiano, estas últimas actividades se han comprobado científicamente, sin embargo, el uso tradicional de esta especie y en las investigaciones solo se ha limitado a coleccionar planta en campo, por lo que carece de estudios en cuanto a su cultivo y por consiguiente a su comportamiento en diferentes ambientes. Debido a esto, el objetivo del trabajo fue conocer el efecto que tiene la temperatura y humedad en el crecimiento y desarrollo de la planta en campo e invernadero por lo que se trabajó con plantas silvestres de la zona de Tlaxco, Tlaxcala y con plantas del mismo origen que se han mantenido en invernadero. Se monitoreó la temperatura y humedad relativa en ambas zonas. Las variables evaluadas fueron el largo de tallos, hojas, flores, frutos y entrenudos, se realizaron mediciones cada dos semanas, dentro del lapso entre enero y mayo del presente año. Observando como resultados, diferencias significativas en el largo de tallos, hojas, frutos y entrenudos, además de una variación en el tiempo en que la planta llegó a floración en cada zona. Respecto a la etapa de fructificación se observaron dificultades para el llenado de frutos, respuestas relacionadas con las temperaturas que se registraron en ambos lugares durante el tiempo de experimentación. Considerando lo obtenido de la evaluación se concluye que la temperatura fue un

¹⁶⁹ Instituto Politécnico Nacional-Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). *Autor por correspondencia: arios@ipn.mx

¹⁷⁰ Colegio de Postgraduados Campus Puebla.



factor que influyó en el crecimiento y desarrollo de las plantas de *B. procumbens*; lo cual da pauta para considerar estas variantes para el cultivo de esta especie.

Palabras clave: Plantas medicinales, crecimiento, silvestre

Introducción

El crecimiento en una planta se basa en un aumento que no se puede revertir en volumen o materia seca, cambios en número, forma y masa, generando como resultado un incremento cuantificable de peso y tamaño de la planta (Santos *et al.*, 2010). A través de investigación se han desarrollado métodos de análisis, entre estos se encuentra el método de análisis funcional, este se enfoca en realizar medidas con intervalos de tiempo cortos de manera más frecuente con pequeñas poblaciones de plantas como lo menciona (Hunt, 1978). Este análisis se ha dispersado a nivel de la parte aérea de la planta para evaluar el desarrollo de plantas aisladas, si no de cultivos extensivos (Di Benedetto *et al.*, 2016).

En México, el uso de plantas medicinales es parte de la riqueza ancestral de la herbolaria, por lo cual, conocer el manejo adecuado de este tipo de plantas sirve para plantear mejores métodos de aprovechamiento, así como de conservación de las especies (Velasquez-Vasquez *et al.* 2019). Barrera, (2010) menciona que el crecimiento de los distintos órganos de la planta se trata de un proceso complicado el cual está relacionado con la fotosíntesis, la elongación celular, la respiración y la diferenciación, así mismo este proceso engloba la intensidad lumínica, temperatura, la calidad de la semilla y la disponibilidad de nutrientes.

Dentro de este gran grupo de plantas medicinales, se encuentra *Bacopa procumbens*, planta rastrera de flores amarillas que suele encontrarse de manera silvestre en algunos estados de la república mexicana, por ejemplo, Hidalgo, Veracruz, Nayarit, Chiapas, Yucatán y Tlaxcala. Lugares, donde los nombres comunes con que se conoce son hierba té, trencilla, hoja de quebranto, violetilla, esperanza, entre otros que son dados por lenguas indígenas (Ríos-Cortés, 2023). Es de relevancia en medicina tradicional, puesto que suele utilizarse como remedio ante padecimientos como anemia, malaria, desordenes biliares o fatiga. Además de aplicarse como tratamiento en erupciones, heridas o manchas en la piel (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana 2009, Hidalgo 2010; Molina 2013). Algunas de estas propiedades ya han sido evaluadas científicamente, principalmente a través de los estudios de



sus extractos, como es el caso de Hidalgo, (2010) y González-Cortázar *et al.* (2019), quienes evalúan la estimulación de la cicatrización de heridas y la actividad antimicrobiana de compuestos específicos de esta especie, respectivamente.

Se ha observado que *B. procumbens* presenta diferencias en su crecimiento y desarrollo de acuerdo con la zona en que se encuentre ejemplo de esto son las diferencias en su hábito de crecimiento, el tamaño de hojas, tallos y el desarrollo de flores y frutos (Ríos-Cortés, 2023). Respuestas que suelen ser generadas por los factores como la temperatura, la humedad, suelo, entre otros. factores que, debido a su impacto en fenología en plantas, autores como Mendoza-Pérez *et al.* (2020), reportan como determinantes para el crecimiento y desarrollo de plantas.

Considerando estas diferencias se realizó una evaluación de una población obtenida de Tlaxco, Tlaxcala de forma silvestre y otra, bajo condiciones de invernadero que permitan observar el comportamiento respecto a crecimiento y desarrollo de dicha población en ambos ambientes dos condiciones diferentes, ya que al ser una planta de interés medicinal pero que no tiene gran cantidad de reportes acerca de su comportamiento tanto de forma silvestre como a nivel invernadero, este trabajo puede dar pauta a generar ese conocimiento necesario para su manejo y conservación tanto en zonas silvestres como en invernaderos u otros sistemas agronómicos. De igual forma mantener la perspectiva de sus usos y ampliar el panorama de trabajos futuros de selección de poblaciones para la misma finalidad.

Materiales y Métodos

Sitio de trabajo

La investigación se realizó durante los meses de enero a mayo de 2023 en el estado de Tlaxcala. La evaluación de plantas silvestres se llevó a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco (Figura 1), lugar que se encuentra a la altura de 2,546 m y suele tener una temperatura promedio anual de 14.8°C y una humedad relativa de 80% (INEGI, 2022). Para la evaluación bajo condiciones de invernadero se ocuparon las instalaciones en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, CIBA-IPN en coordenadas (19°16'50.3'' N, 98°21'58.1'' O) a 2221 m.



Figura 1. a) Zona de trabajo dentro del Instituto Tecnológico Superior de Tlaxco, b) Invernadero en Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.

Obtención de material vegetal

Dentro de la zona en Tlaxco se realizó la búsqueda de ejemplares de *B. procumbens*, y se colocó una cerca para cubrir la zona de experimentación. De las plantas ubicadas dentro del área cercada se seleccionaron plantas para realizar la evaluación. Además, se hizo una colecta de plantas que posteriormente se colocaron en el invernadero de CIBA. Las plantas obtenidas de Tlaxco se colocaron en cajas de aproximadamente 45 x 32 cm dentro del invernadero, donde se realizó riego cada día y se seleccionaron tres plantas para evaluar su comportamiento. También, se colocaron dataloggers en ambas zonas para tener conocimiento de la temperatura y el porcentaje de humedad relativa durante el tiempo de experimentación.

VARIABLES EVALUADAS

En las plantas de ambas zonas se realizó la medición de 5 estructuras en cada planta seleccionada. Se hicieron mediciones cada dos semanas durante los meses enero a mayo, las variables evaluadas fueron el largo de hoja, tallo, flor, fruto y entrenudos, al igual que número de flores y frutos. La medición de cada variable se realiza como se describe en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables evaluadas en las plantas de *B. procumbens* y forma de medición de cada una.

Variable	Forma de medición
Largo de tallos	Se midieron desde la base del tallo hasta la parte apical.
Largo de hojas	Se midieron la hoja partiendo de la base hasta el ápice de la hoja.
Largo de flor	Se realizó desde el pedúnculo hasta el borde del pétalo superior
Largo de fruto	Se midió desde el pedúnculo hasta la parte apical del fruto
Largo de entre nudos	Se midieron de nudo a nudo.



Análisis estadístico

Por medio del Software SAS, se aplicó un ANOVA y un análisis Tukey entre las dos zonas.

Resultados y Discusión

Mediante los datos registrados por los dataloggers se observó que la temperatura promedio en Tlaxco incrementó de 15.8°C a 16.8°C y una humedad relativa de entre 50% a 61% (Figura 4). Respecto a invernadero, la temperatura va en aumento de 18°C a 21°C, de igual forma que la humedad relativa. Además, se pudo observar que, en Tlaxco, (Figura 2), los cambios de temperatura y humedad relativa fueron más drásticos, destacando abril como el mes tanto con la temperatura máxima como mínima más variada, reportando 46.1°C y -0.08°C respectivamente, en comparación con las condiciones dentro del invernadero, mismas que se observan en aumento o disminución de los parámetros de forma más estable; sin embargo, es en el invernadero donde se registraron temperaturas más elevadas, registrando 58.5°C como máxima y 3.7°C como mínima. Estas diferencias son las esperadas puesto que el uso de un invernadero principalmente permite proteger los cultivos mediante tener un mejor control de variables como temperatura, humedad, nutrientes, intensidad luminosa, fertirrigación, entre otros, condiciones que no son posibles a cielo abierto (Alviter-Ponce y Granados-Sánchez, 2005).

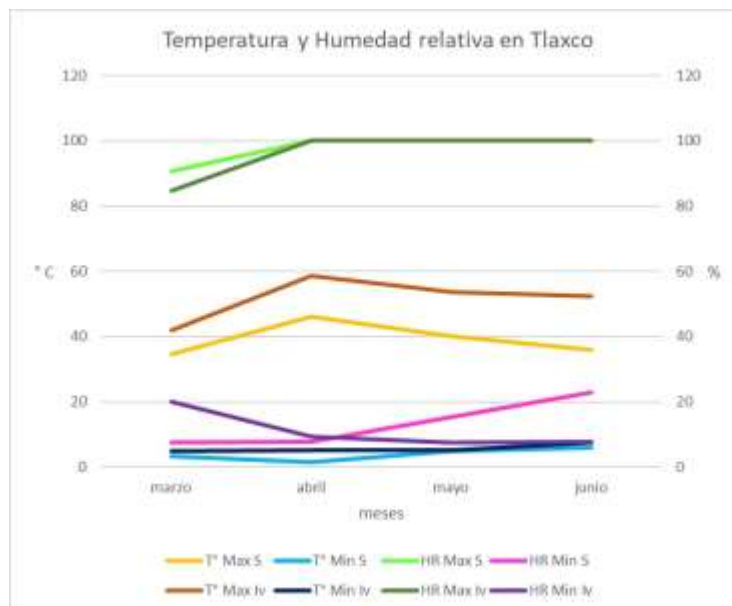


Figura 2. Temperatura y Humedad relativa registradas entre marzo y junio en Tlaxco. T: temperatura; HR: humedad relativa; S: silvestre; Iv: invernadero.



Respecto a las variables medidas a cada planta, al realizar el análisis de varianza, se observó que hay diferencia significancia en largo de hojas, tallos, entre nudos y frutos; no hubo diferencia en la variable largo de flores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis Tukey de las poblaciones de *B. procumbens* Tlaxco e Invernadero.

Población	Largo de hoja	Largo de tallo	Largo de entrenudos	Largo de flores	Largo de frutos
Tlaxco	0.7833 b	5.5589 b	0.6489 b	0.3911 a	0.4033 a
Invernadero	0.9868 a	10.2663 a	1.5418 a	0.2868 a	0.2407 b

Medias con las mismas letras en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$).

Respecto a la diferencia en el largo de las hojas, tallos y entre nudos, Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, (2017) y Huertas (2008) menciona que, la temperatura tiene un efecto en el crecimiento puesto que con bajas temperaturas, que es el caso de la zona de Tlaxco, las plantas suelen disminuir su crecimiento, además de relacionarlo con la humedad relativa, debido a que son factores altamente relacionados que van a limitar procesos específicos de la planta, por ejemplo, la transpiración y absorción de nutrientes y la tasa de fotosíntesis, lo que ocurre principalmente por el cierre de estomas. Respuestas de las plantas suelen ser similares en cuanto al detenimiento del crecimiento al encontrarse en temperaturas por encima de los 30°C, efectos que son mayormente observados en esta población en condiciones de invernadero.

Las estructuras desarrolladas en la etapa reproductiva de las plantas presentan diferencias significativas en el largo de los frutos, pero no en el largo de las flores, aunque hubo diferencias estadísticas, otro aspecto relevante es la diferencia en el tiempo de floración y fructificación, puesto que la población, al estar en invernadero llegó a floración en marzo, sin embargo, de manera silvestre, la floración para esta población ocurrió hasta el mes de mayo. Este fenómeno puede explicarse de acuerdo con lo mencionado por Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, (2017) y al presentarse un aumento en la temperatura, las plantas presentan desarrollo más acelerado, de igual forma, Vallejo y Estrada, (2004) hace mención que la floración temprana es uno de los efectos de las temperaturas altas.

El efecto observado respecto a la fructificación en ambos lugares fue retraso en su desarrollo, lo cual, de acuerdo con autores como Roján-Herrera *et al.* (2020), Delgado (2022), Bitá y Gerats (2013) y Escalera-Mota *et al.* (2022), es respuesta a las altas temperaturas, lo cual se registró principalmente en



el invernadero. Dichos autores mencionan que tanto la floración como la fructificación son las etapas más sensibles a los cambios de temperatura, puesto que, tener bajas o altas temperaturas afecta el desarrollo de los frutos, por ejemplo, su tamaño o forma, además de el llenado de estos. Estos cambios se observaron en esta especie ya que el tamaño y el tiempo en que los frutos se llenaron fueron mayor al reportado en la literatura respecto a *B. procumbens*.

Los cambios en los frutos pueden afectar la reproducción mediante semillas, lo que puede ser o no favorable para mantener la especie, puesto que, las plantas podrán optar por propagarse de manera clonal y aumentar su capacidad para realizar fotosíntesis al tener mayor tamaño y estabilidad. Sin embargo, su diversidad genética tendrá una reducción (Yang y Kim, 2016).

Teniendo en cuenta las diferencias observadas bajo invernadero y campo, se puede entender que las condiciones que se le dieron en invernadero favorecieron su crecimiento a pesar de generar cambios en las flores y los frutos, puesto que estas últimas estructuras se ven afectadas en ambas condiciones.

Conclusiones

Se observó que la temperatura tuvo una influencia en el crecimiento de *B. procumbens* al encontrarse en invernadero puesto que las plantas que se mantuvieron en condiciones silvestres presentaron un menor tamaño en el largo de hoja, tallo, entrenudos y frutos a diferencia de la población bajo condiciones de invernadero, lugar donde la temperatura promedio fue mayor. Además, se observó un efecto en las etapas de floración y fructificación, puesto que se presentó con una diferencia de aproximadamente dos meses.

Literatura Citada

Aguaiza-Quizhpilema, J. y J. C. Simbaina-Solano. 2021. Uso de plantas medicinales y conocimientos ancestrales en las comunidades rurales de la provincia de Cañar, Ecuador. Rev. CENIC Cienc. Biol. 52(3): 223-236.



- Alviter-Ponce, D. y D. Granados-Sánchez. 2005. Construcción y manejo de Invernaderos en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) para el valle del mezquital, Hidalgo. Rev. Chapingo Ser. Zon. Árid. 5(1):13-17.
- Barrera, J., D. Suárez y L. M. Melgarejo. 2010. Análisis de crecimiento en plantas. Experimentos en fisiología vegetal. p. 25-39. In: Melgarejo, L. M. (ed.). Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. 2009. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana: *Bacopa procumbens*.
- Bitá, C. and T. Gerats. 2013. Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. Front. Plant Sci. 4: 273. doi.org/10.3389/fpls.2013.00273.
- Chaves-Barrantes, N y M. Gutiérrez-Soto. 2017. Tolerancia y agronomía de respuesta al estrés por calor. Agron. Mesoam. 28(1):255-271.
- Delgado Vargas, V. 2022. Respuesta fisiológica de la planta, calidad de fruto y de semilla de tomates expuestos a temperaturas altas. Tesis Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 193 p.
- Escalera-Mota, A. A., D. H. Noriega-Cantú, R. González-Mateos, M. H. Perez-Barraza, A. Álvarez-Bravo, Y. I. Maldonado-Astudillo and J. Jiménez-Hernández. 2022. Parthenocarpic mango and its relationship with temperature. Acta Agríc. Pec. 8:1-9.
- García Lozano, J. y L. P. Moreno Fonseca. 2016. Respuestas fisiológicas de *Theobroma cacao* L. en etapa de vivero a la disponibilidad de agua en el suelo. Acta Agron. 65(1):44-50.



- González-Cortázar, M., V. López-Gayou, J. Tortoriello, B. Domínguez-Mendoza, A. Ríos-Cortés, R. Delgado-Macuil *et al.* 2019. Antimicrobial gastrodin derivatives isolated from *Bacopa procumbens*. *Phytochem. Lett.* 31:33-38.
- Hidalgo, O. 2010. Determinación del efecto cicatrizante del extracto acuotánico de la planta *Bacopa Procumbens* en la línea celular 3T3 de fibroblastos de ratón. Tesis Maestría.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Rev. Hortic.* 205:52-54.
- Hunt, R. 1978. *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers, London. 67 p.
- INEGI. 2022. Aspectos geográficos, Tlaxcala. p. 41.
- Leiva, R. y P. C. Brunetti. 2022. Comportamiento fenológico ex situde *Lippia integrifolia* “incayuyo” (Verbenaceae) de una población de base genética amplia. *Boll. Latinoam. Caribe Plant Med. Aromat.* 21(4):514-529.
- Molina, M. J. 2013. Aplicación etnomédica de *Mercadonia procumbens* (Mill.) Small. en San Miguel Regla, Huasca de Ocampo, Hidalgo. *Rev. Elec. Invest. COCS-UST.* 5(1):1-12.
- Rios-Cortés, A. M., I. Ocampo-Fletes, R. Díaz-Ruiz, M. González-Cortázar, M. Rosas-Morales and P. A. López. 2023. Traditional knowledge about *Bacopa procumbens* (Mill.) Small in Huasca, Hidalgo, México. *Estudios Sociales. Rev. Alim. Contem. Des. Reg.* 33(61).
- Roján-Herrera, O., L. A. Maqueira-López, J. Solano-Flores. M. Núñez-Vázquez y H. C. Robaina-Gil. 2020. Variabilidad del rendimiento en cultivares de soya (*Glycine max* L. Merrill). Parte II. Época de primavera. *Cult. Trop.* 41(3) e04.
- Roy, J. C. and T. Boulard. 2005. CFD prediction of the natural ventilation in tunnel-type greenhouses: influence of wind direction and sensibility to turbulence models. *Acta Hort.* 691:457-464.



Vallejo, F.A. y E.I. Estrada. 2004. Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Cali, Colombia.

Velázquez-Vázquez, G., B. Pérez-Armendáriz, L. D. Ortega-Martinez y Z. Nelly-Juarez. 2019. Conocimiento etnobotánico sobre el uso de plantas medicinales en la Sierra Negra de Puebla, México. Bol. Latinoam. Caribe Plant Med. Aromat. 18(3):265-276.

Yang, Y. Y. and J. G. Kim. 2018. Correction to: The optimal balance between sexual and asexual reproduction in variable environments: a systematic review. J. Ecol. Environm. 40(12):1-18.



DENSIDAD DE SIEMBRA EN CALABAZA CHIHUA (*Cucurbita argyrosperma* Huber) EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, MÉXICO

Mónica Beatriz López Hernández¹⁷¹, Antonio Villalobos González^{172*}, Enrique Arcocha Gómez¹⁷¹, Noel Antonio González Valdivia¹⁷¹ y Jorge Antonio Che Che¹⁷¹

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar accesiones nativas de calabaza chihua (*Cucurbita argyrosperma* Huber) bajo densidades de siembra en condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano (P-V) en el estado de Campeche. Los estudios se desarrollaron sobre los suelos (19.7333 N, -90.3583 O) rojos-arcillosos-profundos, denominados *Kancab* o *K'aancab* y llamados Luvisoles. Se incluyeron dos accesiones de calabaza denominadas: Edzná y Champotón. La siembra se realizó en junio del 2018, con un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Las densidades (D) de siembra evaluadas fueron seis: 3000 (D1), 4000 (D2), 5000 (D3), 6000 (D4), 7000 (D5) y 8000 (D6) plantas por hectárea. La densidad de siembra afectó la cantidad de semillas formadas y completas por fruto, longitud y ancho de semilla, así como el peso de 100 semillas y total por fruto. En promedio para ambas accesiones de calabaza chihua, con la D4 se obtuvo el mayor ($P \leq 0.05$) número de semillas totales (275 semillas) y completas en el fruto (260 semillas), peso de 100 semillas con 21 gramos y peso total de semilla seca por fruto con 58 gramos, respectivamente. La D5 y D6 presentaron el mayor ($P \leq 0.05$) número de semillas vanas por fruto y menor ($P \leq 0.05$) peso de 100 semillas. La densidad de D4 y D5 presentaron la mayor ($P \leq 0.05$) longitud de semilla. No se presentaron diferencias estadísticas para ancho de semilla para las densidades. La accesión Champotón presentó mejor respuesta a la densidad de siembra al obtener mayor número de semillas completas y totales por fruto, longitud y ancho de semilla y peso de 100 semillas y totales por fruto.

Palabras clave: superficie, suelo, características

¹⁷¹ Instituto Tecnológico de Chiná, Tecnológico Nacional de México, México.

¹⁷² Campo Experimental Edzná, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Autor por correspondencia:antonio.villalobos@colpos.mx



Introducción

La calabaza es uno de los vegetales de mayor importancia en el mundo, pues se utiliza como alimento. En México la producción de calabaza es de 133,334.96 toneladas; el estado de Zacatecas ocupa el primer lugar en cosecha de semilla de calabaza con 6,550.32 toneladas, el segundo lugar lo ocupa el estado de Guerrero con 4,926.86 toneladas y Campeche el tercero con 4,185.08 (kippling *et al.*, 2018).

En la península de Yucatán la siembra de calabaza chihua se realiza de forma manual bajo una densidad de siembra de 2000 a 4000 plantas por hectárea y con rendimiento de semilla que oscila entre los 300 a 500 kilos por hectárea en condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano (P-V) (Villalobos, 2020).

La densidad de siembra es una de las decisiones más complejas para los agricultores en la Península de Yucatán, porque implica además calcular la cantidad de semilla y fertilizante que se va a comprar, el uso de otros insumos para el control de plagas y maleza. Por esta razón, es necesario identificar la densidad óptima cuando la cantidad de plantas permite su pleno desarrollo y consecuentemente, un alto rendimiento de semilla por hectárea en condiciones de temporal en el ciclo de P-V.

En la península de Yucatán la diversidad en las poblaciones nativas de calabaza mantenida por los agricultores tradicionales es abundante y existen algunas accesiones que pueden ser promisorias para aumentar el rendimiento a través de la combinación de arreglos topológicos como la implementación de densidades de siembra adecuadas para condiciones de temporal. El objetivo del trabajo fue evaluar accesiones nativas de calabaza chihua bajo densidades de siembra en condiciones de temporal en el ciclo de P-V en el estado de Campeche.

Materiales y Métodos

Los estudios se realizaron en terrenos de la localidad de Pocyaxum, Municipio de Campeche, Camp, con coordenadas en latitud: 19.7333 y longitud: -90.3583, y 30 msnm. La localidad se caracteriza por presentar un clima cálido subhúmedo y una temperatura media de 27°C, aproximadamente con máximas de 29.6°C y unas mínimas de 23.2°C anual. El experimento se desarrolló sobre los suelos rojos-arcillosos-profundos, denominados *Kancab* o *K'aancab* en la clasificación de suelos elaborados por los antiguos Mayas y llamados Luvisoles en la clasificación de la FAO (1970). El experimento



estuvo conformado por seis densidades de siembra y dos accesiones de semilla de calabaza chihua: una denominada Edzná y otra Champotón. La siembra se realizó en junio 2018, con un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental para todas las densidades de siembra consistió de tres surcos de seis metros de longitud con una separación entre surco de 2.40 m. Mientras que la distancia entre planta fue diferente para cada densidad de siembra, que estuvo conformada de la siguiente forma: la densidad de 3000 plantas/ha (D1), las plantas presentaron una distancia de 1.30 m; para la de 4000 plantas/ha (D2) fue de 1.0 m entre planta; 0.80 m entre planta para 5000 plantas/ha (D3), al depositar una semilla por mata. Mientras que para la densidad de 6000 plantas/ha (D4) fue de 1.30 m entre planta; 1.15 m entre planta para 7000/plantas/ha (D5); 1.0 m entre planta para 8000 plantas/ha (D6), al depositar dos semillas por mata.

Posterior a la siembra, el terreno se preparó mediante dos pases de rastra. El primero fue con rastra semi-pesada en el mes de mayo 2018. Durante el desarrollo del experimento se realizó el control de maleza de forma manual. Se fertilizo a los 15 días después de la siembra (dds) con 150 kg de fosfato diamónico (18-46-00) en mezcla con 100 kg de cloruro de potasio. El fertilizante se aplicó de forma manual en suelo húmedo, a una distancia de 10 cm de separación de la base del tallo de la planta de calabaza, que seguidamente fue tapado. Dentro del manejo fitosanitario de plagas, se realizaron tres aplicaciones con frecuencia semanal del insecticida Decis Forte (Deltametrina) en dosis de 500 mL por hectárea para barrenadores.

Las variables evaluadas fueron el número de semilla totales (NSTF), completas (NSCF) e incompletas (NSVF) en el fruto (NSTF); se obtuvo al contar el número de semillas completamente formadas e incompletas (vanas), después de extraer la semilla de cada uno de los frutos. Longitud (LONS, cm) y ancho (ANS, cm) de semilla; se obtuvo al medir la semilla con una regla milimétrica, después de extraer la semilla de cada uno de los frutos. Peso total de semilla en seco (PTS, g); se cuantificó extrayendo la semilla de cada uno de los frutos, que posteriormente fue sometida a un proceso de secado a temperatura ambiente por cinco días y pesado en una báscula digital. Peso de 100 semillas (P100S, g); se obtuvo de la semilla que fueron sometidas a un proceso de secado a temperatura ambiente por cinco días, en el cual se eligió al azar 100 semillas de cada fruto para pesarlos en una báscula digital.

Cada una de las variables en estudio fue sometida a un análisis en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.0) (SAS, 2009) en forma individual. Se efectuaron



correlaciones entre las características valoradas. Se calculó la diferencia mínima significativa (DMS de Tukey, $P \leq 0,05$) para la comparación de medias.

Resultados y Discusión

Se presentó diferencia significativa para las fuentes de variación densidad de siembra y accesión nativa de calabaza en las siete características. En el caso de la interacción accesión por densidad de siembra ($P \leq 0,05$) hubo significancia en LONS y ANS, con excepción del número de semillas vanas, completas y totales por fruto, peso de 100 semillas y peso total de semilla por fruto, respectivamente (Cuadro 1), lo que demuestra una amplia variación de las variables bajo estudio y entre las densidades de siembra.

Cuadro 1. Resultados del ANOVA de cuadrados medios para peso total de semilla y otras características agronómicas de accesiones nativas de calabaza chihua durante el ciclo de P-V 2018 en condiciones de temporal. Campeche, México.

FV	GL	NSVF	NSCF	NSTF	LONS	ANS	P100S	PTS
AN	1	18.37 ^{ns}	21840.66*	20592.04*	0.29**	0.0009 ^{ns}	2.66 ^{ns}	400.16 ^{ns}
DE	5	605.34**	3430.06 ^{ns}	2517.57 ^{ns}	0.20**	0.04*	51.46*	529.46 ^{ns}
AN x DE	5	21.47 ^{ns}	351.56 ^{ns}	354.04 ^{ns}	0.04**	0.03*	8.46 ^{ns}	11.06 ^{ns}
Error	11	33.64	2588.07	2219.40	0.0004	0.003	20.21	244.98
Total	23							
C.V. (%)		29.3	24.3	20.6	0.97	6.0	27.5	21.0

FV=fuente de variación; GL=grados de libertad; AN=accesión nativa de calabaza; DE=densidad de siembra; NSVF, NSCF y NSTF=número de semillas vanas, completas y totales por fruto, respectivamente; LONS y ANS=longitud y ancho de semilla, respectivamente; P100S=peso de 100 semillas; PTS=peso total de semilla; *= $P \leq 0,05$; ^{ns}= no significativo.

Número de semillas vanas, completas y totales por fruto

La densidad de siembra afectó ($P \leq 0,05$) la cantidad de semillas formadas y completas por fruto en ambas accesiones de calabaza chihua (Figura 1). Se observó que, a mayor densidad de siembra por hectárea, se obtienen más NSVF en ambas accesiones. En promedio para ambas accesiones de calabaza chihua, con la D4 se obtuvo el mayor ($P \leq 0,05$) NSTF (275 semillas) y NSCF (260 semillas), respectivamente (Figura 1). La D5 y D6 presentaron el mayor ($P \leq 0,05$) NSVF. La accesión Champotón



presento mejor respuesta a la densidad de siembra al obtener mayor NSCF y NSTF (Figura 1). Ayvar *et al.* (2007) señala, si se retrasa la siembra de calabaza hasta finales de julio, se tendrá una mayor pérdida por la pudrición de frutos inmaduros y habrá más NSVF. Villanueva (2007) señala, que el número de frutos por planta y más NSTF es fundamental en la generación de materiales que proveen semillas (*Cucúrbita pepo* y *Cucúrbita argyrosperma*). Otros estudios realizados en accesiones de calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber) en la Península de Yucatán en monocultivo, coinciden con los detectados en el presente trabajo, al observar una variabilidad en el NSCF y NSTF (Rangel *et al.*, 2018); sin embargo, estos difieren del estudio realizado por Tucuch *et al.* (2019) en comparación con la D4, con una diferencia superior de 20% en el NSTF y 8% sobre el NSCF, con acepción en el NSVF al presentar una diferencia inferior de 69% cuando se utilizaron 3300 plantas/ha (Tucuch *et al.*, 2019).

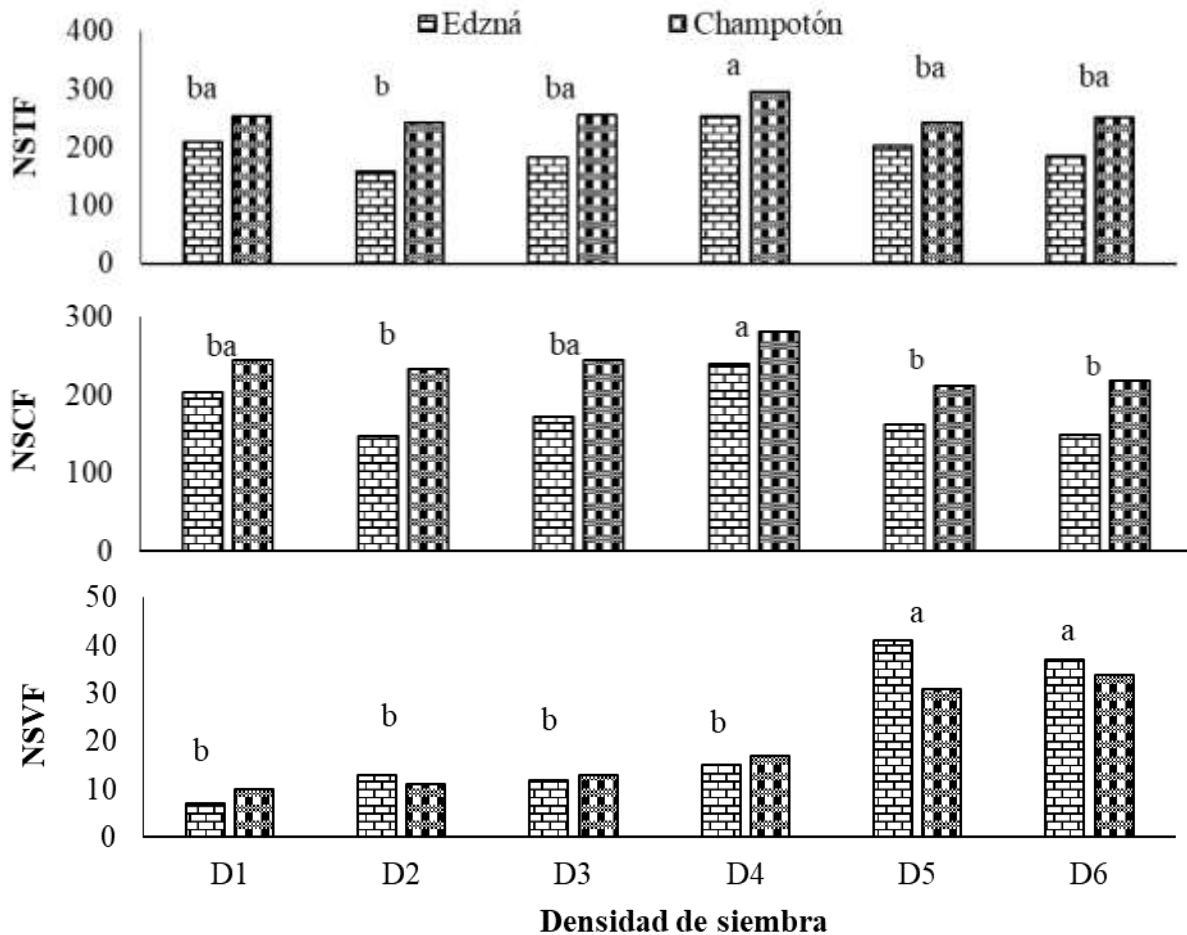


Figura 1. Promedio del número de semillas totales (NSTF), completas (NSCF) y vanas (NSVF) por fruto. Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).



Longitud y ancho de semilla

La densidad de siembra afecto la longitud y ancho de semilla (Figura 2). La densidad de D4 y D5 presentaron la mayor ($P \leq 0.05$) LONS. No se presentaron diferencias para ANS entre las densidades. La accesión Champotón presento mejor respuesta a la densidad de siembra al obtener mayor LONS y ANS (Figura 2). Estos resultados fueron superiores a los observados por Kipping *et al.* (2018), al trabajar con muestras de semillas de calabaza de castilla criolla (*Cucúrbita* spp.) producida en Villa de Ramos, San Luis Potosí, México; con una diferencia inferior sobre las accesiones Edzná y Champotón de 11% en la LONS y 27% para ANS en relación a la D4. Al compararlos con la D6, la calabaza castilla criolla supero a Edzná y Champotón en un 6% en la LONS; con excepción en el ANS, al mostrar mayor ANS las accesiones valoradas en el presente trabajo con 13% de diferencia.

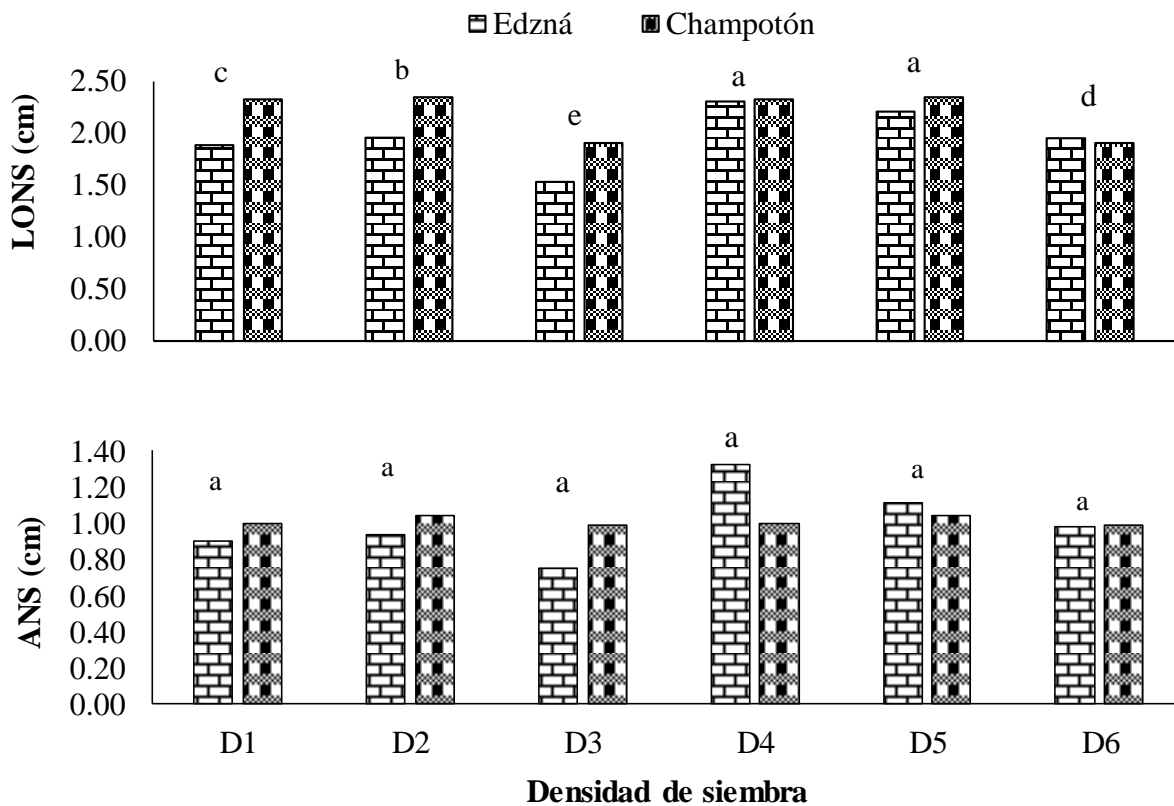


Figura 2. Promedio de la longitud (LONS) y ancho semilla (ANS). Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).



Peso de 100 semillas y peso total de semillas por fruto

La densidad de siembra afecto el P100S y PTS (Figura 3). En promedio para ambas accesiones de calabaza chihua, con la D4 se obtuvo el mayor ($P \leq 0.05$) P100S con 21 g y PTS por fruto con 58 g, respectivamente. La D5 y D6 presentaron menor ($P \leq 0.05$) P100S. La accesión Champotón presento mejor respuesta a la densidad al obtener mayor P100S y totales por fruto (Figura 3). Estudios previos indican es factible seleccionar la densidad de población óptima para incrementar el rendimiento de semilla seca por hectárea (Ayvar *et al.*, 2004). Otros estudios (Meneses *et al.*, 2023) señalan que la variable P100S, la cual es el principal carácter que se considera para seleccionar aquellas mejores familias de diversas poblaciones, se encontró que la Familia 8 tuvo el peso máximo de 100 semillas con un valor promedio de 47.90 g, que fue superior sobre las accesiones Edzná y Champotón con una diferencia de 54%; sin embargo, fue superior con 9% sobre la Familia 29 que tuvo solamente 19.92 g.

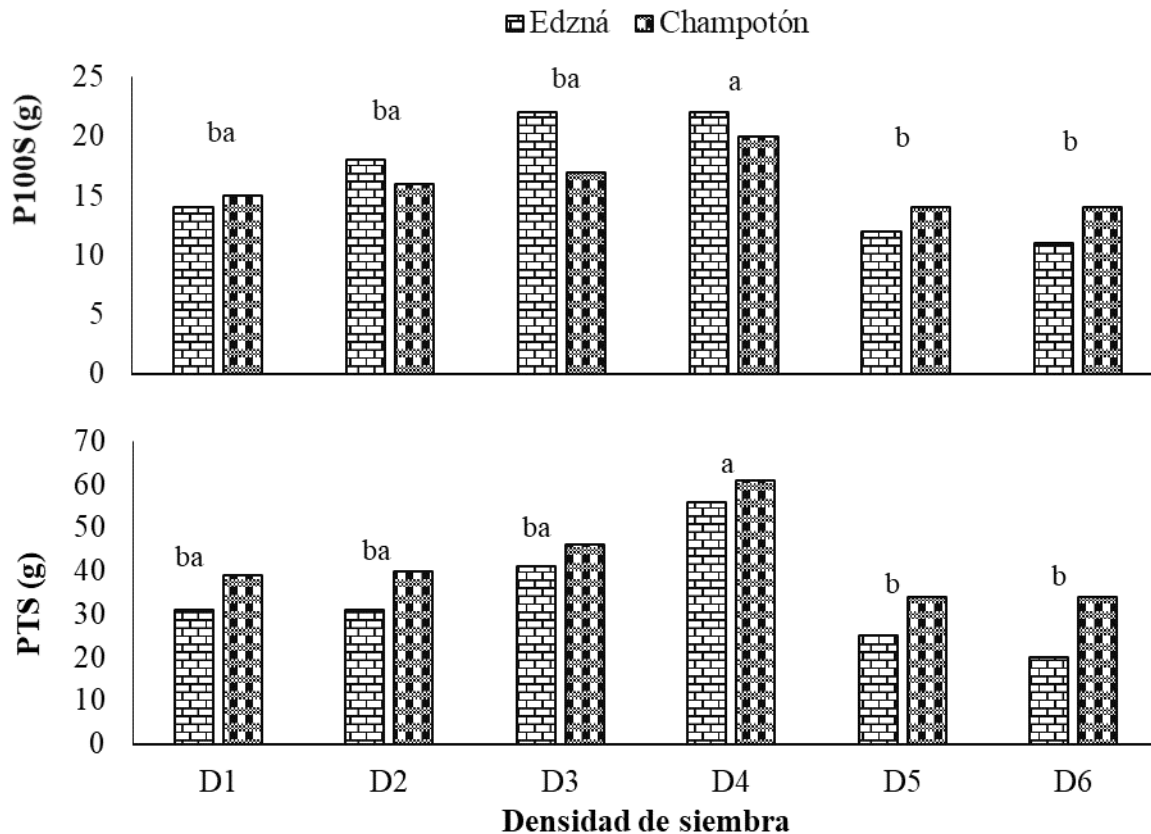


Figura 3. Promedio del peso de 100 semillas (P100S) y peso total de semilla por fruto (PTS). Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).



Correlación de variables

Todas las variables se correlacionaron entre sí, con excepción del NSVF con NSCF, NSTF, LONS, ANS, P100S y PST (Cuadro 2). Las mayores correlaciones de forma significativa ($P \leq 0.01$) fueron entre NSCF-NSTF (0.97**), P100S-PST (0.86**), NSCF-PST (0.82**), NSTF-PST (0.76**), LONS-ANS (0.66**) y NSTF-LONS (0.43*); y además esto, explica que la accesión de calabaza denominada Champotón sobresaliera bajo las distintas densidades de siembra en condiciones de temporal en el ciclo de P-V. Sánchez *et al.* (2006) señalan que el peso de semilla se asoció de forma significativa ($P \leq 0.01$) con peso de fruto (0.75**, 0.74**) y LONS (0.53**, 0.58**) (Sánchez *et al.*, 2006). Otros estudios reportan en *Cucurbita pepo L.* (Berenji y Papp, 2000) una correlación intermedia entre peso de fruto y peso de semilla (0.57**); además señalan que para aumentar el rendimiento es altamente deseable mejorar la polinización y con ello incrementar el NSTF, que estén bien llenas y sean de gran tamaño (Berenji y Papp, 2000).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson de características agronómicas de accesiones de calaza chihua bajo distintas densidades de siembra durante el ciclo de P-V 2018. Campeche, México.

	NSVF	NSCF	NSTF	LONS	ANS	P100S
NSCF	-0.42*					
NSTF	-0.21*	0.97**				
LONS	0.09 ^{ns}	0.38 ^{ns}	0.43*			
ANS	0.18 ^{ns}	0.27 ^{ns}	0.34 ^{ns}	0.66**		
P100S	-0.58*	0.45*	0.35 ^{ns}	-0.12 ^{ns}	-0.02 ^{ns}	
PST	-0.51*	0.82**	0.76**	0.19 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.86**

**=significancia con $P \leq 0.01$; *= significancia con $P \leq 0.05$; ns=no significativo; NSVF, NSCF y NSTF=número de semillas vanas, completas y totales por fruto, respectivamente; LONS y ANS=longitud y ancho de semilla, respectivamente; P100S=peso de 100 semillas; PTS=peso total de semilla.

Conclusiones

1. La densidad de siembra afectó la cantidad de semillas formadas y completas por fruto, longitud y ancho de semilla, peso de 100 semillas y total por fruto.



2. Para ambas accesiones de calabaza chihua, con la densidad de 6000 plantas por hectárea se obtuvo el mayor número de semillas totales y completas en el fruto, peso de 100 semillas y peso total de semilla seca por fruto.
3. La accesión Edzná y Champotón a través de la densidad de 7000 y 8000 plantas se obtuvo mayor número de semillas vanas por fruto y menor peso de 100 semillas.
4. Con la densidad de 6000 y 7000 plantas por hectárea se obtuvo mayor longitud de semilla.
5. La accesión Champotón presento mejor respuesta a la densidad de siembra al obtener mayor número de semillas completas y totales por fruto; longitud y ancho de semilla; peso de 100 semillas y totales por fruto.

Literatura Citada

- Ayvar, S. S., A. Mena B., D. Cortés M., J. A. Durán R. y J. G. Luna M. 2004. Rendimiento de la calabaza pipiana en respuesta a la poda y la densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (1):69-72.
- Ayvar, S. S., A. Mena B., J. A. Duran R., R. Cruzaley S., N. O. Gómez M. 2007. La calabaza pipiana y su manejo integrado. Folleto técnico. 18 p.
- Berenji, J. and D. Papp. 2000. Interrelations among fruit and seed characteristics of oil pumpkin. *Acta Hort.* 510 (17):101-104.
- FAO, 1970. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Guía para la descripción de suelos. 4a ed. Copyright. Roma, Italia. 111 p.
- Kipping, D. R. H., L. Ortiz A., A. Orozco H., M. Durán G., L. A. López M. 2018. Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento. *Rev. Cienc. Nat. Ingen.* 10(21):61-77.



Meneses, M. I., A. Vásquez H. y A. Gómez A. 2023. Selección familiar combinada en calabaza pipiana para rendimiento y calidad de fruto y semilla. *Stud. Environm. Anim. Sci. Curit.* 4(1):117-127.

Rangel, F. M. A., J. I. Tucuch H., A. Villalobos G., D. Basto B., J. A. Burgos D. 2018. Producción de frutos y semillas de genotipos de calabaza (*Cucurbita argyrosperma* Huber) de la Península de Yucatán. p. 771-772. *In: Memoria del VI Congreso Internacional y XX Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas.* Chapingo, Estado de México. México.

Sánchez, H. M. Á., J. A. Mejía C., C. Villanueva V., J. Sahagún C., A. Muñoz O., J. D. Molina G. Estimación de parámetros genéticos en calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber) *Rev. Fitotec. Mex.* 29(2):127-136.

SAS, 2009. The SAS System Release 9.1 for Windows, SAS Institute, Inc., Cary, NC.

Villalobos, G. A. 2020. Producción de semilla de calabaza chihua “Edzná” en Campeche. p. 244. *In: Libro técnico, No. 1. Primera Edición. Aportaciones del INIFAP al campo mexicano en 35 años.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Villanueva, V. C. 2007. Calabazas cultivadas. Identificación de especies, caracterización y descripción varietal. 1a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 123 p.



NUTRICIÓN MINERAL FOLIAR Y AL SUELO DEL AGUACATEO (*Persea americana* Mill.) EN URUAPAN, MICHOACÁN

Luis Mario Tapia Vargas¹⁷³, Adelaida Stephany Hernández Valencia^{174*} y Anselmo Hernández Pérez¹⁷³

Resumen

México es el principal país productor de aguacate Hass en el mundo, de enero a diciembre de 2022, Michoacán alcanzó una producción de 1,867,645.56 t. Sin embargo, el suelo por ser naturalmente de baja fertilidad y de fácil lixiviación de nutrientes, limita la productividad. El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto conjunto de los fertilizantes minerales complejos (FC), 12-11-18 + elementos menores (EM), mezclado con 15.5-25.6-0.3 Ca(NO₃)₂+B (NCB), aplicados al suelo y por vía foliar (F), los elementos Zn, B, Mg, en nutrición, rendimiento y calidad de fruto de aguacate variedad Hass. El experimento se realizó en Jicalán-Uruapan, Michoacán, en el huerto comercial “Alejandrina” durante los años 2018 a 2021. Los tratamientos (T) evaluados, aplicados en tres fracciones (Junio, Septiembre y Diciembre), fueron T1:200, T2:400, T3:600 kg/ha cada uno de [Ca(NO₃)₂+B], combinados con 200 Kg de FC+EM (12-11-18 + elementos menores), los foliares (F) se aplicaron en dosis de 1.5 L/ha (Zn, Mg, B) aplicados mensualmente desde la prefloración (junio) hasta fruto tamaño limón (diciembre) y dos testigos, T4:400 Kg de nitrato de calcio Ca(NO₃)₂ más 200 Kg de FC + EM y T5:400 kg fertilizante genérico (FG) 12-24-12 (testigo), sin foliares. T6:400 Kg de FC+EM más 400 kg de [Ca(NO₃)₂] + B + F (testigo del productor). El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro tratamientos y ocho repeticiones. Con 8 árboles + 16 árboles de barrera, cada árbol fue una unidad experimental. A partir de fruto perdigón (20 mm) se evaluó el tamaño de fruto, en madurez fisiológica se obtuvo el rendimiento, peso medio, caída y materia seca de fruto. Se tomaron muestras foliares y se evaluó el contenido nutricional foliar en los elementos N, K, Ca, B y Zn y se realizó el diagnóstico nutricional. Los resultados indican que el programa de nutrición (T3), produce beneficios significativos en rendimiento 38% más respecto al testigo genérico (T5), 12%

¹⁷³ Campo Experimental Uruapan-INIFAP.

¹⁷⁴ Postgrado en Fitosanidad-Fitopatología. Colegio de Postgraduados. *Autor por correspondencia: hernandez.adelaida@colpos.mx



mayor tamaño de fruto, 13% mayor contenido de materia seca y en general una mejor nutrición foliar N-P-K de la planta.

Palabras clave: fertilización, calidad de fruto y rendimiento

Introducción

Originario de América, mucho antes de la llegada de los españoles a este continente, el aguacate ya formaba parte de la dieta de los Aztecas y otros americanos (Bernal y Díaz, 2008). Se estima que la producción mundial de aguacate fue de 7.3 millones de toneladas en 2020, lo que representaría un incremento del 40% con respecto al año 2016 (Díaz, 2022). Como consecuencia del rápido crecimiento de la demanda mundial, se ha incrementado la demanda de producción en la última década, con un incremento promedio anual estimado en 5.6% entre 2007 y 2016, debido principalmente al aumento de la superficie cosechada de los principales productores (Sabine, 2017).

México es líder mundial en el mercado del aguacate ya que, como indica la Secretaría de Economía, participa con la tercera parte de la superficie sembrada total, es el principal exportador con el 40% y el de mayor consumo per-cápita (10 kg/año). Sus rendimientos por hectárea ocupan el cuarto lugar mundial (10.1 t/ha), por debajo de República Dominicana (19.3 t/ha), Colombia (16.1 t/ha) y Brasil (12.9 t/ha), (Chávez *et al.*, 2012).

Distintos países exportadores importantes son Perú, Chile, Sudáfrica, Israel y Kenya, que exportan principalmente a la UE y se han beneficiado del rápido crecimiento de la demanda de importación de aguacate en los países de esta unión.

El cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill.), ha cobrado suma importancia, debido a la derrama económica que dicha actividad genera a la cadena de productores, comercializadores, industrializadores, proveedores de insumos y la mano de obra para la producción, reporta ingresos por exportación de fruto de \$3,000,000,000.00 dólares (Portal Frutícola, 2022).

La condición nutrimental, es un aspecto clave para que la fruta sea de máxima calidad comercial, por ello es de suma importancia la nutrición en el aguacate. La nutrición foliar debe incluir un esquema inicial con productos que aseguren primero una mayor intensidad de la floración, posteriormente foliares nutricionales para incrementar el amarre y la formación de mayor cantidad de frutos por



inflorescencia y finalmente productos que promuevan un mayor crecimiento mayor del fruto, por lo tanto, se requieren productos foliares acordes con la fenología ya que para cada fase del ciclo reproductivo las necesidades de nutrientes son diferentes. Por ello, antes de la floración y al inicio se deben hacer aplicaciones foliares para obtener mayor amarre de fruto y después continuar con otro esquema de aplicaciones foliares para tener un crecimiento y desarrollo del fruto con mejor desempeño (Tapia *et al.*, 2012).

Diversas investigaciones han mostrado la importancia de los índices nutrimentales foliares para la óptima producción de fruto (Salazar y Lazcano, 2001). Por otra parte, existe una marcada influencia del tipo de suelo y del clima, con el estado nutrimental del árbol (Aguilera *et al.*, 2005), la condición de humedad del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes y la situación nutrimental del árbol, así como el balance nutrimental en el sistema suelo-planta-fruto (Tapia *et al.*, 2012).

El manejo nutricional adecuado del aguacate debe incluir además de la fertilización al suelo, aplicaciones foliares de nutrimentos, ya que los suelos donde se cultiva el aguacate carecen de manera natural de algunos nutrientes fundamentales (Alcalá *et al.*, 2002).

Considerando lo anterior, el objetivo fue determinar el efecto combinado de los fertilizantes minerales complejos (12-11-18 + elementos menores), mezclado con 15.5-25.6-3 [Ca(NO₃)₂-B], aplicados al suelo y por vía foliar los elementos Zn, B, Mg, sobre la nutrición, rendimiento y calidad de fruto de aguacate variedad Hass en Michoacán.

Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el huerto de aguacates “Alejandrina, ubicado en Jicalán, desde los años de junio de 2018 a junio de 2021, del municipio de Uruapan Michoacán, situada al suroeste de la ciudad. El municipio de Uruapan se ubica geográficamente en una latitud: 19.3833 N, una longitud: - 102.0333 O y una altitud de 1600 m, y ocupa el 1.73% de la superficie del estado. El tipo de clima en la localidad de Jicalán es semicálido subhúmedo (A)CW₂, el más húmedo de la franja aguacatera y su suelo corresponde a un Luvisol (Alcalá *et al.*, 2002), conocido regionalmente como Charanda, el cual es de origen volcánico con mayor grado de intemperismo.

Los árboles de aguacate son de la variante “Méndez”, tipo “Hass”, localizados en una huerta joven de 6 años plantada en marco real de 7.0 x 4.0 m (Figura 1). Los productos que se emplearon fueron:



[Ca(NO₃)₂+B] 15.5-25.6-0.3 (NCB), con un contenido de Nitrógeno 15.4%, Calcio 25.6% y Boro 0.3% granular. El boro presente favorece el rendimiento al aumentar el amarre de fruto, mientras que el calcio incrementa frutos firmes y de mayor calidad, así como la vida de anaquel y la resistencia a las enfermedades más comunes de la región. Se mezcló con el fertilizante complejo (FC), 12-11-18 (N-P₂O₅-K₂O) + elementos menores (EM) de baja concentración, (MgO-S-B-Fe-Mn-Zn), (2.7-8-0.015-0.2-0.02-0.02) que es un fertilizante completo y balanceado con microelementos. Vía foliar se aplicaron nutrientes foliares (NF), mezclados con los elementos zinc (40%), boro (10.9%) y magnesio (20%).



Figura 1. Huerto comercial de aguacate “Alejandrina”, en Uruapan, Michoacán.

Los tratamientos de nutrición foliar y al suelo se aplicaron en dos años durante los años 2018 a 2021, los tratamientos se iniciaron en junio de cada año, yemas en inicio de hinchazón antes de la apertura floral de agosto y se aplicaron de la siguiente manera: T1:200, T2:400, T3:600 kg/ha cada uno de [Ca(NO₃)₂+B], combinados con 200 kg de FC+EM (12-11-18 + elementos menores), más los foliares (F) se aplicaron en dosis de 1.5 L/ha (Zn, Mg, B) aplicados mensualmente desde la prefloración (junio) hasta fruto tamaño limón (diciembre) y dos testigos, T4:400 kg de nitrato de calcio Ca(NO₃)₂ más 200 kg de FC + EM, T5:400 kg fertilizante genérico (FG) 12-24-12, sin foliares. T6:400 kg de FC+EM más 400 kg de [Ca(NO₃)₂] + B + F (testigo del productor).

Diseño Experimental

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco tratamientos, dos testigos y ocho repeticiones. Tamaño de parcela/tratamiento: 8 árboles + 16 árboles de barrera, tomando cada árbol como una unidad experimental o repetición. En una superficie total del ensayo: 1 ha, aproximadamente.



Variables para evaluar

Crecimiento de fruto

A partir de fruto tamaño perdigón (20 mm) se evaluó el tamaño de cuatro frutos por árbol de las ramas marcadas para medir el largo y diámetro ecuatorial, en este punto se consideró como fruto cuajado.

Materia seca

Para el análisis de materia seca se cortaron cuatro frutos en un estado de maduración óptimo de cada tratamiento. En el laboratorio de suelos, aguas y plantas del INIFAP, se evaluó el peso general del fruto para posteriormente cortar rodajas uniformes y poder obtener el dato del peso fresco del fruto. Se introdujo en bolsas de papel para ubicarlas en el interior de una estufa de secado eléctrica. Después de 24 h se examinó el peso seco del fruto y se calculó el análisis de materia seca. En cuanto el fruto alcanzo en cada tratamiento el 23% de materia seca, se considera como el dato de madurez de cosecha para cada árbol (Figura 2).



Figura 2. Preparación de las muestras de aguacate y manejo de las mismas para la determinación de materia seca.

Rendimiento y calidad de fruto

El rendimiento se obtuvo registrando en una báscula el peso total de los frutos cosechados por árbol y contando el número de frutos cosechados. Se tomaron cuatro frutos por tratamiento y se tomó el peso de cada uno de ellos y el contenido de materia seca.

Análisis foliar

El análisis foliar se realizó de muestras foliares de ramas sin fruto, hojas maduras, de la parte media del dosel. Las muestras foliares fueron seleccionadas en cuatro ramas del árbol ubicados en diferentes puntos cardinales, deben estar a la misma altura, estar bien iluminados, sin daños de plagas y enfermedades ni factores físicos.



Para la interpretación de los datos del análisis de tejido vegetal se usaron; los índices de balances, en base a la metodología desarrollada por Kenworthy *et al.* (1973), se utilizan los valores estándar y coeficientes de variación obtenidos por Palacios (1986) en la región de Uruapan. Con los índices de balance se construyeron las cartas de balance que permite diagnosticar el estado nutrimental. Para la obtención de los índices de balance se emplearon las siguientes ecuaciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones utilizadas en el análisis de la nutrición foliar de aguacate.

Si la concentración promedio del Y si la concentración promedio Donde:

nutrimento es menor que el valor del estándar, se tiene:	valor estándar, se tiene:	(% en base a materia seca)
1. $(x / s) \times 100 = P$	1. $(x / s) \times 100 = P$	S = Valor estándar (% en base a materia seca)
2. $(100 - p) \times (v / 100) = I$	2. $(p-100) \times (v / 100) = I$	P = % del valor estándar
3. $p + I = B$	3. $p - I = B$	V = Coeficiente de variación del valor estándar
		I = Influencia de variación
		B = Índice de balance

Análisis de datos

Los análisis estadísticos de las variables consideradas en los puntos anteriores se realizaron con SAS® (Statistical Analysis System) versión 12, para el diseño de bloques al azar con ocho repeticiones. Se efectuó la prueba de medias con Tukey 5% para las variables consideradas.

Resultados y Discusión

Crecimiento de Fruto

Una vez realizados los análisis de varianza de ambas variables de crecimiento de fruto (longitud polar y ecuatorial del fruto), se realizó la comparación de medias en las dos últimas fechas de muestreo, como se aprecia, aunque no hubo diferencia estadística en el mes de mayo si se observa una diferencia numérica de hasta 4.4 mm en la longitud polar y de 2 mm en la longitud ecuatorial. Estas diferencias



numéricas se perciben en forma general en que los tratamientos que incluyen aplicaciones foliares de Zn, B y Mg, producen un mayor crecimiento en general del fruto, superan en 4.3% el diámetro ecuatorial y de manera significativa, superan hasta en 14% el diámetro polar, ésta mejor condición produce un fruto más grande y en términos de peso, son al menos 40 g más (Cuadro 2).

El crecimiento del fruto que incluyen productos las tres fuentes de nutrición NCB, FC+EM y F, alcanzan los valores más altos de diámetro longitudinal, mientras que el testigo permanece diferente de manera significativa con un valor de al menos 13% de menor tamaño. El crecimiento del diámetro ecuatorial. Se aprecia en el cuadro 2, que existe un margen menor en el crecimiento ecuatorial que el que se tiene en el crecimiento longitudinal, las diferencias finales son de al menos 1.4 hasta 4.3% en los tratamientos que incluyen fertilización foliar (F) con respecto al testigo genérico 12-24-12, el cual alcanza el valor más bajo de crecimiento con solo 61.2 mm.

Cuadro 2. Comparación de medias de diámetro y longitud fecha en las últimas fechas de muestreo en aguacate bajo diferentes tratamientos nutricionales en Jicalán, Michoacán.

Tratamiento Manejo Nutricional		Diámetro Longitud Diámetro Longitud			
		Mayo	Mayo	Junio	Junio
T1	200 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	60.4 a	80.2 a	63.0 a	86.8 a
T2	400 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	62.6 a	80.2 a	63.9 a	88.2 a
T3	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	61.1 a	82.0 a	62.3 a	86.6 a
T4	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM)	61.3 a	82.0 a	61.6 a	86.3 a
T5	Testigo 12-24-12	61.6 a	77.8 a	61.2 a	75.9 b
T6	Testigo Productor 600 kg NCB + 400 kg (FC+EM) + F	61.8 a	82.0 a	62.5 a	86.7 a
DMS (Tukey 5%)		2.2	5.6	3.8	3.7

Nota: NCB: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; FC+EM: fertilizante complejo + elementos menores; F: foliares

Materia seca

A partir del mes de mayo de 2021, se inició la medición de la materia seca del fruto, en este caso no se encontró diferencia estadística de acuerdo con el análisis de varianza, en mayo se tuvo $\text{FC}=1.44$ y $\text{P}<74\%$, mientras que en junio los resultados indican que $\text{FC}=0.99$ y $\text{P}<55\%$, lo cual claramente indica no significancia de los resultados en cuanto a materia seca (Cuadro 3).



Cuadro 3. Análisis de Varianza de la variable materia seca de fruto en junio (kg/árbol y t/ha) en el experimento de nutrición Yara en aguacate en Jicalán, Michoacán.

Fuente	G.L.	Suma de Cuadrados	de Cuadrado Medio	F-Valor	Pr > F
Nutrición	5	44.22857014	8.84571403	0.99	0.457
Rep.	3	13.41145056	4.47048352	0.5	0.6882
Error	15	134.244417	8.9496278		
Total	23	191.8844377			

C.V.=12.5%

Aun cuando no existe significancia estadística, los valores de materia seca son numéricamente superiores en al menos 3% hasta 9% en el tratamiento T2, mayor contenido de materia seca en el mes de mayo, mientras que en el mes de junio estas cantidades son al menos 9% hasta 17.1% más materia seca en el tratamiento T1, valores que claramente son ya considerados de corte para exportación (>23%) mientras que el testigo genérico no alcanza este valor para la exportación de fruto (Cuadro 4). Estos valores obtenidos en los tratamientos con altos contenidos de materia seca, podría implicar una mayor protección contra desórdenes fisiológicos en postcosecha como argumenta Escobar *et al.* (2019).

Cuadro 4. Comparación de medias de materia seca de fruto bajo diferentes tratamientos nutricionales en Jicalán, Michoacán.

Tratamiento	Manejo nutricional	Materia seca (mayo)	Materia Seca (julio)
T1	200 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	21.9 a	25.8 a
T2	400 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	23.3 a	23.3 a
T3	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	21.2 a	24.4 a
T4	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM)	23.2 a	24.5 a
T5	Testigo 12-24-12	21.3 a	21.4 a
T6	Testigo Productor 600 kg NCB + 400 kg (FC+EM) + F	22.8 a	24.0 a
	DMS (Tukey 5%)	5.3	6.9

Nota: NCB: Ca(NO₃)₂; FC+EM: fertilizante complejo + elementos menores; F: foliares.



Rendimiento de Fruto

En el Cuadro 5 se presentan los valores promedio para las variables relacionadas con el rendimiento de fruto, claramente se aprecia que excepto por el tratamiento 1, los tratamientos NCB, (FC+EM) y F, reducen la caída de fruto de manera significativa con respecto al testigo 12-24-12 desde un 10% hasta 39% con T2, ello puede argumentar la aplicación de fertilizantes foliares para reducir la caída de fruto como asegura Lovatt (1999), de acuerdo al tratamiento más bajo con estos productos, los resultados son muy importantes para incidir en esta variable que causa severos daños a las huertas de aguacate. El peso medio de fruto, así como el número de frutos fueron también más altos que el testigo sin Boro y sin foliares por lo que en términos porcentuales lograron desde 7% hasta 22% mayor peso de fruto lo cual es importante si se observa que estos pesos medios presentan el peso ideal para el mercado de exportación pues están en el rango de 180-230 g y todos los tratamientos con NCB + (FC+ EM) + F superan al testigo genérico.

Cuadro 5. Comparación de medias de producción y caída de fruto bajo diferentes tratamientos nutricionales en Jicalán, Michoacán.

Trat.	Manejo Nutricional	Caída de Peso de Fruto		Número de frutos	Rendimiento (kg/árbol)	Rendimiento (t/ha)
		(marzo)	(g)			
T1	200 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	46.5ab	221.8 ab	392 ab	98.2 ab	15.3 a
T2	400 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	31.6 b	196.3 ab	407 ab	101.7 ab	15.8 a
T3	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM) + F	33.8 b	232.8 a	435 a	108.7 a	16.9 a
T4	600 kg NCB + 200 kg (FC+EM)	31.4 b	197.5 ab	394 ab	98.5 ab	15.4 a
T5	Testigo 12-24-12	51.4 a	183.8 b	283 b	68.3 b	10.6 b
T6	Testigo Productor 600 kg NCB + 400 kg (FC+EM) + F	41.9 ab	213.8 ab	382 b	95.7 ab	14.9 a
DMS (Tukey 5%)		17.4	53.5	148	35.8	3.9

Nota: NCB: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; FC+EM: fertilizante complejo + elementos menores; F: foliares.

En relación la variable económica más importante en la producción de aguacate, el rendimiento por árbol y el rendimiento por hectárea, se obtuvo diferencias significativas con valores por encima del testigo en todos los tratamientos que incluyen la aplicación completa de NCB + (FC+EM) + F, estas



cantidades de fruto rendido superan al testigo desde 31% hasta 38% más rendimiento de fruto tanto en kg/árbol como en t/ha, llegando a producir hasta 16.9 t/ha, valor que supera en 50% el rendimiento actual estatal de Michoacán (Franco *et al.*, 2018), mientras que con el testigo genérico solo se producen 10.6 t/ha, este último valor es característico pues es el rendimiento medio que Michoacán produce cada año desde las últimas cinco décadas. Los incrementos en rendimiento de fruto (t/ha), son tangibles por el manejo de los tratamientos con nutrición al suelo y foliar y su superioridad se advierte claramente, llegando a producir hasta 16.9 t/ha, superando en 6.3 t/ha al testigo genérico, mientras que el tratamiento que menos superó al testigo fue el 200 kg (NCB) +400 kg (FC+EM) +F, aun así, supera al testigo en 4.7 t/ha de fruto.

Diagnóstico Nutricional

En el Cuadro 6 se presentan los análisis foliares del aguacate en dos fechas de muestreo en 2019 y 2020, es decir al inicio y al final del proyecto. Se aprecia al inicio una cierta uniformidad de la nutrición, aunque también hay un efecto residual del proyecto de 2018 y 2019 y de este reporte que corresponde al experimento 2019 y termina en 2021. Como cabría esperar y por los resultados de las variables ya presentadas, los tratamientos que incluyeron NBC y F mostraron una mayor concentración foliar de algunos elementos nutritivos vitales para la polinización, amarre, tamaño, calidad y rendimiento, como son nitrógeno, potasio, calcio y boro, tuvieron una mayor concentración que el testigo genérico y que el testigo del productor que solamente se fertiliza con FC + EM.

Cuadro 6. Contenido nutricional foliar en dos fechas de muestreo del aguacate en diferentes tratamientos nutricionales (Laboratorio INIFAP).

Elemento	YaraLiva 200 kg	YaraLiva 400kg	YaraLiva 600kg	YaraLiva 400kg	Genérico 12-24-12	Testigo Productor
sep19	+ YaraVita	+ YaraVita	+ YaraVita			
Nitrógeno	3.1	2.88	3.25	3.1	2.78	2.22
Fósforo	0.13	0.18	0.15	0.17	0.16	0.13
Potasio	1.51	1.4	1.74	1.29	1.21	0.98
Calcio	1.69	1.71	1.29	1.41	1.19	1.21
Magnesio	0.86	0.82	0.75	0.66	0.67	0.65
Boro	79.1	78.5	82.4	52.1	48.1	39.1
Zinc	37.2	46.2	43.5	40.8	26.7	28.4



Elemento	YaraLiva 200 kg	YaraLiva 400kg	YaraLiva 600kg	YaraLiva	Genérico	Testigo
sep19	+ YaraVita	+ YaraVita	+ YaraVita	400kg	12-24-12	Productor
sep21						
Nitrógeno	3.0	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8
Fósforo	0.16	0.19	0.16	0.18	0.14	0.17
Potasio	1.30	1.24	1.45	1.39	1.19	1.32
Calcio	2.07	2.01	2.13	2.33	1.96	1.94
Magnesio	0.86	0.82	0.75	0.66	0.67	0.65
Boro	18	21.5	23.5	22	17.5	18.8
Zinc	25.25	31.5	29	32.5	28.75	29

La respuesta del cultivo a las aplicaciones foliares es clara en el mejoramiento de la condición nutricional foliar ya que, al incrementarse los niveles de nitrógeno, potasio y boro, las posibilidades de mayor amarre y rendimiento se incrementan sustancialmente, pues estos elementos se relacionan directamente con una mayor polinización como lo indica Lovatt (1999). Con respecto al elemento potasio, las cantidades se mantuvieron muy uniformes y en todos los tratamientos se presentaron dentro de rangos los normales. Sin embargo, de acuerdo con Lemus *et al.* (2005), se considera bajo, pues los resultados obtenidos son inferiores a 1.5%.

Las concentraciones de calcio son consideradas normales, ya que rebasan 0.5% lo estimado por Lemus *et al.* (2005), como valor deficiente para el desarrollo del aguacate, a excepción del testigo, los demás tratamientos si mantuvieron valores dentro de lo normal. Los valores detectados de B en este trabajo son más bajos que los reportados por Figueroa *et al.* (2001), quienes mencionan cantidades de 35.04 mg/kg para B. Sin embargo, al obtener el diagnóstico nutrimental todos los tratamientos excepto el testigo, presentan valores dentro de lo normal.

Los resultados del diagnóstico nutricional presentado en la Figura 3, indican claramente como algunos elementos se mantienen en un balance excelente en todos los tratamientos. Con los resultados del análisis químico realizado en el CIDAM (Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán), para las muestras foliares recolectadas en agosto de 2019 y 2021, se aprecia en general que los tratamientos completos con NCB + (FC+EM) + F en sus tres dosis funcionan bien en proporcionar un adecuado balance de nutrientes, analizando por elementos, en el caso del nitrógeno en



el cual todos los tratamientos presentan un balance adecuado, incluso no hay exceso (<120) ni deficiencia (>80). Esta misma situación se presenta en los elementos químicos Calcio y en el caso del Zinc y Boro solo los tratamientos 400 kg de NCB + (FC+EM) + F, presentan un adecuado balance entre 80 y 120, asimismo, esta condición se repite en el elemento fósforo, mientras que, para el potasio, sólo el tratamiento 200 kg de NCB + (FC+EM) + F, pudo mantener un balance adecuado.

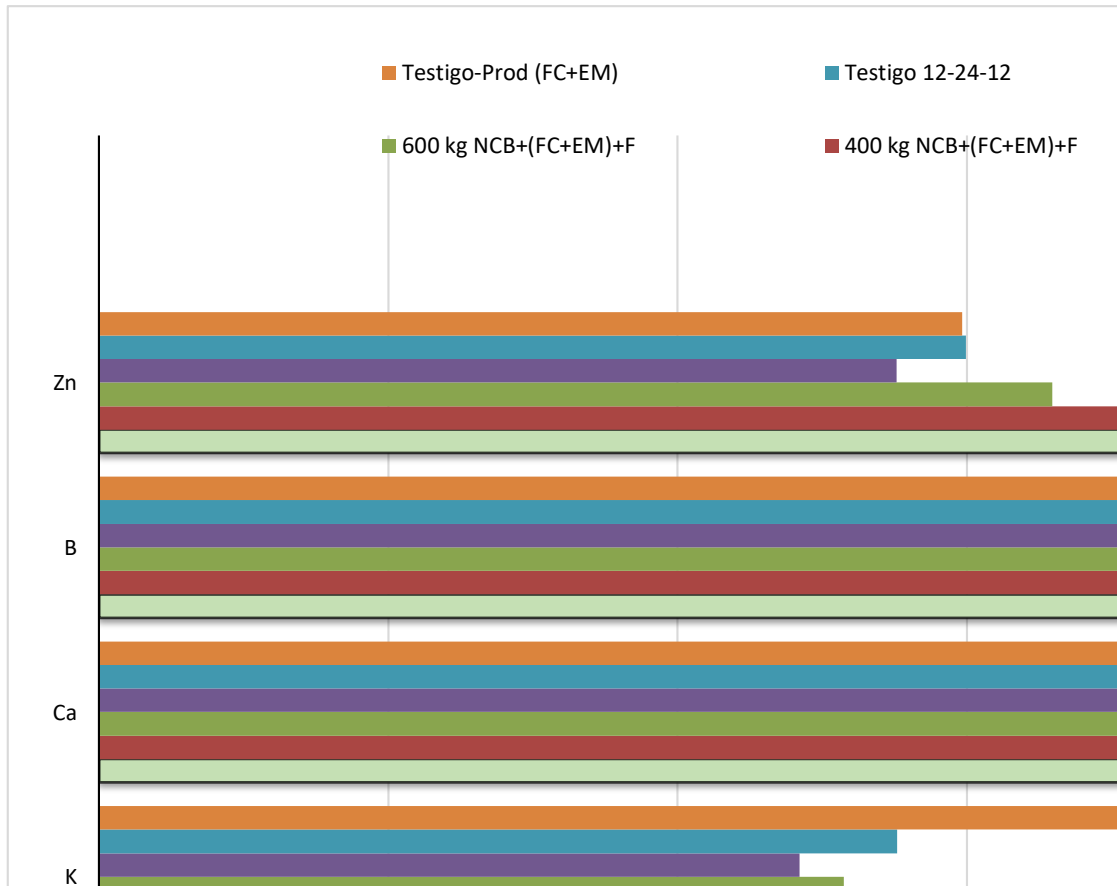


Figura 3. Balance nutricional de elementos químicos de hoja de aguacate en Jicalán, Michoacán.

Conclusiones

1. Los resultados del proyecto permitieron determinar que el manejo nutricional con Nitrato de calcio + Boro, fertilizante complejo ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{B}$, $(\text{N}-\text{P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O} + \text{elementos menores})$ y foliares de B, Zn



- y Mg producen un mayor tamaño de fruto de manera longitudinal y ecuatorial de forma significativa, al llegar a madurez fisiológica el fruto.
2. La calidad de fruto también fue mejorada con el manejo nutricional señalado ya que de manera precoz se obtuvieron altos valores en la materia seca y tamaño de fruto.
 3. El manejo de este procedimiento nutricional integral también produjo un mayor rendimiento de fruto, pero hay una tendencia que las dosis más bajas tienen un mejor efecto que dosis altas de fertilizante.
 4. En este sentido el número de frutos cosechados también fue mejor, así como una menor cantidad de fruto caído en el tratamiento con dosis bajas de la nutrición integral $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ + elementos menores y foliares Zn, B y Mg.
 5. La nutrición foliar en general fue más balanceada en todos los tratamientos con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ + elementos menores y foliares en comparación a los testigos sin foliares, sin nitrato de calcio y sin elementos menores.

Literatura Citada

- Aguilera, M. J., L. M. Tapia V., L. M. Vidales F. I. y S. Salazar G. 2005. Contenido nutrimental en suelo y hojas de aguacate en huertos establecidos en Michoacán y comparación de métodos para interpretación de resultados. INIFAP, Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. Folleto Técnico 2. 28 p.
- Alcalá, J. M., C. A. Ortiz S. y M. C. Gutiérrez C. 2002. Clasificación de suelos de la meseta Tarasca, Michoacán. Terra 19: 227-239. Altos niveles nutrimentales en su huerto con fertirriego sin afectar el ambiente. Boletín El Aguacatero 34:7-15.
- Bernal, A. y C. Díaz. 2008. Tecnología para el cultivo del Aguacate. Manual técnico 5. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rio Negro, Colombia. 241 p.



Chávez, L. G., L. M. Tapia V., M. Bravo E., M. Sáenz R., J. T. Muñoz F., H. J. Vidales F. *et al.* 2012. Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate. Libro técnico No. 13. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Michoacán, México. 1-18 Pp.

Díaz, C. B. 2022. El mercado mundial de aguacate: 60 años del liderazgo de México y su impacto en la próxima década. *Anáhuac J.* 21(2):121-131

Escobar, J. V., P. Rodríguez., M. Cortes y Y. Correa, G. 2019. Influencia de la materia seca como índice de madurez de cosecha y tiempo de almacenamiento en frío sobre la calidad de aguacate cv. Hass producido en la región del trópico alto. *Inf. Tecnol.* 30(3):199-210. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300199>.

Figueroa, R., M., A. M. Castillo G., E. Avitia G. y J. L. Tirado T. 2001. Concentración nutrimental en hojas e inflorescencias de tres cultivares de aguacatero. *Terra Latinoam.* 19(2):127-132.

Franco, S. M., J. A. Leos, R., J. M. Salas, G., M. Acosta, R. y A. García, M. 2018. Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(2):391-402.

Kenworthy, A. L. 1983. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. *In: Walsh, L. M. and Beaton, J. D. (eds.). Soil testing and plant analysis 5th ed. Madison: Soil Science Society of America. p.381-392.*

Lemus, G., R. Ferreyra, P. Gil, P. Maldonado, C. Toledo, C. Barrera y J. M. Celedón. 2005. El cultivo del palto. *Boletín INIA.* 3a Ed., No. 129. 82 p.

Lovatt, C. 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. *Hort. Technol.* 9(4):607-612.



Palacios, J. M. 1986. Dinámica y balance nutrimental en árboles de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass, con alto y bajo rendimiento en la región de Uruapan, Michoacán. Tesis, Colegio de Postgraduados, Chapingo. Estado de México. 93 p.

Portál Frutícola. 2022. Altos precios reducen 30% exportación de aguacate mexicano. Yentzen Group. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2022/04/20/se-reducen-30-exportacion-de-aguacate/> [consultado el 20 de junio de 2022].

Sabine, A. 2017. Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales. pp 1-15 http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf.

Salazar, S., I. Lazcano. 2001. Identifying fruit mineral removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops Int.* 15(1): 28-31.

Tapia, V. L. M., A. Larios G., J. Anguiano C., I. Vidales F. y V. L. Barradas. 2012. Lixiviación de nitratos en dos sistemas de manejo nutricional y de agua en aguacate de Michoacán. *Rev. Int. Contam. Amb.* 3(28):251-258.



EVALUACIÓN DE NUTRICIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN AGUACATERO (*Persea americana* Mill), DE ZIRACUARETIRO, MICHOACÁN, MÉXICO

Luis Mario Tapia Vargas^{175*}, Anselmo Hernández Pérez¹⁷⁵ y Adelaida Stephany Hernández Valencia¹⁷⁶

Resumen

La nutrición orgánica es una alternativa eficiente y sostenible que puede impactar ecológicamente en el cultivo del aguacate (*Persea americana* Mill). El objetivo de este trabajo fue evaluar dos formas de nutrición del aguacatero, orgánico y mineral y su efecto en la productividad, rendimiento, tamaño, materia seca, nutrición foliar y disponibilidad nutricional en suelo, así como las propiedades microbianas de sostenibilidad del recurso suelo. El experimento se estableció en la localidad de El Mesón, municipio de Ziracuaretiro, Michoacán, en un suelo luvisol con pH de 6.8 y salinidad 0.45 dS/m. Los tratamientos fueron, T1: aplicación de fertilizante orgánico (fermentos) al suelo y foliar; T2: fertilizante mineral soluble 12-24-12. Los tratamientos fueron aplicados en sistema de ferti-riego y foliar de manera mensual y dosis similar, en dosis de 20 L/ha y 5 L/ha, respectivamente, T2 se aplicó en dosis de 20 L/ha al suelo y 5 L/ha foliar. El diseño experimental fueron dos líneas de árboles completamente al azar, con 15 repeticiones donde cada árbol contó como una repetición. Se evaluaron las variables: crecimiento de fruto, rendimiento, materia seca, nutrición foliar, extracto celular de peciolo (ECP), solución del suelo y actividad biológica. Los resultados obtenidos indican que la nutrición orgánica presenta un desempeño semejante al obtenido con el manejo nutricional químico, la productividad no se reduce de manera significativa (43.9 (T1) vs 51.6 (T2) kg/árbol), el tamaño de fruto es semejante (100 mm), la condición nutricional tanto en base a peso seco como en extracto celular de peciolo N-NO₃, P y K son iguales en ppm, respectivamente 205 vs 270; 0.38 vs 0.47 y 2175 vs 2725, también la disponibilidad nutricional en solución del suelo son idénticos 200 vs 211 ppm en NO₃, 1.81 vs 1.25 ppm en P y 1.25 vs 141 ppm en K, los contenidos de materia seca en fruto se mejoran así como la actividad microbiana del suelo, por lo que la alternativa de manejo nutricional

¹⁷⁵ Campo Experimental Uruapan-INIFAP. *Autor por correspondencia: tapia.luismario@inifap.gob.mx

¹⁷⁶ Postgrado en Fitosanidad-Fitopatología. Colegio de Postgraduados.



orgánico es factible de implementar sin afectar la productividad del cultivo del aguacate igualando de manera significativa, nutrición, productividad, mejorando la vida microbiana del suelo.

Palabras clave: fertilización natural, aguacate Hass, manejo sostenible

Introducción

México se consolida como el principal productor de aguacate (*Persea americana* Mill) a nivel mundial, con una producción para el 2019 de 205 mil 439 toneladas (SIAP, 2020). El aguacate mexicano se encuentra entre una de las frutas de mayor demanda en el país vecino Estados Unidos de Norteamérica que es el que consume la mayor parte de las exportaciones de aguacate mexicano (SAGARPA, 2017).

La cifra de producción de aguacate en México es gracias a que el estado de Michoacán aporta cerca del 94.6% de la exportación total del fruto que genera nuestro país a diferentes naciones (SIAP, 2020). La República Mexicana ha mantenido un saldo favorable en la balanza comercial de aguacate, con un ingreso promedio de 2,700 millones de dólares para el 2018 (CEDRSSA, 2019).

A pesar de que el Estado de Michoacán, en su franja aguacatera, reúne las mejores condiciones de clima, suelo, agua e infraestructura para la producción de aguacate, teniendo potenciales de rendimiento de más de 20 t/ha con fruto de calidad comercial, el suelo y el clima presentan una alta variabilidad espacial, por lo que ambos son factores que limitan la producción. Con respecto al clima poco se puede hacer, pero el suelo, con el empleo de fertilizantes orgánicos, puede a mediano o largo plazo hacer un ambiente más favorable en la zona radicular del árbol y proporcionar condiciones propicias para la absorción de nutrientes y la aireación del suelo. Solorio (2015) menciona que este sistema de producción puede ayudar a recuperar el equilibrio ecológico de los suelos en cuanto a insectos, hongos y bacterias, que propician un agroecosistema viviente entre los organismos.

Los suelos donde se produce el aguacate en Michoacán son pobres en general de materia orgánica, son de baja fertilidad y presentan baja capacidad de intercambio catiónico pues las partículas que coadyuvan en esta propiedad están presentes en bajas cantidades. Además, el estar sometidos a altas precipitaciones en la temporada de lluvias, los cationes y los nitratos son lixiviados a capas profundas fuera del alcance radicular (Tapia *et al.*, 2012). En este caso, la utilización de productos orgánicos en aguacate busca subsanar las deficiencias nutricionales endémicas de los suelos productores de aguacate



y proporcionar compuestos orgánicos para retener y hacer disponible los nutrientes que el cultivo requiere (Villalba *et al.*, 2015).

Bajo estas consideraciones los fermentos orgánicos han probado su eficacia en el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo y, además, estimula el desarrollo de microorganismos benéficos, que inducen un mayor desarrollo radicular y la posibilidad de absorber agua y nutrientes que de otra forma no sería posible para el cultivo (Huitzacua, 2017). No obstante, como todos los productos orgánicos, el tiempo es fundamental para que el mejoramiento de las propiedades y microbiología del suelo, sean posibles y sostenidos. El objetivo de este trabajo fue evaluar las dos formas de nutrición del aguacatero, orgánico y mineral y su efecto en la productividad, rendimiento, tamaño de fruto, materia seca, nutrición foliar y disponibilidad nutricional en suelo, así como las propiedades microbianas de sostenibilidad del recurso suelo.

Materiales y Métodos

Se estableció un experimento en la localidad de El Mesón, municipio de Ziracuaretiro, Michoacán. El municipio de Ziracuaretiro se localiza geográficamente en la parte central del estado entre los paralelos 19° 25' y 19° 34' de Latitud Norte y los meridianos 101° 52' y 102° 01' de Longitud Oeste. Su cabecera municipal es Ziracuaretiro y se localiza en las coordenadas 19° 26' de Latitud Norte y 101° 55' de Longitud Oeste, a una altitud de 1380 m. Limita al norte con Tingambato, al este con Santa Clara, al sur con Taretan y al oeste con el municipio de Uruapan. Abarca una extensión territorial de 159.55 km². Presenta un clima semicálido (A(C)W2) subhúmedo con abundantes lluvias en verano y sin invierno definido. El rango de temperatura de 16 a 26°C y rango de precipitación de 1000-1200 mm. El suelo es franco-limoso con bastante material lítico que le confiere una gran porosidad, el pH de 6.8 y una salinidad de 0.45 dS/m. La huerta es comercial de cinco años, sembrada a 4.0 m entre árboles y 5.0 m entre hileras. Los tratamientos evaluados fueron, T1: aplicación de fertilizante orgánico el cual se constituye de fermentos orgánicos de origen animal y vegetal, un contenido garantizado de aminoácidos, macro y micronutrientes y ácidos orgánicos, nombre genérico residuos orgánicos fermentados; T2: fertilizante mineral soluble 12-24-12. Ambos tratamientos fueron aplicados en fertiriego de manera mensual T1 en dosis de 20 L/ha y T2 en la forma tradicional del productor en dosis de 100 L/ha de forma mensual.



Los tratamientos fueron aplicados durante los meses de octubre de 2020 a junio de 2021. El diseño experimental fueron dos bloques aleatorizados con 15 repeticiones donde cada árbol constó de una repetición. Las variables evaluadas fueron: 1. crecimiento de fruto, a partir de fruto perdigón (2.5 cm) se evaluó el tamaño de fruto de 15 frutos por árbol de las ramas marcadas su diámetro polar y ecuatorial. Al llegar a este punto se considera fruto “cuajado”. 2. Rendimiento y calidad de fruto, se efectuó la estimación del rendimiento del fruto en kg/árbol, evaluándose el número de frutos por árbol y pesando 24 frutos cortados al azar por árbol, se obtuvo el peso medio. No se observaron frutos dañados por roña o antracnosis (*Colletotrichum gloesporioides*). 3. Materia seca, una vez alcanzado los 80 mm de diámetro polar se evaluó el contenido de materia seca del fruto en 15 frutos por tratamiento el método utilizado fue el descrito por Escobar *et al.* (2019). 4. Nutrición foliar en el laboratorio del INIFAP en Uruapan, Michoacán, se determinó el contenido nutricional de los elementos químicos N, P, K, Ca, B, Zn en base a peso seco. Con estos valores se desarrolló el diagnóstico nutricional con la metodología de Kenworthy, descrita en Rodríguez *et al.* (2018) y para la interpretación se utilizaron los valores de referencia de Palacios (1986). 5. Análisis nutricional de Extracto Celular de Peciolo (ECP), se realizó en dos hojas limpias y sanas, maduras y en dos fechas de muestreo en diciembre de 2020 y febrero de 2021 de acuerdo con la metodología de Flores *et al.* (2021). Para determinar el contenido de N-NO₃ y K⁺ se utilizaron iónometros Horiba® modelo B-743 y B-731, respectivamente, en el caso del fósforo el sensor utilizado fue marca Hanna modelo HI-96706, en este caso se colocaron cinco gotas en el contenedor y se rellenó de agua destilada a 10 mL y se tomó la lectura del sensor. 6. La disponibilidad de nutrientes del suelo fue evaluada con muestras de solución de suelo utilizando tubos de succión y con los equipos portátiles ya referidos. 7. En ambos tratamientos se determinó la actividad biológica microbiana del suelo en la profundidad 0-10 cm de profundidad, como un indicador de sostenibilidad y mejoramiento de la calidad y estructura del suelo y en respuesta al manejo orgánico de la nutrición. La actividad biológica se determinó por el método del cloroformo seguida de incubación Mogollón y Martínez (2010). Los análisis estadísticos de las variables consideradas en los puntos anteriores se realizaron con SAS (Statistical Analysis System) versión 2007, para el diseño bloques al azar con diferente número de repeticiones dependiendo de la variable evaluada. Se efectuó prueba de medias con Tukey 5% para las variables consideradas.



Resultados y Discusión

Crecimiento de fruto

El aguacate sometido a dos tratamientos nutricionales no mostró diferencia estadística significativa en el diámetro polar del fruto (Figura 1), al final sólo existe una diferencia de 2.0 mm en el tamaño de fruto medio alcanzado por ambos tratamientos por lo que la nutrición orgánica puede ser factible de implementar para proporcionar un adecuado insumo nutricional para el aguacate. El crecimiento inicial es muy lento como se aprecia en la Figura 1 ya que la floración inició en agosto y tres meses después el fruto no alcanza el tamaño perdigón (>20 mm), el cual finalmente alcanza esa condición hasta diciembre, a partir de enero el crecimiento se hace exponencial llegando a alcanzar una tasa de crecimiento de 9 mm/mes mientras que el tratamiento orgánico la tasa es de 9.3 mm/mes. Si se considera que el fruto cuajado inicia a fines de noviembre, cuando el fruto alcanza 20 mm, entonces hay un periodo de ocho meses a cosecha, dicho periodo es similar al reportado por Cossio *et al.* (2008), pero con un promedio de temperatura menor, lo cual puede indicar una mayor precocidad a la obtenida en este estudio.

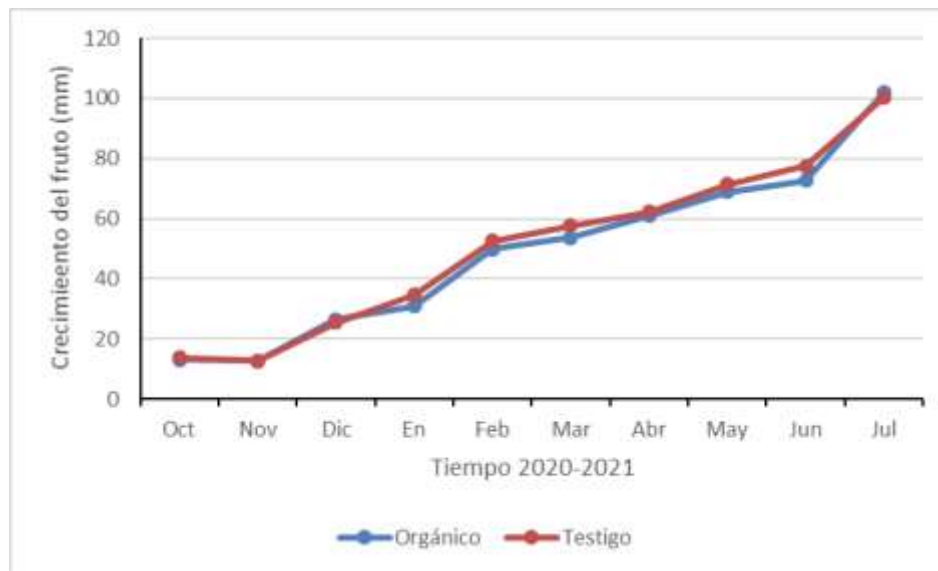


Figura 1. Crecimiento polar (mm) del fruto del aguacate bajo dos esquemas nutricionales.



Rendimiento de fruto

Una vez alcanzada la cantidad de materia seca de madurez de cosecha, fue factible evaluar la producción de fruto (Cuadro 1). Se observa que el tratamiento orgánico tuvo valores numéricos más altos en materia seca y peso de fruto, ello puede ser explicado porque tuvo menor rendimiento de fruto, pero al tener menos fruto, estos fueron más pesados y también con mayor contenido de materia seca. Sin embargo, excepto por la variable número de frutos, todas las demás variables no fueron estadísticamente significativas, lo cual, para este primer año de evaluación, parece ser que el producto orgánico es competitivo con la fertilización química y puede ser una buena alternativa ecológica para el productor. A pesar de que el tratamiento orgánico obtuvo 3.1 t/ha menos que el tratamiento químico, esta diferencia no fue significativa, pero comparando estos resultados con los reportados por Delfín *et al.* (2018), en rendimiento de aguacate orgánico en Michoacán, es de 10 t/ha mientras que en este trabajo se obtuvieron 7.6 t/ha más, lo cual indica que este fertilizante orgánico tiene buenas perspectivas para el desarrollo de una producción sostenible.

Cuadro 1. Variables del rendimiento de fruto y materia seca en aguacate bajo dos esquemas de manejo nutricional en aguacate Hass de Ziracuaretiro, Michoacán.

Tratamiento	Materia seca (%)	Peso fruto (g)	Número Frutos	Rendimiento	
				(kg/árbol)	(t/ha)
Orgánico	24.2	252.1	173.4 b	43.9	17.6
Químico	22.3	231.0	224.3 a	51.6	20.7
Tukey 5%	6.0	42.3	31.5	10.3	4.1

Balance nutricional

Los análisis químicos foliares determinados en el laboratorio revelaron un buen contenido de los elementos químicos analizados de ambos tratamientos, por lo que, al realizar el balance nutricional, se puede apreciar un buen índice de balance y de equilibrio en ambos tratamientos, tanto el orgánico como el convencional o químico (Figura 2). Los diferentes elementos químicos, aunque no tienen una respuesta uniforme en el índice de balance, si se aprecia que de todos los elementos el potasio es el que presenta los valores más bajos mientras que en general, la nutrición orgánica en todos los elementos nutritivos contiene menores índices de balance que el manejo químico. Sin embargo, Astier y Massera



(2014), mencionan que el manejo orgánico requiere menores consumos de energía fósil, sobre todo al producir los fertilizantes, lo que a largo plazo es más sustentable.

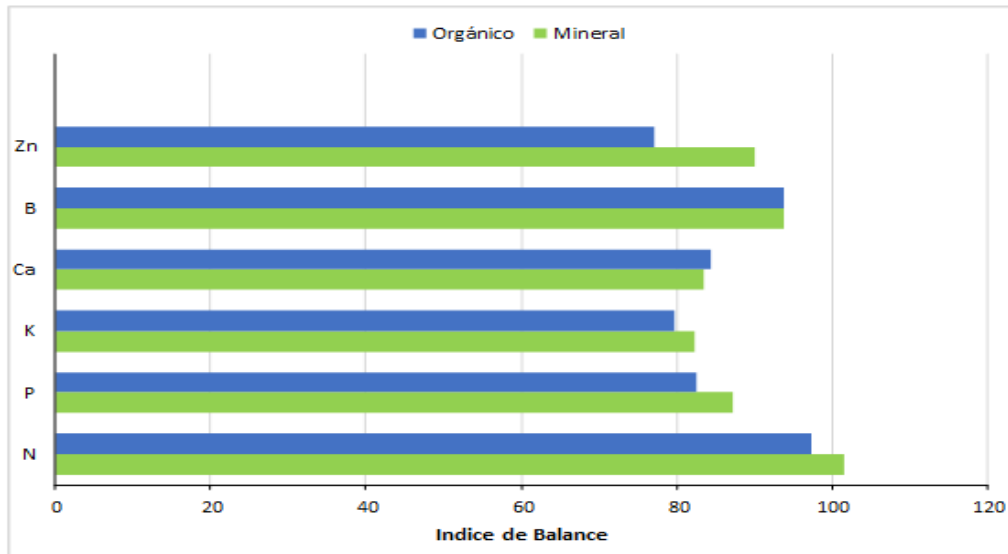


Figura 2. Índice de balance nutricional de aguacate con manejo nutricional orgánico y químico.

Extracto Celular de Peciolo

Los análisis *in situ* realizados mediante la técnica de extracto celular de peciolo (ECP) en aguacate, revelaron que aunque de manera regular, durante los meses de octubre y enero los valores de N-NO₃, P y K fueron más altos en el tratamiento mineral, estos no fueron significativos por lo que se puede argumentar que el tratamiento orgánico proporciona similar estado nutricional en ECP que el tratamiento químico, sin embargo, en mayo de 2021, el tratamiento químico proporcionó mejor condición nutricional en N-NO₃ y K que el orgánico, lo cual pudo suceder debido a la condición sumidero de nutrientes por el acelerado crecimiento del fruto y que el tratamiento químico si es capaz de suministrar mientras que el orgánico no puede cumplir con esta demanda. Este efecto fue observado por Silber *et al.* (2018), quienes observaron que el fruto de aguacate es altamente demandante de algunos nutrientes como nitrógeno en la etapa de mayor crecimiento y en “cuajado” de fruto. A pesar de ello, las diferencias no son tan severas como cabría esperarse y causar serias reducciones del rendimiento de fruto o de su calidad



Cuadro 2. Comparación de medias de las variables de extracto celular de peciolo (2020-2021), en dos tratamientos nutricionales de aguacate en El Mesón, Ziracuaretiro, Michoacán.

Variable	Octubre			Enero			Mayo		
	N-NO ₃	P	K	N-NO ₃	P	K	N-NO ₃	P	K
Orgánico	206	0.42	2450	198	0.44	2275	205b	0.38	2175b
Testigo	302	0.54	2850	223	0.47	2350	270a	0.47	2725a
Tukey 5%	106	0.53	650	104	0.3	835	59	0.30	494

Disponibilidad de nutrientes en solución del suelo

Los resultados obtenidos a esta actividad, análisis químico *in situ*, que complementa el estudio de ECP fue también efectuado en este experimento. En general tanto el pH como la conductividad eléctrica son muy semejantes en ambos manejos de la nutrición, aunque con valores un poco más bajos en el tratamiento químico en comparación al orgánico. En relación con los nutrientes, salvo por el fósforo, las diferencias encontradas en los nutrientes N-NO₃ y K, son marcadamente contrastantes e inconsistentes en todos los meses de muestreo, esto se refleja en los valores promedio pues existen valores más altos en ambos nutrientes, con una diferencia de 5.3 y 25.6%, respectivamente. Lo anterior no ocurre en el caso del fósforo pues el tratamiento orgánico presentó un valor más alto que el convencional en un 31%.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables de disponibilidad nutricional (2020-2021), de la solución del suelo en aguacate bajo nutrición orgánica en El Mesón, Ziracuaretiro, Michoacán.

Variable	Septiembre		Diciembre		Marzo		Junio		Promedio	
	Org	Test	Org	Test	Org	Test	Org	Test	Org	Test
pH	7.3	7.8	7.7	7.9	7.4	8.0	7.1	7.0	7.4	7.7
Salinidad (dS/m)	0.49	0.62	0.68	0.65	0.69	0.68	0.49	0.87	0.59	0.71
N-NO ₃ (ppm)	204	132	118	113	174	177	307	425	200	211
P (ppm)	0.41	0.35	1.7	2.4	4.7	1.9	0.41	0.36	1.81	1.25
K (ppm)	114	182	117	195	157	90.2	44.5	98.0	108	141



Biomasa microbiana

En esta variable que es un reflejo de mejores condiciones de sostenibilidad del recurso suelo, se observa en la Figura 3 que, en las dos fechas de muestreo, la actividad microbiana es mayor en el tratamiento orgánico que en el convencional, con diferencias sustanciales de más de 40 mg/kg de suelo en el muestreo de diciembre y más de 60 mg/kg de suelo de biomasa microbiana. Estos valores podrían incrementarse en el tiempo con el tratamiento orgánico, mientras que en el convencional podría reducirse. Este efecto es factible porque el proceso de mineralización reduce la actividad de la biomasa microbiana y reduce su población como argumenta Ferreira y Wanderley (2010), quienes reportan que, solo el mantenimiento de las prácticas de manejo orgánico del suelo puede mantener altas poblaciones de esta variable de manera estable o incrementada.

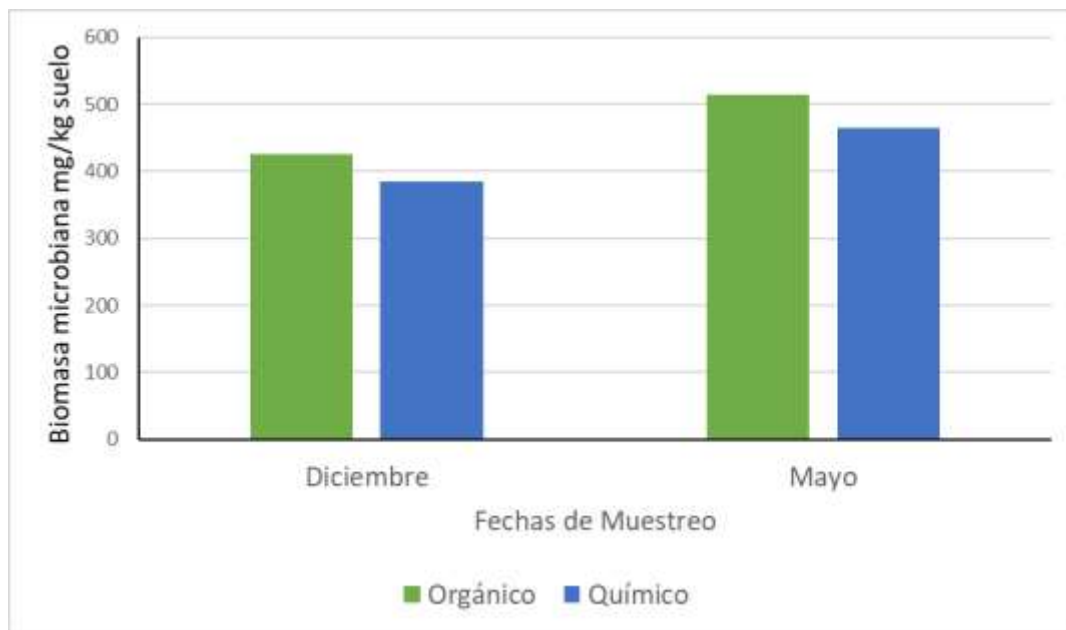


Figura 3. Actividad microbiana del suelo del aguacatero en dos condiciones de manejo nutricional.

Conclusiones

El manejo orgánico nutricional permite considerar que el cultivo del aguacate presenta un desempeño semejante al obtenido con el manejo nutricional químico, la productividad del cultivo no se reduce de manera significativa, ni la tasa de crecimiento de fruto, el tamaño de fruto es semejante, así como la



condición nutricional tanto en base a peso seco como en extracto celular de peciolo. También la disponibilidad nutricional del suelo es de un funcionamiento idéntico y los contenidos de materia seca en fruto se mejoran, así como la actividad microbiana del suelo, por lo que la alternativa de manejo nutricional orgánico es factible de implementar sin afectar la productividad del cultivo del aguacate.

Literatura Citada

- Astier, M. and O. R. Masera. 2014. Energy balance and greenhouse gas emissions in organic and conventional avocado orchards in Mexico. *Ecol. Indic.* 43(8):281-287.
- CEDRSSA, (Comisión de Estudios para el desarrollo Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2019. Reporte Caso de Exportación: el Aguacate. Palacio Legislativo. Cd. De México. 31 p.
- Cossio, V. E., S. Salazar G., J. L. González D. y R. Medina T. 2008. Fenología del aguacate Hass en el clima semicálido de Nayarit, México. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 14(3):319-324.
- Delfín, O. O., J. Banales V. y C. C. Rocha M. 2018. Competitividad internacional del aguacate orgánico en Michoacán, un estudio basado en la metodología Partial Least Squares. *Rev. Nicolaita Est. Econ.* 13(1):119-123.
- Escobar, V.J., P. Rodríguez, M. Cortés y G. Correa. 2019. Influencia de la Materia Seca como índice de madurez de cosecha y tiempo de almacenamiento en frío sobre la calidad del aguacate cv. Hass producido en la región del trópico alto. *Inf. Tecnol.* 30(3):199-210.
- Ferreira, A. S. and J. M. Wanderley. 2010. Soil microbial biomass in organic farming soils. *Soil Sci. Cienc. Rural* 40(11). <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000192>.
- Flores, B. E., M. Sandoval V., M. Guzmán M., M. Espinoza R., M. Vázquez V. y J. Sabino, L. 2021. Estado nutrimental en el extracto celular de peciolo y hojas de genotipos de jamaica. *Ecosist. Rec. Agrop.* II:1-10.



- Huitzacua, V. C. 2017. Evaluación de fertilizantes orgánicos y su efecto en la nutrición y desarrollo del aguacate. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Mich., México. 75 p.
- Mogollón, J. P., D. Torres y A. Martínez. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22(3):217-222.
- Palacios, A. J. M. 1986. Dinámica y balance nutrimental en árboles de aguacate cv Hass con alto y bajo rendimiento en la región de Uruapan, Mich. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 110 p.
- Rodríguez, P. E., J. S. Gutiérrez D. y J. O. Orduz R. 2018. Diagnostico nutricional del cultivo de la lima ácida Tahití [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] en el departamento del Tolima (Colombia). *Temas Agrarios* 23(2):144-153.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Aguacate. Subsecretaría de Agricultura. México, D.F. 16 p.
- SIAP. (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria). 2020. Secretaría de Agricultura. Información Agrícola por Cultivo. www.siap.gob.mx [consultado el 12 de junio de 2022].
- Silber, A., A. Naor, H. Cohen, Y. Bar-Noy, N. Yechieli, M. Levi, *et al.* 2018. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Sci. Hortic.* 241:231-240.
- Solorio, L. 2015. Modelo de Comercialización del Aguacate Orgánico. En la Región de Uruapan; Michoacán de Ocampo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. D. F., México. 115 p.



Tapia, V. L. M., A. Larios G., J. Anguiano C., I. Vidales F. y V. L. Barradas. 2012. Lixiviación de nitratos en dos sistemas de manejo nutricional y de agua en aguacate de Michoacán. *Rev. Int. Contam. Amb.* 3(28):251-258.

Villalba, M. A., A. Damián N., V. A. González H., O. Talavera M., E. Hernández C., F. Palemón A., *et al.* 2015. Nutrición química y orgánica en aguacate Hass en Filo de Caballos, Guerrero, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11:2169-2176.



RESPUESTA A LA INFECCIÓN DE *Hemileia vastatrix* EN PLANTAS DE *Coffea arabica* var. SARCHIMOR T5296

Edgar Couttolenc Brenis^{177*}, Marco Antonio Toral Juárez¹⁷⁷, Rosalio López Morgado¹⁷⁷ y Jesus Parroquín Perez¹⁷⁷

Resumen

La identificación de plantas de café con resistencia a *Hemileia vastatrix* es la base para el desarrollo de variedades que presente esta característica. Para esto, es importante considerar la presencia de esporas en las lesiones que aparecen en la hoja, ya que este es el indicador de la ruptura de la resistencia. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue identificar dentro de un lote del cultivar Sarchimor T5296 las plantas que tuvieran el mayor grado de resistencia a este patógeno considerando la presencia de esporulación en las pústulas como indicador. El lote está conformado por 60 plantas, y en cada una de estas se contabilizó el número de hojas con síntomas de la rama plagiotrópica de mayor longitud del tercio medio de la planta. Las variables que se evaluaron fueron: número de hojas totales, hojas con síntomas, porcentaje de área foliar dañado, número de pústulas por hoja y número de pústulas con esporulación. Con estos datos se estimó el índice de incidencia (IR), la severidad y el índice de resistencia (IRs). En lo que se refiere a la Incidencia, todas las plantas presentaron síntomas, los valores IR mínimo y máximo fueron de 7.1 y 35.2 respectivamente. En cuanto a la severidad expresada como el porcentaje del área foliar dañada fue desde uno hasta 33%. El IRs, que considera la proporción de esporas en relación a la proporción de hojas enfermas, fluctuó entre 0.02 a 0.18. Considerando este último índice como un indicador de resistencia, de las sesenta plantas evaluadas, la 43, 38, 33, 32, 22, 25 y 8 tienen el mayor potencial de ser utilizadas en la obtención de una variedad ya que presentaron el menor IRs (0.02) lo que sería un indicador de una resistencia horizontal (no específica o poligénica).

Palabras clave: incidencia, severidad, índice de resistencia

¹⁷⁷ INIFAP, CIR-Golfo Centro-Campo Experimental Cotaxtla/S.E. Teocelo. *Autor por correspondencia: couttolenc.edgar@inifap.gob.mx



Introducción

Un aspecto importante en la selección de nuevas líneas avanzadas para la generación de variedades de café (*Coffea arabica*) es la cuantificación de la resistencia que presentan al ataque de *Hemileia vastatrix* (Cardoso *et al.*, 2016). Por eso, según la intensidad de los síntomas en las plantas, las variedades se pueden clasificar en altamente resistentes, moderadamente resistentes, débilmente resistentes, susceptibles y altamente susceptibles (Sera *et al.*, 2022).

La intensidad de la infección se estima midiendo la incidencia y severidad. La incidencia se mide como la proporción de plantas u órganos (hoja, raíz, ramas, etc.) dañados en relación al total de la muestra que se evalúa en el monitoreo epidemiológico. Y la severidad se estima mediante la proporción del tejido que ha sido afectado por la enfermedad por lo que depende del número de lesiones y el tamaño de las mismas (Kranz, 1988).

Dependiendo del tipo de enfermedad y los objetivos del monitoreo epidemiológico se puede utilizar la incidencia o la severidad como variable indicadora del grado de resistencia que presente una variedad. Kranz (1988), sugiere que en el caso de enfermedades causadas por hongos biotrófos, como las royas, los mildiús, mohos, entre otros, se use la severidad como referencia del grado de intensidad de la infección. Por lo que se han desarrollado diferentes metodologías para evaluar la severidad en los cultivos de mayor interés.

Sauceda-Acosta *et al.* (2015) desarrollo un método para medir la severidad del ataque de *Puccinia triticina* en trigo mediante la utilización de imágenes digitales. De igual forma en el caso del café se han desarrollado metodologías con el uso de programas para el procesamiento de imágenes que estiman el área foliar dañada (Couttolenc-Brenis *et al.*, 2021; Figueiredo *et al.*, 2022). Además de que se han desarrollado escalas visuales para que sean utilizadas directamente en campo para evaluar la severidad de la infección (López *et al.*, 2018; Julca *et al.*, 2019; Figueiredo *et al.*, 2022). Estas últimas tienen la limitación de que los valores pueden ser sobre estimados o subestimados ya que depende de la agudeza visual del evaluador (López *et al.*, 2018).

Sin embargo, en el caso de la identificación y evaluación de la resistencia a *H. vastatrix* la severidad con fines de seleccionar individuos o líneas para la obtención de nuevos materiales no se puede evaluar solo como la proporción del tejido dañado en la planta, ya que el grado de resistencia de los materiales se identifica por la presencia de esporas en las lesiones foliares (Eskes y Da Costa, 1983; Botelho *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018). Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la



respuesta de las plantas que forman el lote del cultivar Sarchimor T5296 en el jardín de variedades del S.E. Teocelo para identificar individuos que puedan ser utilizados en el desarrollo de nuevas variedades con resistencia a la Roya (*H. vastatrix*) tomando en cuenta la presencia de esporas para estimar un índice de resistencia (IRs).

Materiales y Métodos

Localización

La evaluación del ataque por *H. vastatrix* se realizó en el jardín de variedades resistentes a la roya, el cual forma parte del banco de germoplasma de café que se ubica en el S. E. Teocelo (Figura 1). Este sitio se encuentra ubicado en el municipio de Teocelo en el estado de Veracruz, con latitud norte de 19°23'34.1" y longitud oeste 97°00'03.5", a 1,250 m.s.n.m. La precipitación pluvial anual es de 2,063 mm, la temperatura promedio de 20°C, con una máxima media de 25°C y mínima media de 14°C; los suelos son derivados de cenizas volcánicas de tipo andosol.

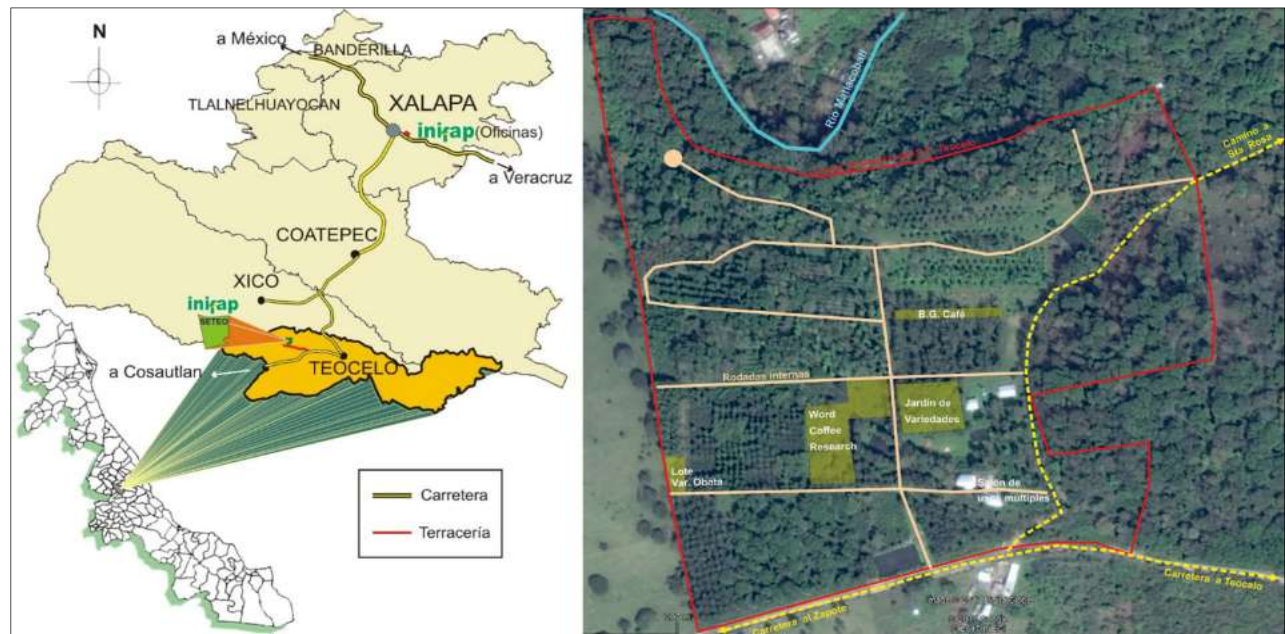


Figura 1. Localización del Sitio Experimental Teocelo.

Material vegetativo

El monitoreo de la infección se realizó en un lote de 60 plantas de la var Sarchimor T5296. Este material se generó de la cruce del Híbrido de Timor CIFC 832/2 x Villa Sarchi 971/10 realizada en 1959 en el Centro de Investigaciones de la Roca de Café (World Coffee Research, 2019). La semilla certificada se trajo de la finca Los Cafetalones en San Juan Acotenango, Guatemala en el año 2016 y la plantación se estableció en julio de 2017 como parte del proyecto “Estrategia para fortalecer centros estatales de innovación e impulsar la productividad y calidad del café mexicano, bajo el convenio. INIFAP y la AMECAFE.”

Monitoreo de *Hemileia vastatrix*

Se realizó seleccionando la rama plagiotrófica de mayor longitud del tercio medio de cada planta. En esta rama se contaron el número de hojas totales y el número de hojas infectadas para estimar el índice de incidencia (IR). Se contaron, el número de pústulas por hoja enferma y con una lupa de joyero de 10X 21mm se observó la presencia de esporas para contar el número de pústulas con esporulación. El porcentaje de área foliar dañada se estimó utilizando la escala propuesta por López *et al.* (2018), Figura 2 y los datos se transformaron con la función arcoseno y se realizó un análisis de varianza para esta variable con el programa estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.*, 2011).

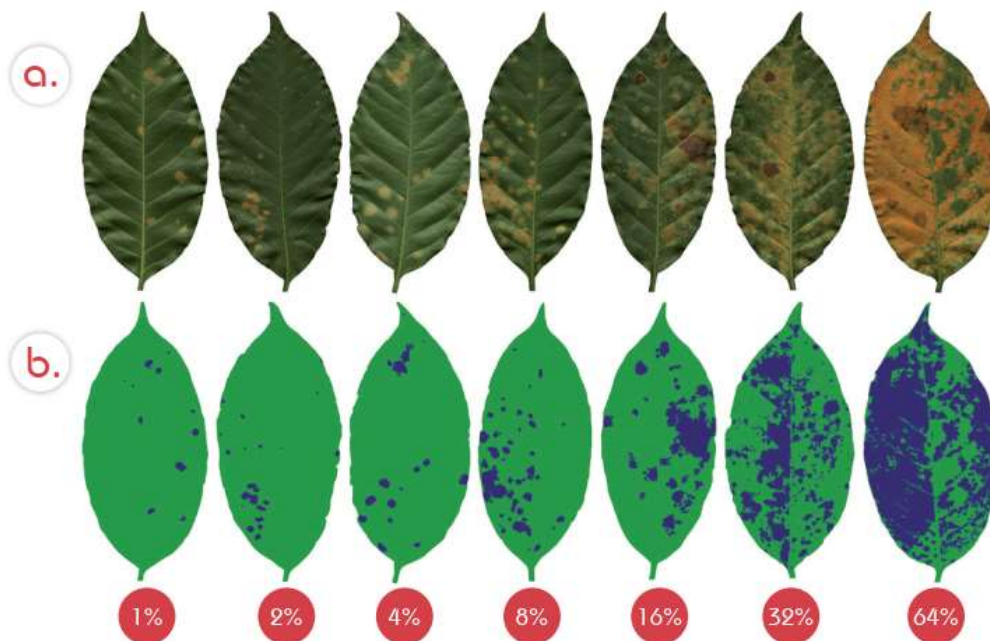


Figura 2. Escala de evaluación visual para la severidad de *H. vastatrix* diseñada por López *et al.* (2018).



Estimación del índice de incidencia y el índice de severidad

Con los datos de las variables registradas en el monitoreo se calculó el índice de incidencia (IR) propuesto por Alvarado *et al.* (2009), que se obtiene de siguiente manera:

$$IR = (NHI/NHT) / 100$$

Donde;

IR= Índice de incidencia

NHI = Número de hojas infectadas

NHT = Número de hojas totales de la planta

Tradicionalmente la severidad se evalúa considerando el área afectada por el patógeno. Sin embargo, para evaluar el nivel de resistencia de los cultivares de *C. arabica* a *H. vastatrix* es necesario considerar la presencia de esporas en las pústulas (Sera *et al.*, 2022). Por lo que, para estimar el grado de resistencia que tienen las plantas al patógeno se generó un índice de resistencia (IRs) que considera la proporción de pústulas con esporulación en relación a la proporción de hojas infectadas, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$IRs = PS \cdot NHI / PT \cdot NHT$$

Donde:

IRs= Índice de resistencia

PS= Pústulas con esporulación

PT= Pústulas totales

NHI= Número de hojas infectadas

NHT= Número de hojas totales

Este índice considera la presencia de esporas en las pústulas en relación a la incidencia como factor determinante para evaluar el nivel de resistencia que tiene una planta a la infección de *H. vastatrix* (Esques y Da Costa, 1983; Lima *et al.*, 2018; Sera *et al.*, 2022). El índice tiene un rango de valores de 0 a 1, donde los valores cercanos a cero indican un mayor nivel de resistencia y los valores cercanos a uno un mayor nivel de susceptibilidad.



Resultados y Discusión

Todas las plantas presentaron pústulas ocasionadas por *H. vastatrix*, de igual manera se registró la presencia de esporulación en el total de la población de cafetos evaluada, como se ha reportado en las evaluaciones hechas en Guatemala en Marsellesa (Morales *et al.*, 2019), variedad que se originó del Sarchimor T5296. En cuanto a la incidencia el valor medio del índice IR fue de 13.71. Además, se pudo observar que 17 de las 60 plantas tuvieron valores menores o iguales a 10 siendo 7.14 el menor valor, registrado en dos plantas (Figura 3).

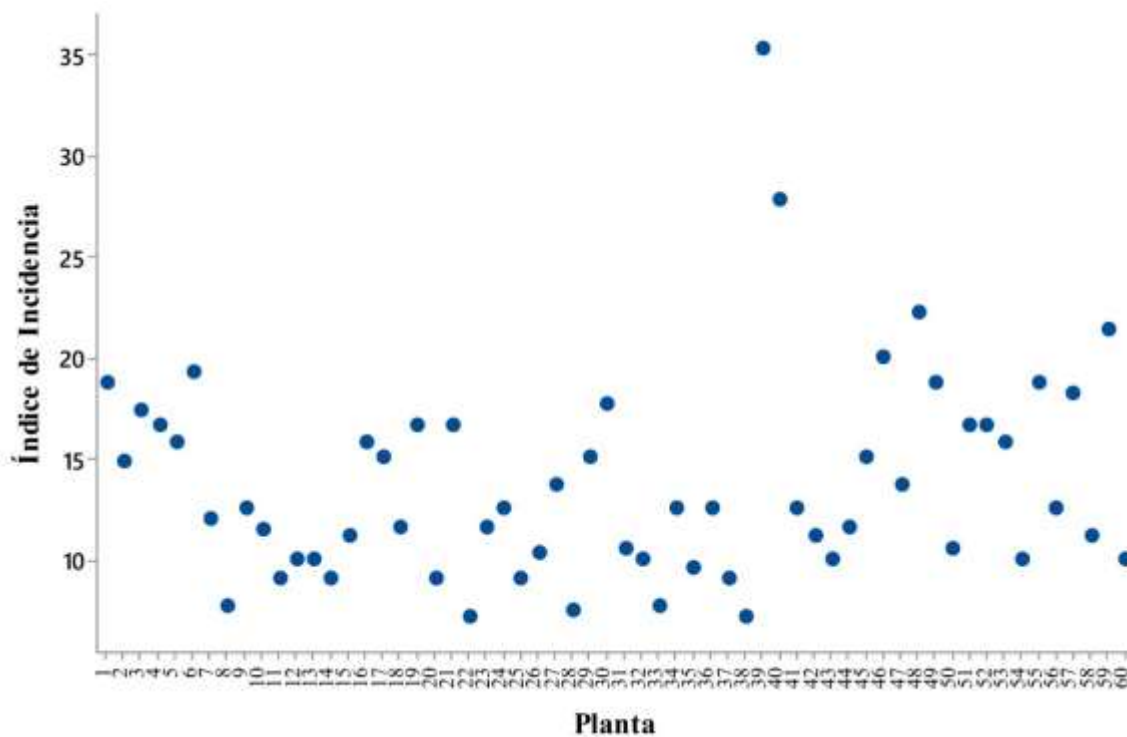


Figura 3. Distribución del índice de incidencia (IR) estimado en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv Sarchimor T 5296.

En comparación con la evaluación de progenies obtenidas de la cruce de líneas de Catuaí x Icatu hecha por Lima *et al.* (2018) las plantas 22, 38, 28, 8 y 33 se catalogan con baja incidencia mientras que la 39 y 40 serían las que presentarían una alta incidencia ($IR > 25$). Otro cultivar donde también se ha registrado incidencia de roya es el Catimor Oro Azteca, en México, donde las plantas mostraron un IR promedio de 5.73 (Couttolenc-Brenis *et al.*, 2019). Esto también ha sido reportado para los cultivares Costa Rica 95 (IR de 3.5), Colombia (IR de 1.5) y Catimor (IR de 0.5) en Perú (Julca-Otiniano *et al.*,



2018). Botelho *et al.* (2010) al evaluar las progenies de la cruza entre líneas de Catimor x Icatu también identifico que todos los materiales presentaban incidencia, siendo la menor IR de 2.2 y el mayor de 49.2. Por lo que, el comportamiento de Sarchimor T5296 muestra similitudes con otros cultivares que se han desarrollado con resistencia a *H. vastatrix*.

En cuanto al nivel de severidad considerando el promedio del área foliar dañada por planta se observaron diferencias significativas ($p < 0.002$) entre las plantas que se monitorearon. El máximo valor que se registro fue de 33.6% en una sola planta de las 60 que se consideraron en la evaluación de este cultivar. En el otro extremo 12 plantas registraron menos de 5% de área foliar dañada, destacando las plantas 31, 22 y 20 por presentar menos del 2.5% de daño foliar. El valor promedio de la población fue de 8.9% (Figura 4). En este sentido la población estudiada de Sarchimor T5296 en general se comporta con una respuesta intermedia a la infección a la roya y las plantas con un daño menor a 2.5% se consideran con un nivel de resistencia alto de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de progenies hechas en Brasil para el desarrollo de nuevas variedades (Botelho *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018)

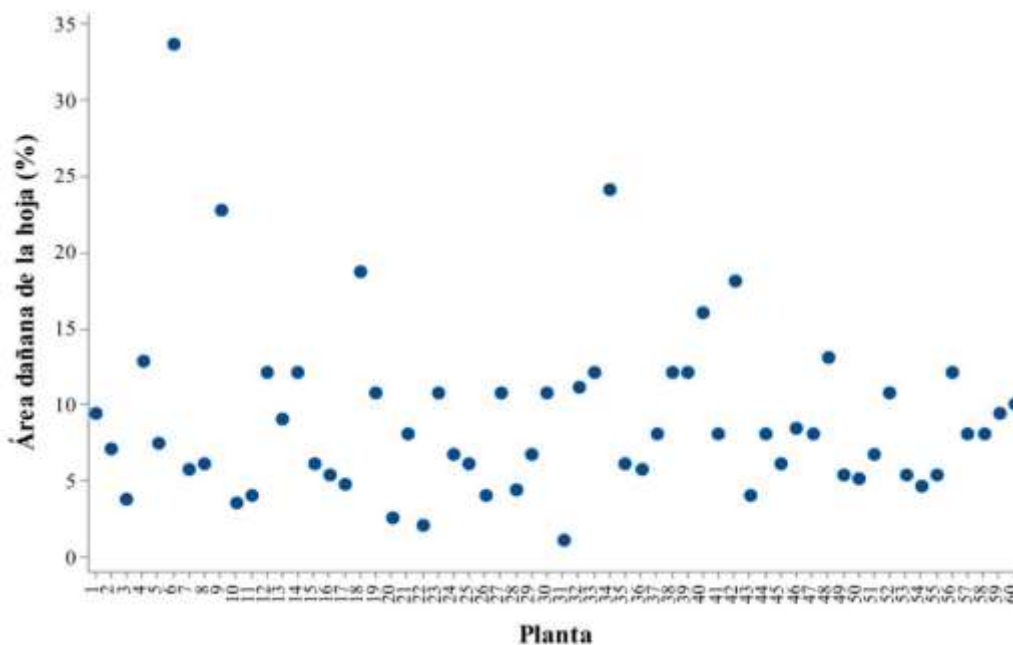


Figura 4. Distribución del daño foliar, expresado en porcentaje de la hoja dañada, en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv Sarchimor T 5296.



Considerando lo que mencionan Cardoso *et al.* (2016) y Lima *et al.* (2018) con respecto a las progenies de la cruce de líneas de Icatu x Catuaí y Botelho *et al.* (2010) en cruces de Icatu x Catimor que presentaron el menor índice de incidencia y de severidad, las plantas 43, 38, 33, 32, 22, 25 y 8 pudieran ser seleccionados como materiales con resistencia no específica o poligénica. Además, el índice de resistencia (IRs), propuesto en el presente trabajo, en las plantas 43, 38, 33, 32, 22, 25 y 8 presentan valores iguales a 0.02, siendo el promedio de la población 0.055, con un valor máximo de 0.18 en una sola planta (Figura 5), por lo que, estas plantas serían los materiales que presentan el mayor grado de resistencia de la población estudiada. Ya que, este índice busca agrupar en un solo algoritmo las variables de mayor peso en la evaluación de los materiales utilizados en los programas de mejoramiento genético (Botelho *et al.*, 2010; Cardoso *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2018; Malau, 2020).

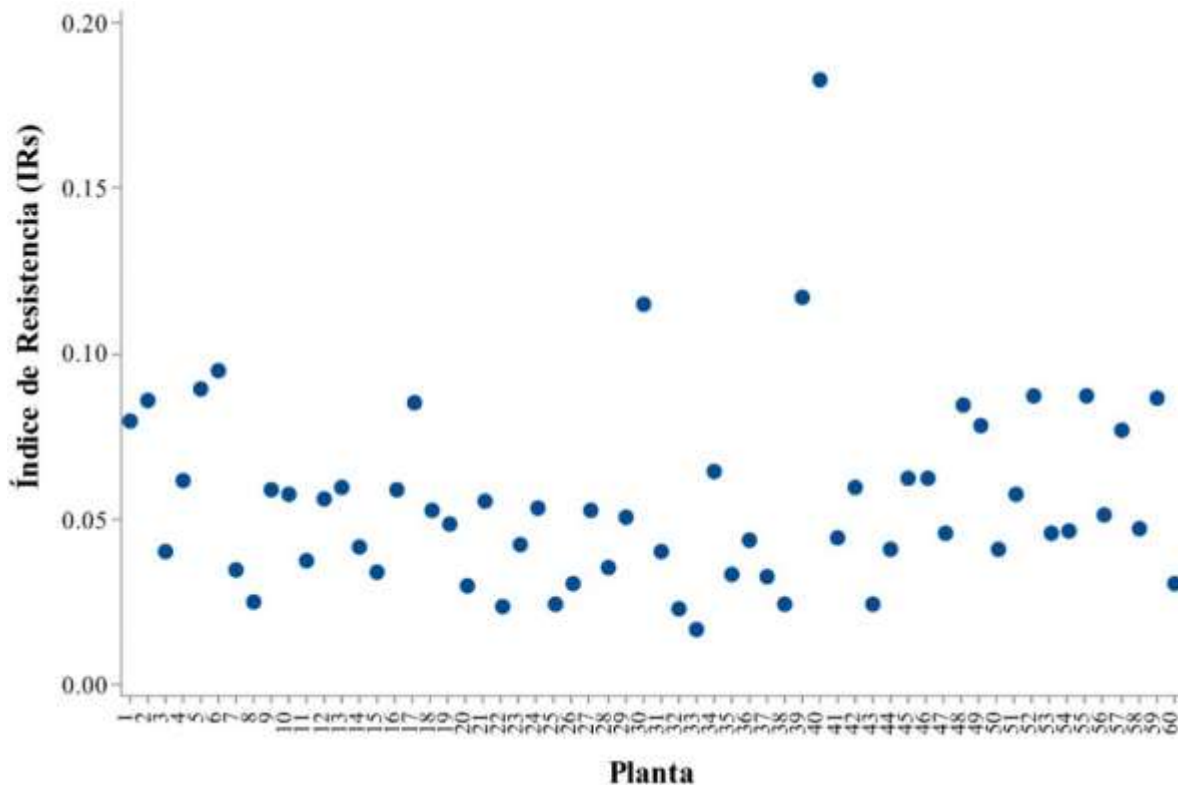


Figura 5. Distribución del índice de severidad (IS) estimado en la población de 60 plantas de *C. arabica* cv Sarchimor T 5296.



Conclusiones

La evaluación de la infección de *H. vastatrix* en la plantación del cultivar de *C. arabica* Sarchimor T5296 mostro que el patógeno está venciendo la resistencia vertical. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en las respuestas de cada individuo de esta población. Lo que permitió, identificar aquellos individuos que pueden ser utilizados para el desarrollo de cultivares derivados de esta línea de Sarchimor con resistencia horizontal (no específica o poligénica).

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el apoyo del proyecto “Conservación de Recursos Genéticos de Café” de fondos fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, No. SIGI 154015202. Se hace un reconocimiento al trabajo de mantenimiento del área experimental realizado por el personal operativo del S.E. Teocelo coordinados por el Técnico José Benigno Saúl Alarcón López.

Literatura Citada

- Botelho, C. E., A. N. G. Mendes, G. R. Carvalho, G. F. Bartholo y S. P. Carvalho. 2010. Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. *Revista Ceres* 57:274-281.
- Cardoso, D. A., A. N. G. Mendes, A. M. Carvalho, A. E. Lima, C. E. Botelho, G. R. Carvalho, *et al.* 2016. Seleção de progênies F4 oriundas do cruzamento icatu e catuaí amarelo com resistência à ferrugem. *Coffee Sci.* 11(4):555-566. Recuperado de <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/1183>. [consultado el 31 Jul 2023].



- Couttolenc-Brenis, E., G. Carrión, L. Villain, F. Ortega-Escalona, M. Mata-Rosas and A Méndez-Bravo. 2021. Defense Response to *Hemileia vastatrix* in Susceptible Grafts onto Resistant Rootstock of *Coffea arabica* L. *Agronomy* 11(8):1621.
- Couttolenc-Brenis, E., M. Mata-Rosas, A. Méndez-Bravo, L. Villain y G. Carrion. 2019. Cambios en la severidad de la infección de roya en planta injertada de café arábica. p. 549-557. *In: Vinay-Vadillo J. C., Esqueda-Esquivel V. A., Tosquy-Valle O. H., Rios-Utrera A., Zetina-Lezama R., del Angel P. A. L. y Perdomo M. (eds.). Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático. INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV, TecNM. Medellín, Ver., México.*
- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. 2011. InfoStat [Windows 10]. Universidad Nacional de Córdoba.
- Eskes, A. B. and W. M. Da Costa. 1983. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population. *Euphytica* 32(2):649-657.
- Figueiredo, Y. F., J. M. Oliveira, K. A. Almeida, P. de Fátima P., L. A. Pedroso, M. de Resende F. G., *et al.* 2022. Coffee leaf rust assessment: Comparison and validation of diagrammatic scales for *Coffea arabica*. *Eur. J. Plant Pathol.* 164(3):411-427.
- Julca-Otiniano, A., R. Borjas-Ventura, L. Alvarado-Huamán, N. Julca-Vera, V. Castro-Cepero y S. Bello-Amez. 2019. Relación entre la incidencia y la severidad de la roya del café (*Hemileia vastatrix*) en San Ramón, Chanchamayo, Perú. *J. Sci. Res.* 4(4):1-9. Recuperado de <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/706>. [consultado 21 julio de 2023].
- Julca-Otiniano, A., G. Alarcón-Águila, L. Alvarado-Huamán, R. Borjas-Ventura y V. Castro-Cepero. 2018. Comportamiento de tres cultivares de café (catimor, colombia y costa rica 95) en el valle del perené, Junín, Perú. *Chil. J. Agric. Anim. Sci.* 34(3):205-215.



- Kranz, J. 1988. Measuring Plant Disease. *In*: Kranz J. and Rotem J. (eds.). p. 35-50. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-95534-1_4.
- Lima, A. E., H. G. S. Junior, E. Castro M., S. P. Carvalho, F. F. da Silva, S. Júnior L., *et al.* 2018. Incidence and severity of coffee leaf rust, cercosporiosis and coffee leaf miner in coffee progenies. *Coffee Sci.* 13(3):349-355.
- López, J. M., G. Marín-Ramírez, A. Gaitán y C. A. Ángel. 2018. Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. *Avances Técnicos* 498:1-8. Recuperado de <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/4244> [Consultado el 24 de julio 2023].
- Malau, S. 2020. Genotypic and Phenotypic Correlations between Leaf-Rust Disease and Leaf Morphology and its Ratio in *Arabica Coffee*. *J. Ilmu Pertanian Indon.* 25(3):468-477.
- Morales-Alas, S. M., J. L. Monterroso, R. C. Rodas-Rodríguez, A. E. L. González, L. Estuardo-Cordon, P. Morales-Mijangos, *et al.* 2019. Monitoreo de la roya en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. en las siete regiones de Guatemala. CEDICAFÉ. Recuperado de: <https://www.anacafe.org/uploads/file/4560ebe3898348a09fe81e96142f533b/BoletinEspecial-MonitoreoRoya-Marzo-2019.pdf>. [consultado el 21 de julio 2023].
- Sauceda-Acosta, C. P., G. A. Lugo-García, H. E. Villaseñor-Mir, L. Partida-Ruvalcaba y A. Reyes-Olivas. 2015. Un método preciso para medir severidad de roya de la hoja (*Puccinia triticina* Eriksson) en trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(4):427-434.
- Sera, G. H., C. H. S. de Carvalho, J. C. de Rezende A., E. A. Pozza, J. B. Matiello, S. R. de Almeida, *et al.* 2022. Coffee Leaf Rust in Brazil: Historical Events, Current Situation, and Control Measures. *Agronomy* 12(2):496.
- World Coffee Research. 2019. Las variedades del café arábica (3a ed.). Portland, Oregon: World Coffee Research.



SISTEMA DE MANEJO Y SELECCIÓN MASAL EN UNA POBLACIÓN DE MAÍZ NATIVO DEL TOTONACAPAN

Eloy Meneses Márquez¹⁷⁸, Isaac Meneses Márquez^{179*}, Enedina Sánchez González¹⁷⁸, Juan Manuel García Toral¹⁷⁸, Santiago Domínguez Monge¹⁸⁰ y Rosi Edith Santes Olmedo¹⁷⁸

Resumen

El trabajo tuvo como objetivos comparar los sistemas de producción convencional y agroecológica en una población de maíz nativo de la zona del llano alto del Totonacapan; y determinar la ganancia genética en algunas características de mazorca y grano de una población de maíz nativo de la zona del llano alto del Totonacapan. El estudio se realizó en la comunidad de La Reforma-Paso del Correo, Papantla Veracruz, en las parcelas demostrativa y testigo de Álvaro Pérez Santiago, productor asociado a la Escuela de Campo de la Estrategia de Acompañamiento Técnico, del programa Producción para el Bienestar de la Región 18 Totonacapan. Para el manejo agroecológico, se usaron bioinsumos para la nutrición, acondicionamiento de suelos, control de plagas y enfermedades, se inoculó la semilla con micorriza, se usaron trampas con feromonas atrayentes a la palomilla macho del gusano cogollero y la selección masal visual estratificada (SMVE). Los bioinsumos aplicados fueron elaborados principalmente de forma artesanal en las Escuelas de Campo con insumos locales y de fácil obtención. Cuando se implementó el manejo agroecológico el efecto en el ciclo siguiente fue inmediato. Para el ciclo productivo O-I 2022/23 el rendimiento de grano con el manejo agroecológico se incrementó en aproximadamente 300 kg, lo cual representa un ingreso económico de cerca de \$2,000 por hectárea. La selección masal visual estratificada que se ha llevado a cabo en los ciclos productivos O-I 2021/22 y PV 2022 propició ganancias genéticas favorables en características cuantitativas de mazorca y grano. En ese sentido la ganancia en peso de mazorca ha sido de 12 g por efecto de la SMVE en la población de maíz nativo. Al cabo de dos ciclos la ganancia en el peso de grano por mazorca es de aproximadamente 4 g, similar para el peso de cien granos, cuya ganancia fue de 5 g.

¹⁷⁸ Técnico del Programa Producción para el Bienestar-Ruta 18. SADER.

¹⁷⁹ Investigador del Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. *Autor por correspondencia: meneses.isaac@inifap.gob.mx

¹⁸⁰ Investigador del Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP.



Palabras clave: población criolla, ganancia genética, agricultura sustentable

Introducción

En México el cultivo de maíz es el más importante por su superficie sembrada, valor de la producción, por ser el alimento principal de la población y por ocupar el 20% de la población económicamente activa; aporta el 59% de la energía y el 39% de la proteína que se consume en nuestro país. Datos obtenidos del Sistema de Información Agroalimentario y Pesca señala que la producción de granos a nivel nacional fue de 26.5 millones de toneladas, siendo a nivel nacional el estado de Sinaloa el principal estado productor de granos con el 20% de la producción. Durante el periodo del 2018 al 2021, la producción nacional de maíz ha tenido un crecimiento de 1.2%, lo cual equivale a un total de 27.5 millones de toneladas de maíz (FAOSTAT, 2023).

México es uno de los países donde la agricultura está en proceso de transición agroecológica y uno de los países que está adoptando practicas amigables con el medio ambiente, como respuesta a la mayor demanda de alimentos libres de pesticidas.

Por otro lado, las cambiantes condiciones climáticas hacen cada vez más riesgosa la producción agrícola y se tenga que optar por otras prácticas. Lo anterior está motivando una fuerte tendencia al desarrollo de la agricultura sustentable y sostenible, misma que se manifiesta en el uso cada vez mas de bioinsumos, productos biológicos formulados a base de micro y macro organismos entre los cuales destacan los biofertilizantes, y biopesticidas.

La defensa del maíz tiene su fortaleza mayor en la cotidianidad de las zonas que milenariamente han producido este cereal. Es en el México profundo donde el grano vital sigue siendo parte del tejido económico, social y cultural del campesino, y precisamente al que le debe sus particularidades de color, sabor y usos (Morales y Ayala, 2010).

El estado de Veracruz representa a una de las entidades productoras de maíz, sobresaliendo el municipio de Papantla como el de mayor producción de este grano. En este municipio los productores están recibiendo capacitaciones, en el cual se les enseña a producir de manera sana y en su mayoría los productores se están convenciendo por adquirir más conocimientos, esto para replicar en sus cultivos, y esto se está volviendo cada vez más aceptable para la producción de granos básicos en la zona.



Datos recientes levantados con productores del municipio de Papantla, Ver., el cultivo de maíz ha dejado de ser una alternativa rentable, debido en gran medida a la variabilidad climática y el incremento de la incidencia de las enfermedades, aunado al alto costo de fertilizantes y herbicidas que se utilizan durante el ciclo productivo. Estos rendimientos de maíz generalmente se ven afectados por varios factores, entre alguno de ellos es el tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo, dado que, en suelos de la región de centro de Veracruz, en evaluación de materiales se logra tener rendimientos de hasta 7 toneladas por hectárea, en el sur esto se disminuye hasta 2.7 toneladas (Sierra *et al.*, 2009). No obstante, la media potencial de rendimiento para el estado de Veracruz es de 4 toneladas (Cumpian, 2009).

González *et al.* (2020) señalan que, para mitigar el impacto de la agricultura en el ambiente, se requiere de la aplicación de técnicas agroecológicas, que desarrollen una explotación amigable para el ambiente y donde el proceso de producción del maíz sea estable y no ser opuesto al desarrollo sustentable de la producción agrícola (Altieri, 1994).

La transición agroecológica tiene como objeto aumentar la producción de maíz, haciendo uso de bioinsumos racionales de elaboración artesanal, mismos que contribuyen al aumento de la producción de grano de maíz, al cuidado al medio ambiente y a la salud humana. Cabe resaltar que el grano de maíz cultivado en la zona es una mezcla varietal criollo-tuxpeño que sirve para la obtención de grano de maíz y hoja como subproducto y de valor comercial. En ese sentido, hay un campo fértil para iniciar con algún proceso de mejoramiento genético para aprovechar toda esa amplia diversidad genética presente en la población y considerando que los productores de generación en generación han venido realizando selección masal, se determinó implementar la Selección Masal Visual Estratifica de acuerdo a lo propuesto por Reyes (1985) y Molina (1992).

Por lo anteriormente descrito, en este trabajo se tuvieron los siguientes objetivos:

1. Comparar los sistemas de producción convencional versus producción agroecológica en una población de maíz nativo de la zona del llano alto del Totonacapan.
2. Determinar la ganancia genética en características de mazorca y grano de una población de maíz nativo de la zona del llano alto del Totonacapan.



Materiales y Métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en la localidad de La Reforma-Paso del Correo, perteneciente al municipio de Papantla de Olarte en el estado de Veracruz, en la parcela del productor cooperante Álvaro Pérez Santiago, quien forma parte de la Escuela de Campo número 20 correspondiente a la Ruta 18 de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) del programa Producción para el Bienestar (PpB) de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno de México (SADER). La localidad se ubica a 20° 18' 35'' de latitud norte y 97° 14' 15'' de longitud oeste y una altura sobre el nivel del mar de 117 m. Presenta un clima cálido húmedo con lluvias en verano y una precipitación acumulada anual de 1461.4 mm (García, 1988; INIFAP, 2006).

El material vegetal utilizado fue maíz nativo el cual por su naturaleza de obtención de semilla ciclo tras ciclo, es una población heterogénea, homo-heterocigóticas, desarrolladas y conservadas por los agricultores a través de múltiples generaciones de selección empírica para caracteres específicos como textura de grano, color, forma de mazorca, sanidad, ciclo vegetativo, entre otros (Aragón *et al.*, 2006).

Manejo agroecológico del cultivo

Antes de iniciar la siembra se realizó un diagnóstico productivo del cultivo, el cual fue la línea base, durante el ciclo productivo otoño-invierno 2021. Dado que el municipio es uno de los más extensos de la entidad, y sus variantes en suelo y clima permiten suponer una variación en las razas de maíz que se están desarrollando en esa región, está más que justificado en que previo a la implementación de alguna propuesta de cambio en el manejo del cultivo sea acompañado de un diagnóstico de línea base que permita el conocimiento real de las características del suelo (Perez *et al.*, 2009).

La siembra en la parcela demostrativa en cada uno de los tres ciclos de estudio se efectuó en las siguientes fechas: el 15 de noviembre del 2021 para el ciclo otoño-invierno 2021/22, 10 de junio 2022 para el ciclo primavera-verano y el 20 de noviembre para el ciclo otoño-invierno 2022/23. La densidad de población utilizada fue de 41,666 plantas por hectárea en los tres ciclos productivos, dado que los materiales criollos son de elevada altura se utilizan los distanciamientos de 0.80 m entre matas y 0.90 m entre surcos y tres plantas por mata.

Los componentes tecnológicos que se implementaron para el manejo del cultivo fueron los siguientes: Para el ciclo productivo otoño-invierno 2021/22, el primer componente fue la inoculación de semilla y se utilizó micorriza de la especie *Glomus intraradices* a una concentración mínima de 46 esporas por gramo, a una dosis de un kilo por hectárea.



El segundo componente agroecológico fue el uso de caldo ceniza y tierra de diatomeas. Para el control de plagas, a los 20 días después de la siembra se aplicaron nueve litros de caldo de ceniza en combinación con 600 g de tierra de diatomeas disueltos en 70 L de agua por hectárea.

Como tercer componente, a los 35 días posterior a la siembra se aplicó caldo sulfocálcico para el control del gusano cogollero y la enfermedad conocida por los productores como chamusquina ocasionado por *Fusarium verticillioides*.

Otro componente durante el ciclo productivo fue la implementación de la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE) en la etapa de preselección en campo y selección final en troja.

Para los ciclos de primavera-verano 2022 y en otoño-invierno 2022/23, la siembra se realizó el día 10 de junio y el 20 de noviembre, respectivamente, con una densidad de siembra de 42,336 plantas por hectárea en ambos ciclos. Para estos dos ciclos se aplicaron los siguientes componentes:

Uso de semilla seleccionada (9 kg), resultado de la implementación de la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE), las cuales se inocularon con un kilogramo de *Glomus intraradices* a una concentración mínima de 46 esporas por gramo, a una dosis de un kilo por hectárea (Duran *et al.*, 2015).

Antes de la siembra se aplicaron 200 L de lixiviados de lombricomposta por hectárea y 200 L de microorganismos de montaña fase líquida, las cuales tienen la función de desintegrar la materia orgánica y volverla disponible para el cultivo.

Un tercer componente antes de la siembra fue la colocación, a los treinta días después de la siembra, de cuatro trampas por hectárea con feromonas atrayentes para la palomilla del gusano cogollero, como una medida de monitoreo y control del mismo.

Para el control de plagas durante el desarrollo fenológico del cultivo de maíz, se realizaron dos aplicaciones, una a los 15 días y otra a los 25 días después de la siembra, se aplicó un cuarto componente el cual es un bioinsumo elaborado de manera artesanal, a base de jabón y ceniza, el cual funciona como bioinsecticida y biofertilizante. La dosis por hectárea fue de 9 L del bioinsumo combinado con 600 g de tierra de diatomeas disueltos en 60 L de agua.

Un quinto componente se aplicó a los 40 días de la siembra para controlar algunas plagas y enfermedades como el *Fusarium verticillioides*, siendo una de las enfermedades que afecta los cultivos de maíz en la zona del llano alto de Papantla, a una dosis de 2 L/ha de caldo sulfocálcico.

El último componente fue la implementación de la Selección masal Visual Estratificada en cada ciclo productivo de acuerdo con Aragón y Espinoza (2008) y Aragón *et al.*, (2008).



Manejo convencional del cultivo

Se tomó una hectárea del mismo productor, donde hace ya varios años ha venido realizando la siembra de maíz. El tratamiento convencional consistió en aplicar las prácticas que realiza el productor cada ciclo al cultivo de maíz, que incluyen: a) la aplicación directa a la semilla del insecticida clorpirifos etil (Lorsban) para prevenir el ataque de hormigas al momento de la siembra; b) Aplicación de la combinación de clorpirifos etil (Lorsban) con el fertilizante foliar GrowGreen 20-30-10 a los 30 días después de la siembra; y c) las demás prácticas se complementaron con lo recomendado por INIFAP (Anónimo, 2007; Palafox *et al.*, 2010).

VARIABLES EVALUADAS

La variable principal que se determinó en los tres ciclos productivos del cultivo de maíz fue el rendimiento de grano. Para determinar los cambios en el beneficio de realizar el mejoramiento genético mediante la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE). Esta selección se hace en dos momentos: una que es pre selección en campo, donde se mide la altura de planta y de mazorca, previo a la sub lotificación del terreno (20 sublotes) y en cada sublote se marcan 20 plantas que presentan competencia completa, sanas, y vigorosas. La otra etapa es la selección en la troja donde de las 400 plantas marcadas se obtienen las 400 mazorcas, y de estas se consideran las de mejor llenado de grano, sanas y sin pudrición; a estas mazorcas seleccionadas son las que se miden las características de mazorca y de grano (Aragón y Espinoza, 2008). Se registraron trece características, sin embargo, en este documento se presentan únicamente resultados de algunas relacionadas con la mazorca, como es peso, longitud y número de hileras; y para las características de grano se registraron el peso total de grano por mazorca y el peso de 100 granos.

Resultados y Discusión

Con el manejo convencional la producción de grano obtenido en los diferentes ciclos productivos fue similar en O-I 2021/22 y PV 2022, en cambio para el O-I del 2022/23 se incrementó en aproximadamente 100 kg. Mendoza *et al.* (2000) señalan que las mermas que de manera normal se presentan en la producción de maíces tropicales se deben principalmente a factores bióticos y abióticos, entre ellos la alta incidencia de malezas en épocas críticas del cultivo, el ataque de plagas y enfermedades y suelos pobres; otros como la falta de tecnología y las pocas dependencias y/o empresas



dedicadas al mejoramiento genético también se hacen participes. Sin embargo, cuando se implementa el manejo agroecológico el efecto al ciclo siguiente es inmediato, esto debido al uso de varios componentes que ayudan a que el cultivo no se vea afectado por las fuertes sequías que en los ciclos de evaluación afectaron la zona. Para el ciclo productivo O-I 2022/23 el rendimiento de grano con el manejo agroecológico se incrementó en aproximadamente 300 kg, lo cual representa un ingreso económico de cerca de \$2,000 por hectárea (Figura 1). El manejo agroecológico es una opción para los millones de unidades rurales menores de cinco hectáreas, con fuertes limitantes productivas y que normalmente requieren contar con tecnología que responda a la gran diversidad ambiental y edáfica que las caracteriza, y que dentro de todo esto también está en incursionar en el mejoramiento de los maíces nativos en el terreno de los productores (Sandoval *et al.*, 2003). Brewbaker (1985) señala que esto obedece a numerosos factores bióticos y abióticos que influyen en el cultivo, y es precisamente que la implementación de un sistema agroecológico que permita incrementar el rendimiento y a menor costo está más que justificado la promoción y utilización del mismo; incluso el uso de la zeolita también permite reducir aún más el costo de producción (Vásquez y Meneses, 2010).

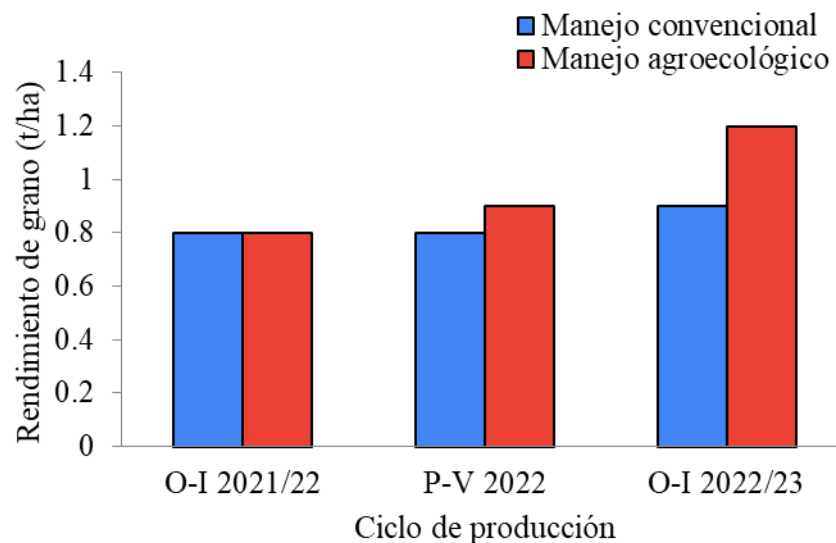


Figura 1. Cambios en rendimiento por efecto del manejo a través de los ciclos de producción.

Al realizar el estudio comparativo de los sistemas de manejo que se están implementado en el cultivo de maíz, es notorio el cambio y el aumento en el rendimiento de grano por efecto de utilizar



componentes más amigables con el ambiente, en promedio es factible incrementar hasta 140 kg con lo cual representa aproximadamente un ingreso adicional de \$1000 (Figura 2). Lo anterior puede deberse a que dentro del manejo agroecológico se incluyó la inoculación de la semilla con micorriza, el cual ayuda a atender el problema de los suelos pobres, y en definitiva puede ser un factor para lograr un incremento en el rendimiento de grano que se obtuvo en este trabajo (Aguado, 2012; Duran *et al.*, 2015), por lo que va en la dirección correcta a lo señalado por Edwards *et al.* (1990), quienes señalan que la agricultura sustentable no solo se refiere a una agricultura que intenta proporcionar rendimientos sostenidos a largo plazo, sino que promueve la necesidad de realizar ajustes en la agricultura convencional para que éste se vuelva ambiental, social, y económicamente viable y compatible (Edwards *et al.*, 1990). De esta manera, la sustentabilidad en el contexto de los sistemas agrícolas considera la creación de sistemas productivos de recursos naturales, estables y adaptables, que distribuyan los costos y beneficios en forma equitativa, generando procesos autogestivos entre otros beneficiarios (Masera *et al.*, 2000).

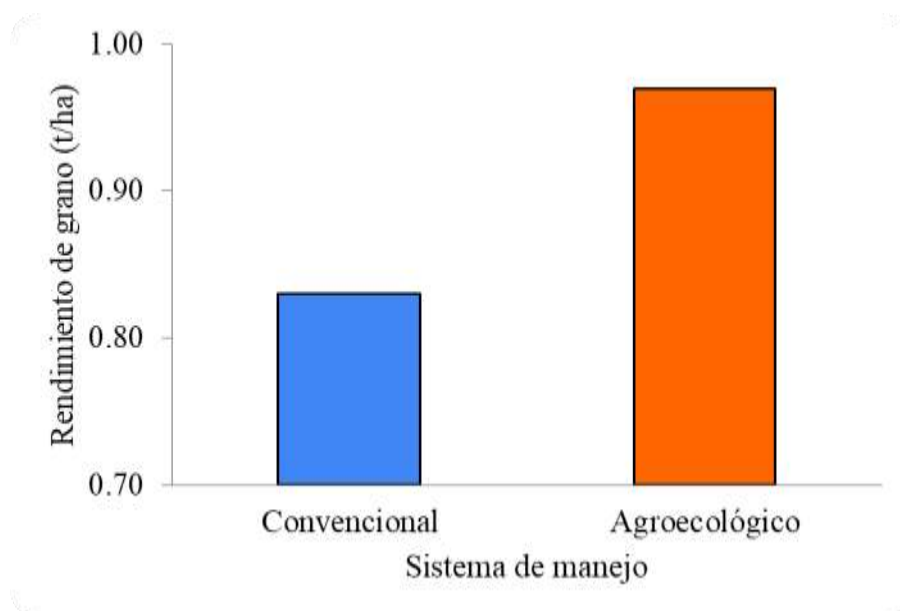


Figura 2. Efecto del sistema de manejo en la producción de grano.

El uso de diferentes componentes ha dado resultados en las parcelas muestra, ya que claramente se observa como el rendimiento de grano va en aumento. Otro componente importante que puede contribuir a mejorar aún más estos resultados es la utilización de humus, ya que favorece la retención



de grandes cantidades de nutrientes, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico, así también, funcionan como un estabilizador de la estructura del suelo y retienen grandes cantidades de agua (Zetina *et al.*, 2015). Aunado a lo anterior, al incorporar o analizar por separado el componente de la selección masal visual estratificada que se ha llevado a cabo en los ciclos productivos O-I 2021/22 y PV 2022, se observa que es uno de los componentes que ha contribuido en dicho incremento por los cambios que ha propiciado en características cuantitativas de mazorca y grano. En ese sentido la ganancia ha sido de 12 g por efecto de la SMVE en la población de maíz nativo (Figura 3).

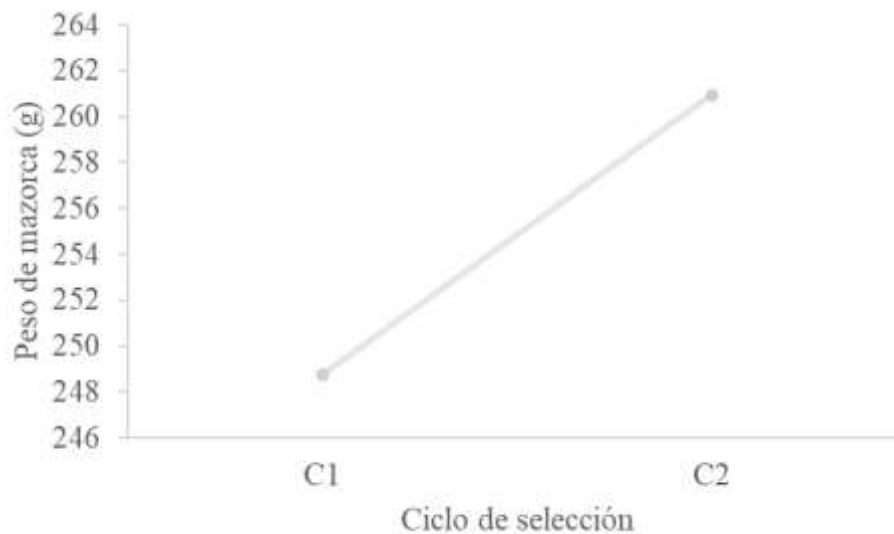


Figura 3. Efecto de la Selección Masal Visual Estratificada en el peso de mazorca.

En el caso de la longitud de mazorca, a pesar de que ha habido un cambio negativo, en términos generales se ha mantenido dicha característica, siendo la diferencia realmente muy mínima de 1.5 mm (Figura 4).

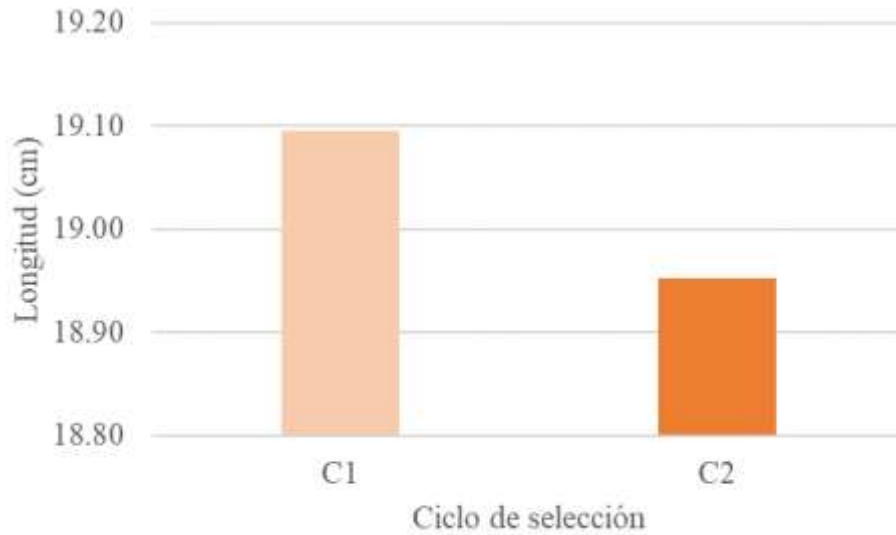


Figura 4. Efecto de la Selección Masal Visual Estratificada en longitud de mazorca.

En relación con el número de hileras por mazorca se ha logrado una mayor uniformidad en esta característica, a pesar de que la ganancia genética de un ciclo a otro sea mínima (Figura 5).

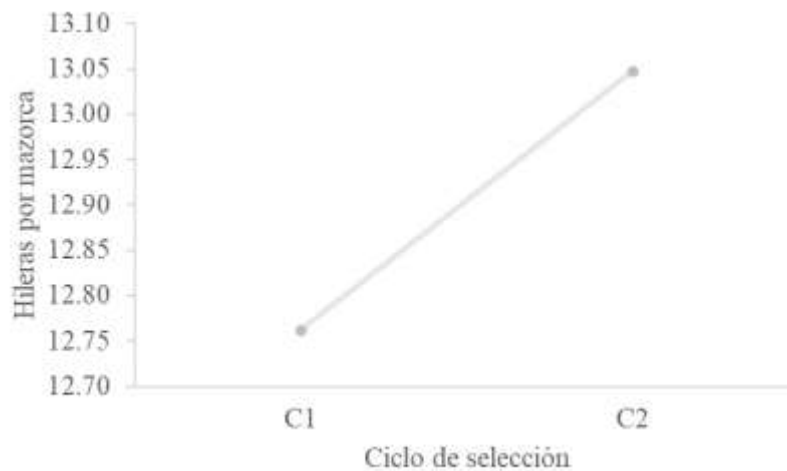


Figura 5. Efecto de la Selección Masal Visual Estratificada en número de hileras por mazorca.

La conjunción de los diferentes componentes tecnológicos que se han implementado en el sistema de manejo agroecológico y aunado a que se ha llevado a cabo el mejoramiento genético de la población de maíz nativo era de esperarse que el peso de grano fuera en aumento a medida que se avanza con el número de ciclos de selección. De esta manera, al cabo de dos ciclos la ganancia en esta variable es de



aproximadamente 4 g, lo mismo que para el peso de cien granos, cuya ganancia ronda los 5 g (Figura 6).

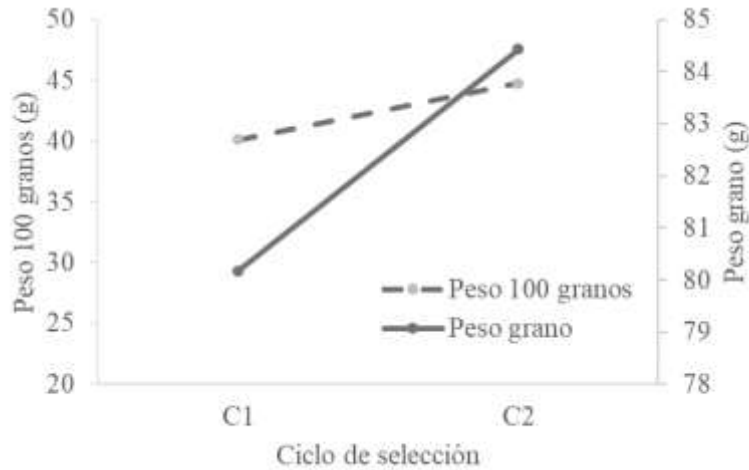


Figura 6. Efecto de la Selección Masal Visual Estratificada en peso de granos.

Los avances logrados en estos primeros dos ciclos de SMVE eran de esperarse, toda vez que se está trabajando con una población de maíz nativo, con una amplia diversidad intrapoblacional y aunado a que la selección masal explota los efectos aditivos del individuo y mientras se logre aumentos en la media de la característica bajo selección, el método seguirá siendo el adecuado (Molina, 1992; Reyes, 1985).

Conclusiones

- 1) Las practicas agroecológicas son alternativas viables para los cultivos, debido a que en la actualidad el sistema convencional que utiliza un excesivo número de productos químicos ha encarecido el proceso productivo y quienes hace uso de estos productos son pequeños productores.
- 2) Cuando se implementa el manejo agroecológico el efecto al ciclo siguiente es inmediato, para el ciclo productivo O-I 2022/23 el rendimiento de grano con el manejo agroecológico se incrementó representando un ingreso económico mayor por hectárea.



3) La selección masal visual estratificada que se ha llevado a cabo en los ciclos productivos O-I 2021/22 y PV 2022 ha propiciado ganancias genéticas favorables en características cuantitativas de mazorca y grano. En ese sentido la ganancia en peso de grano ha sido por efecto de la SMVE en la población de maíz nativo.

Literatura Citada

- Aguado, S. G. A. 2012. Uso de Microorganismos como Biofertilizantes. p. 35-78. *In:* Aguado, S. G. A. (ed.). Introducción al uso y manejo de los biofertilizantes en la agricultura.
- Altieri, M. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. The Haworth Press. New York, USA. 236 p.
- Anónimo. 2007. Curso Taller de actualización tecnológica para el cultivo de maíz. Memoria Técnica Núm. 19. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla, Ver., México. 80 p.
- Aragón, C. F., M. Morales G. y R. Rodríguez H. 2008. Cómo conservar y mejorar nuestros maíces criollos. CIRPAS. Folleto para productores No.4, 62 p.
- Aragón, C. F., S. Taba, J. M. Hernandez C., J. D. Figueroa C., V. Serrano A. y F. H. Castro G. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP-SAGARPA. Libro Técnico Núm. 6. Oaxaca, Oax., México. 344 p.
- Aragón, C., F. y H. Espinoza P. 2008. Conservación. Mejoramiento y producción de semilla de maíces criollos. INIFAP. Publicación Especial No.3, 74 p.
- Brewbaker, J. L. 1985. The tropical environment for maize cultivation. Breedings strategies for maize production improvement in the tropics. p. 10-22. *In:* Brandolini, A. y F. Salamini. (eds.). FAO. Roma, Italia.



- Cumpian, G., J. 2009. Comportamiento agronómico de testigos de maíz (*Zea mays* L.) en ensayos del CCVP. p. 51-58. *In: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.*
- Duran, P. A., J. F. Aguirre M. y O. A. Grageda C. 2015. Biológicos (Biofertilizantes). p. 133-140. *In: Hernandez, T. T. (ed.). Buenas Practicas para el Uso de Fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. INIFAP. CENID-COMEF. D. F. México.*
- Edwards, C. A., R. Lai, P. Madden, R. H. Miller and G. House. 1990. Sustainable agricultural systems. soil and water conservation society. Iowa, USA. 696 p.
- FAOSTAT. 2023. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- García, E. 1988. Sistema de Clasificación Climática de Koppen, adaptado a las condiciones de la República Mexicana. D. F, México. 388 p.
- González, F. S., L. G. Guajardo H., S. X. Almeraya Q., L. M. Perez H. y D. M. Sangerman J. 2020. Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11(7):1565-1578.
- INIFAP. 2006. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Veracruz. INIFAP-CECOT. Veracruz, Mexico.
- Masera, O. R., M. E. Astier y R. S. López. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. GIRA. Pátzcuaro, Michoacán. México. 107 p.
- Mendoza, M., A. Oyervides y A. López. 2000. Nuevos cultivares de maíz con potencial agronómico para el trópico húmedo. *Agron. Mesoam.* 11(1): 83-88.



- Molina, G. J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en Genotecnia). Ed. AGT Editor. México, D. F. 349 p.
- Morales, V. J. G. y J. A. Ayala E. 2010. Maíces criollos del sureste de Jalisco. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 118 p.
- Palafox, C. A., M. Sierra M., F. A. Rodríguez M. y F. J. Ugalde A. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para productores No. 14. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. 14 p.
- Perez, P. J. R., A. Montiel F. y M. F. Herrera T. 2009. Caracterización morfológica y clasificación de maíces locales del complejo racial Nal Tel en la Península de Yucatán. p. 59-68. *In*: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Reyes, C. P. 1985. Fitogenotecnia Básica y Aplicada. Ed. AGT Editor. D.F. México. 460 p.
- Sandoval, I. E., J. Sánchez M., A. Avendaño L., L. Arellano R. y T. González U. 2003. Sector semillas de México: Problemática y Alternativas. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco, México. 144 p.
- Sierra, M. M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., G. Vásquez C., R. Rodríguez R., *et al.* 2009. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de genotipos de maíz normal y con alta calidad proteínica para el sureste de México. p. 41-50. *In*: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Vásquez, H. A. y I. Meneses M. 2010. Mineral natural zeolita para incrementar la eficiencia de los fertilizantes químicos nitrogenados aplicados a maíz en Veracruz, México. Memorias de la XXIII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria. Veracruz, México. 128 p.



Zetina, L. R., B. Villar S. y A. Vásquez H. 2015. El Suelo, sus Propiedades, Funciones y Relación con el Uso de los Fertilizantes. p. 25-42. *In:* Hernandez T. T. (ed.). Buenas Practicas para el Uso de Fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. INIFAP. CENID-COMEF. México, D. F.



EVALUACIÓN DE ESQUEJES DE DOS POBLACIONES DE *Bacopa procumbens* BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

Brandon López Muñoz¹⁸¹, Karen Quintana Bautista¹⁸¹, Pedro Antonio López¹⁸², Oxana Lazo Zamalloa¹⁸¹
y Ada María Ríos Cortés^{181*}

Resumen

Bacopa procumbens (Mill.) Greenm suele conocerse en México como *Mecardonia procumbens* (Mill.) Small, o con el nombre común "metatera". Es una planta perenne, rastrera, de alrededor de 30 cm de largo que tiene flores amarillas, pertenece a la familia Plantaginaceae y al género *Bacopa*, el cual comprende alrededor de 60 especies. Las condiciones para su desarrollo abarcan desde los 200 a 3,500 m s. n. m. y climas fríos o tropicales, ésta puede encontrarse a lo largo del continente americano, sin embargo, es en México donde se reportan sus usos en medicina tradicional. Debido a sus propiedades medicinales, es importante la reproducción de esta planta de forma masiva. Por lo tanto, este trabajo se realizó con el objetivo de reproducir y evaluar el desarrollo y adaptabilidad de dos poblaciones de *Bacopa procumbens* bajo condiciones de invernadero. Para el desarrollo de este experimento se utilizaron esquejes de dos poblaciones obtenidas de San miguel Regla y la presa Tejocotal, ambos en Hidalgo. En ambas poblaciones se evaluaron la longitud de tallo y de raíz, además de número de tallos y de foliolos. Para el análisis de datos se aplicó un ANOVA de una vía para las comparaciones de tratamiento, para las comparaciones de medias se realizó una prueba de Tukey ($P < 0.05$), ambos procedimientos fueron realizados mediante el procedimiento GLM del software SAS. También se llevó a cabo el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa dentro del invernadero. Se observó que existen diferencias significativas entre longitud del tallo, y número de foliolos entre poblaciones, teniendo mayor tamaño en los esquejes de San Miguel Regla. En el caso de las raíces se obtuvo un mejor desarrollo en los esquejes de Tejocotal con respecto a los de San Miguel, las diferencias descritas entre poblaciones son efecto de la plasticidad fenotípica, puesto que este fenómeno se presenta al

¹⁸¹ Instituto Politécnico Nacional-Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). *Autor por correspondencia: arios@ipn.mx

¹⁸² Colegio de Postgraduados Campus Puebla.



expresar cambios fenotípicos irreversibles en el desarrollo de las plantas bajo condiciones ambientales diferentes, y por lo cual la población de Tejocotal muestra mejor respuesta al cambio de clima.

Palabras clave: recurso genético, planta medicinal, propagación vegetativa

Introducción

Actualmente, el interés por estudiar el cultivo plantas medicinales ha ido creciendo progresivamente, diversos grupos de investigación han realizado estudios para la identificación de nuevos fármacos a base de plantas medicinales para el tratamiento de varias enfermedades. A nivel de campo, el valor de estas investigaciones tiene como base, el que las plantas medicinales son capaces de alcanzar parte de la diversificación de cultivos y formar una nueva opción para los productores (Toth, 2013).

La propagación de plantas abarca aplicación de principios y conceptos biológicos que se enfocan a la multiplicación de plantas cultivables de un genotipo específico. Una de las formas en que una planta logra propagarse es a través de la reproducción asexual, misma que se basa en la obtención de nuevas plantas utilizando partes de la planta original y esto se debe a que cada célula de la planta contiene la información genética necesaria para generar una planta nueva. La producción de un nuevo organismo es a partir de un fragmento de la planta madre, que pueden ser porciones de hojas o tallos (Hartman, 1997).

Bacopa procumbens, también conocida como hierba golondrina, metatera, hierba de té, trencilla esperanza u como hoja de quebranto, es una planta rastrera que se localiza desde los 200 a 3,500 m s.n.m. en climas fríos o tropicales a lo largo del continente americano. En México se ha ubicado en diferentes estados como: Chiapas, Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Tlaxcala y Yucatán (Conabio, 2022), lugares en los que se reportan aplicaciones en medicina tradicional. Estudios mencionan que los extractos acuetanólicos de la planta tienen propiedades antimicrobianas y cicatrizantes (Hidalgo, 2010, González-Cortazar *et al.*, 2019), propiedades que además coinciden con lo reportado en sus aplicaciones para tratamiento contra malaria, desórdenes biliares, anemias, manchas en la piel, erupciones, además de cicatrización (Argueta, 1994; Conabio, 2022). Ya que esta especie se ha ubicado en diferentes lugares del país y la aplicación en la medicina tradicional difiere, es necesario conocer si las poblaciones debido a los diferentes factores bióticos y



abióticos presenta variaciones. Además de conocer su propagación, ya que la colecta de esta planta se realiza directamente en campo, esto se debe a que es una planta silvestre y no una especie que sea cultivable. Es por ello que se realizó la evaluación de dos poblaciones de *Bacopa procumbens*, bajo condiciones de invernadero para observar el comportamiento con respecto a crecimiento y desarrollo de dichas poblaciones, el método de propagación por esquejes es una manera de conservar y propagar las plantas de una manera más eficiente y segura la cual evitará que se extinga.

Materiales y Métodos

Zonas de colecta

Las zonas de recolección de las plantas *Bacopa procumbens*, fueron en San Miguel Regla y la presa Tejocotal. San Miguel Regla se encuentra en Huasca de Ocampo en el estado de Hidalgo, cuyas coordenadas son 20°14'20.411" N, 98°33'43.435" O a 1997 m, cuenta con un clima templado subhúmedo con temperatura media anual de 20°C y humedad del 75% (Figura 1).

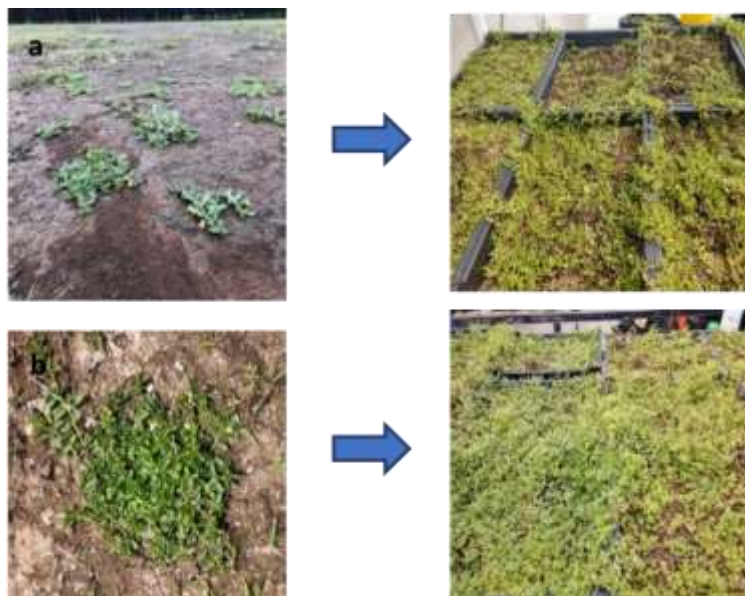


Figura 1. a) Plantas colectadas en presa Tejocotal a 2,149 m con coordenadas 20°07'45" N 98°07'51" W. b) Plantas colectadas en San Miguel Regla a 2,086 m con coordenadas: 20°12'55" N 98°33'22" W.



La presa Tejocotal está ubicada en el municipio de Acaxochitlán en el estado de Hidalgo, en las coordenadas 20°08'23"N 98°07'34"O a 2,260 m. El clima en esa zona es templado con una temperatura media anual de 15°C, la humedad se encuentra entre 76.41% y 88.78% (INEGI, 2022).

Estas plantas fueron llevadas a un invernadero ubicado en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (19°16'50.3" N, 98°21'58.1" O) a 2221 m. Y se trasplantaron a un sustrato compuesto por una mezcla de peatmoss 50% con agrolita 40% y tezontle rojo 10% para que continuara desarrollándose.

Identificación taxonómica

Luego de la recolección de plantas, se tomó un ejemplar con sus respectivas tres repeticiones de cada zona y se mandaron a identificar taxonómicamente.

Reproducción vegetativa

Las plantas colectadas, fueron monitoreadas y las de mejor porte, se ocuparon como planta madre de donde se obtuvieron esquejes cortados según lo descrito por Ríos (2023), donde se colocaron en charolas de unicel, esquejes que fueron de cinco nudos y como sustrato se ocupó espuma fenólica, previamente hidratada (Figura 2). Posteriormente se aplicó solución de Rootex a una concentración de 1g/L cada tercer día.

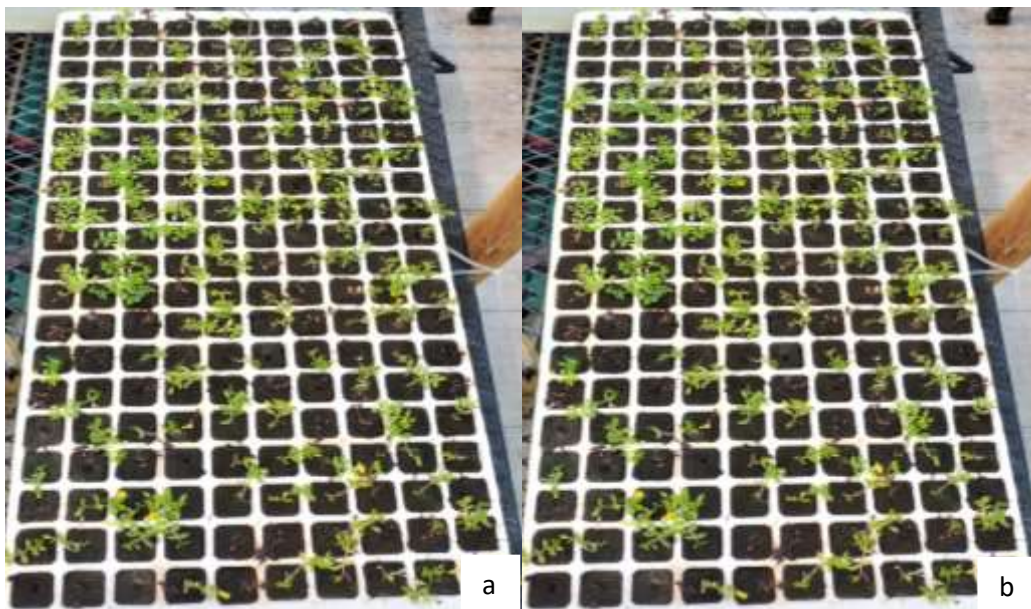


Figura 2. a) Esquejes de Tejocotal, b) Esquejes de San Miguel Regla.



Los esquejes se regaron diario y todas las charolas con los esquejes se colocaron en el invernadero. También se realizó el seguimiento de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero mediante un datalogger de la marca Elitech Modelo RC-51H.

Variables a evaluar

Las variables evaluadas fueron: longitud de tallo, número de foliolos, número de tallos y longitud de raíz, la longitud del tallo como la longitud de raíces. Se midieron cada dos semanas durante los meses de mayo a junio. A las variables evaluadas se les aplicaron análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Para todos los casos se trabajó con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) v. 9.1 (SAS Institute, 2004).

Resultados y Discusión

Las plantas procedentes de la población de San Miguel Regla fueron identificadas taxonómicamente por la bióloga María Edith López Villafranco con fichas depositadas en el herbario IZTA-FLORA ÚTIL DE MÉXICO de la Facultad de Estudios Superiores de Iztacala, UNAM, con número de registro 1792. Y en la BUAP teniendo el número de registro 85813 para el caso de la población de Tejocotal.

Se tomaron en consideración las temperaturas y humedad relativa de los meses en los que los esquejes estuvieron en desarrollo. Observando que hubo un aumento tanto de la temperatura como de la humedad relativa a lo largo de los meses en que se monitorearon dichos parámetros (Cuadro 1), también se obtuvieron datos máximos y mínimos de temperatura y humedad relativa, donde se registró una temperatura máxima de 58.5°C y mínima de 3.7°C. Respecto a humedad relativa se tuvo un máximo de 100% y un mínimo de 40%.

Cuadro 1. Temperaturas y Humedad relativa promedio durante el tiempo de desarrollo de esquejes.

Mes	Temperatura °C	Humedad relativa%
Mayo	21.7°C	55.9%
Junio	22.3°C	57.6%

Las características morfológicas de las plantas desarrolladas mediante esquejes y bajo condiciones de invernadero han mantenido las características mostradas en su lugar de recolección; la población de



San Miguel Regla colectada en un ecosistema boscoso presenta una distancia entre nodos de aproximadamente 1 cm, tiene una flor por tallo y alrededor de 2 o 3 frutos; a diferencia de Tejocotal, población que mide alrededor de 0.8 cm entre nodos y suele tener 3 flores y hasta 5 frutos por tallo.

Las diferencias descritas entre poblaciones, son efecto de la plasticidad fenotípica, puesto que de acuerdo con autores como Gianoli, (2004) y Climent, (2016) este fenómeno se presenta al expresar cambios fenotípicos irreversibles en el desarrollo de las plantas bajo condiciones ambientales diferentes, por ejemplo, temperatura o humedad relativa mayores o menores entre zonas de interés (Figura 3).



Figura 3. Modificaciones de las características fenotípicas de *Bacopa procumbens*, a) Tejocotal, b) San Miguel Regla.

Con las variables evaluadas en cada planta, al realizar el ANOVA y aplicar prueba de Tukey se observó que existen diferencias significativas en longitud de tallo, número de foliolos y longitud de raíz, mientras que la variable de número de tallos no tuvo diferencias significativas, teniendo plantas de mayores dimensiones en la población de Tejocotal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características del desarrollo de esquejes de poblaciones de *Bacopa procumbens*, recolectadas de Tejocotal y San Miguel Regla y reproducidas en invernadero.

Población	Longitud de Tallo	Número de Foliolos	Número de Tallos	Longitud de raíz
Tejocotal	4.3833 A	18.966 A	1.16667 A	5.1733 A
San Miguel Regla	3.7200 B	16.633 B	1.00000 A	3.5000 B

Medias con las mismas letras en columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$).



Con respecto a las diferencias entre longitud de tallo, número de folíolos, tallos y longitud de raíz entre las poblaciones Huertas (2008), dice que la temperatura presenta un efecto significativo en el desarrollo ya que en climas con bajas temperaturas las plantas tienden a bajar tanto su crecimiento como su desarrollo, la humedad relativa también tiene un rol importante ya que ambos son factores que están relacionados en gran medida que van a limitar procesos en la planta como es el caso de absorción de nutrientes y la tasa fotosintética lo cual ocurre especialmente por el cierre de estomas, por lo cual se observa que la población de Tejocotal mostró mejor respuesta a la temperatura y humedad relativa; ya que en tres de las cuatro variables evaluadas presentó diferencias significativas en comparación con la población de San Miguel Regla que tuvo un menor tamaño.

Respecto a la diferencia en el largo de la raíz de los esquejes entre las dos poblaciones, en la Figura 4 se puede observar esa variación de aproximadamente 1.5 cm, puesto que la raíz de los esquejes de Tejocotal tuvo un mayor crecimiento con respecto a los de San Miguel, esto debido a que la planta madre de Tejocotal presenta mayor tamaño por lo tanto como menciona Álvarez-Herrera *et al.* (2007) cuenta con gran cantidad de reservas y al ser extraído de la parte apical de la planta la cantidad de auxinas aumenta y por lo cual se obtiene mayor división celular originando mayor crecimiento radicular a diferencia de la planta de San Miguel Regla las cuales son de menor tamaño. Esto también coincide con Lemes *et al.* (2001) que mencionan que los esquejes de yemas terminales presentan mayor producción de masa vegetal.



Figura 4. Desarrollo radicular de esquejes de *Bacopa procumbens* recolectadas de Tejocotal (a) y San Miguel Regla (b) y reproducidas en invernadero.



Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que la población de Tejocotal presentó mejor respuesta al encontrarse en temperaturas de alrededor de 22°C y una humedad relativa de entre 55.9% y 57.6% con respecto a la población de San Miguel Regla debido al fenómeno de plasticidad fenotípica que le permitió adaptarse de manera más rápida.

Literatura Citada

Álvarez-Herrera, J. G., S. Lusardo Rodríguez y E. Chacón. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.) *Agronomía Colombiana*, Universidad Nacional de Colombia Bogotá, Colombia. 25(2):224-230.

Argueta, V. A., L. M. Cano y M. E. Rodarte. 1994. Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana II. Instituto Nacional Indigenista. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=bacopa-procumbens>.

Climent, J. 2016. Plasticidad fenotípica e Interacción G x E. Curso Sobre Mitigación de Los Efectos Adversos Del Cambio Climático Mediante Programas de Reforestación, Cartagena de Indias (Colombia). 12(16):30.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2022. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Scrophulariaceae *Bacopa procumbens* (Mill.) Greenm. *Mercadonia procumbens* (Mill.) Small. Hoja quebranto. Recuperadode<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/scrophulariaceae/bacopa-procumbens/fichas/ficha.html>

Gianoli, E. 2004. Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas.



- González-cortazar, M., V. López-gayou, J. Tortoriello, B. E. Domínguez-mendoza, A. M. Ríos-cortes and R. Delgado-Macuil. 2019. Phytochemistry Letters Antimicrobial gastrodin derivatives isolated from *Bacopa procumbens*. *Phytochem. Lett.* 31:33-38.
- Hartmann, H. T., and H. T. Hartmann. 1997. *Plant propagation: Principles and practices*. London: Prentice-Hall International.
- Hidalgo, O. 2010. Determinación del efecto cicatrizante del extracto acuotánico de la planta *Bacopa procumbens* en la línea celular 3T3 de fibroblastos de ratón. *Horticultura*. 205:52-54.
- Huertas, L. 2008. El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Horticultura*. 203:44-47.
- Lemes, C., C. Rodríguez y L. Acosta. 2001. Multiplicación vegetativa de *Rosmarinus Officinalis* L. (romero). *Rev. Cub. Plant Med.* 6(3):79-82.
- Toth, M. G., A. M. Burgos y P. J. Cenóz. 2013. Multiplicación agámica de *Plectranthus ornatus* por medio de estacas. *Hort. Argen.* 32(79):25-31.



NIVELES DE SOLUCIÓN NUTRITIVA SOBRE EL CRECIMIENTO DE HIGO (*Ficus carica*) EN HIDROPONÍA EN LA MIXTECA POBLANA

Alejandro Pérez Rosales^{183*}, Alma Velia Ayala Garay¹⁸³, Erika López Aranda¹⁸³, Eleodoro Gabilan Linares¹⁸³
y Narciso Luna Esquivel¹⁸³

Resumen

El higo es considerado un cultivo con alto potencial económico, prospera en condiciones áridas y semiáridas. En México se ha impulsado su expansión debido a su creciente demanda como producto de exportación. En años recientes su cultivo se ha incrementado rápidamente a campo abierto e invernadero. Dadas las condiciones ambientales que predominan en la región mixteca, el cultivo del higo es una alternativa para la reconversión productiva, el cual prospera en condiciones cálidas y con bajos niveles de humedad, así como en ambientes restrictivos en cuanto a nutrientes. El objetivo de esta investigación fue: Determinar el efecto de la aplicación de cuatro niveles de solución nutritiva sobre el crecimiento de higo (*Ficus carica*) en hidroponía. El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, en bolsas de polietileno negro de 10 L., se utilizó como sustrato aserrín de pino. Los tratamientos fueron cuatro variaciones de la solución nutritiva: 1.52 mgL⁻¹ de nitrato de potasio, 0.08 mL⁻¹ de ácido fosfórico, 0.38 mgL⁻¹ sulfato de magnesio (60%, 50%, 40% y 30%). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, con una planta por repetición. Se determinó altura de planta, número de frutos por planta, velocidad de crecimiento (cm día⁻¹) y contenido de nitrógeno foliar. Se realizó un análisis de regresión lineal y contrastes ortogonales, a través del paquete estadístico SAS® On Demand for Academics. Se encontró que el uso de un modelo lineal describe el comportamiento de los datos con un alfa de 0.01. La aplicación de un modelo lineal permite la estimación del crecimiento vegetal expresado como altura. A los 50 días de establecido el experimento se aprecia un comportamiento lineal creciente entre la altura y los niveles solución nutritiva aplicados. La solución al 60% presentó el mayor efecto sobre: tasa de crecimiento, altura de planta y nitrógeno foliar. Existen diferencias altamente significativas con la comparación de

¹⁸³ Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio. *Autor para correspondencia: fitotecn@hotmai.com



contrastes entre la dosis de solución nutritiva aplicadas al 60% vs 50%, 40%, 30%; 50% vs 40%, 30% y 40% vs 30% sobre el contenido de nitrógeno foliar.

Palabras clave: reconversión productiva, trópico seco, regresión lineal, velocidad de crecimiento

Introducción

El género ficus comprende alrededor de 800 especies, siendo la más importantes *F. carica*. En la región del mediterráneo la producción anual es de alrededor de 1,064,784 de toneladas métricas, que se obtienen de 311,080 has. El 70% de esta producción se distribuye en Turquía, Egipto, Irán, Grecia, Argelia y Marruecos; mientras que Estado Unidos aporta el 4% de la producción mundial (Moniruzzaman, *et al.*, 2020). El higo es considerado como un cultivo con alto potencial económico, dado que prospera en condiciones áridas y semiáridas, con altas temperaturas y suelos pobres, se ha establecido en densidades de 1000 a 500 árboles ha⁻¹, con rendimientos de 11.6 tha⁻¹ a 5.1 tha⁻¹ (Kurubar, *et al.*, 2017; Chithiraichelvan, *et al.*, 2017).

Este cultivo se localiza principalmente en regiones templadas, sin embargo, se adapta en regiones tropicales y subtropicales. En México, se ha impulsado su expansión debido demanda de exportación. Los mercados norteamericanos y de Canadá demandan anualmente más de 50 mil toneladas entre higo fresco y pasta de higo y otros mercados emergentes muestran interés en la compra de derivados de higo como es el caso de España, China y Japón (Del Sol-Rodríguez, 2021).

Para el año 2018, la producción nacional se dividía en los siguientes estados: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Ciudad de México, Coahuila, Durango, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Puebla, San Luis Potosí, Sonora, Veracruz, Zacatecas, de los cuales cinco poseen el 93% de la superficie sembrada, siendo Morelos, Baja California Sur, Veracruz, Puebla e Hidalgo con 38%, 22%, 16%, 12%, 4%, respectivamente; en cuanto al volumen de producción destacan los siguientes estados, Morelos, Veracruz, Puebla, Baja California Sur, Hidalgo con 3284 t, 1760 t, 1001 t, 882 t y 388 t, respectivamente; en cuanto a rendimiento el principal estado es Veracruz seguido Zacatecas, Puebla, Hidalgo y Morelos con 12.1 t/ha, 8.3 t/ha, 7.6 t/ha, 6.5 t/ha y 6.3 t/ha respectivamente. Para el caso de Puebla, los cinco municipios con mayor superficie sembrada son Xochiapulco, Coatzingo, Zacapoaxtla, Izúcar de Matamoros y Teziutlán con 57 ha, 26 ha, 23 ha, 21 ha, 9.6 ha, respectivamente. Mientras que



para el volumen de producción destacan los siguientes municipios Xochiapulco (303.3 t), Coatzingo (208.0 t), Zacapoaxtla (139.1 t), Izúcar de Matamoros (108.3 t) y Teziutlán (78.0 t). Finalmente, el municipio con mayor rendimiento dentro del estado se encuentra Tlahuapan con 10.5 t/ha, seguido por San Salvador El Verde (10 t/ha), Zacapoaxtla (9.3 t/ha), Teteles de Avila Castillo (8.9 t/ha) y Tlatlauquitepec (8.7 t/ha). Bajo este contexto, y en comparación con el resto del mundo México ocupa el noveno lugar en cuanto a rendimiento con 6.52 t/ha¹, superado por Palestina, Chipre, Brasil, con 9.90 t/ha, 9.82 t/ha, 9.27 t/ha, este escenario permite a la producción nacional, posicionarse dentro de los principales productores de higo con el uso de sistemas intensivos de producción donde se emplee la agricultura protegida y uso eficiente de los fertilizantes (SIAP, 2022, FAOSTAT, 2022).

En México la principal variedad cultivada es la Black Mission, debido a la firmeza de su fruto y buena aceptación en el mercado nacional, Estados Unidos y Canadá (INIFAP, 2020). Este cultivo está adaptado a climas secos de tipo mediterráneo. En la región de la Mixteca poblana predomina el bosque tropical caducifolio. Los cultivares de higo no requieren más de 100 horas de temperatura de 7°C o menos durante la temporada de dormancia para promover el desarrollo normal de los brotes vegetativos y reproductivos. Su plantación se realiza con plantas a raíz desnuda, las cuales se pueden trasplantar durante la temporada de dormancia. Las plantas producidas en contenedores se pueden plantar en cualquier época del año siempre que reciban riego, cuyo distanciamiento puede ser entre 3m a 5m entre plantas y de 4m a 6m entre filas. Los árboles tienden hacia un hábito de crecimiento arbustivo, con muchos chupones que surgen de la raíz y el área de la corona. El sistema de poda utilizado es líder central o un líder central modificado. En cuanto a fertilización las higueras normalmente requieren poca fertilización, sin embargo, una fertilización excesiva puede promover un crecimiento vegetativo excesivo y un bajo rendimiento (Sarkhosh and Andersen, 2022).

La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, cuyo objetivo es minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos, cuya principal ventaja es producir alimentos fuera de su ciclo natural y en menor tiempo, con mejores rendimientos en menor espacio, sanos y con un mejor precio en los mercados, generando un mejor ingreso para los productores (Moreno *et al.*, 2011), por ello, el manejo intensivo del higo en sistemas de producción hidropónico e invernadero, mejora la producción, ya que su uso, incrementa la expresión de indicadores productivos como índice de área foliar, índice de cosecha, la relación rendimiento: biomasa total. Dicho sistema consta de un arreglo topológico de 1.6 metros entre hileras y 0.5 m entre plantas, es decir, una densidad de población de 1.25 plantas m². Dichas plantas se establecen en



contenedores de 40 L, con un sustrato de 10% de vermicomposta, 45% de tezontle y 45% de tepojal. En este sentido, se utiliza riego localizado con una dosis de riego de 4 Lh^{-1} . Se utiliza el sistema de poda en V, para reducir la competencia y mejorar la penetración de la luz solar. En cuanto a la fertilización se utiliza la fórmula de Steiner (Mendoza-Castillo, *et al.*, 2019).

Dentro de los diversos factores que intervienen en la producción de higo, la fertilización mineral es uno de los de mayor relevancia, sobre todo los macronutrientes, por ello cuando se presenta una deficiencia de alguno de estos elementos se pueden apreciar síntomas visuales representativos de cada elemento, siendo en este caso el N, el que se manifiesta en el crecimiento del árbol (Garza-Alonso, *et al.*, 2019). Por ello, el manejo adecuado de la nutrición de los cultivos, a través de la aplicación oportuna de fertilizantes, es una parte del proceso de producción que, en combinación con otros factores, fomenta el incremento en rendimiento y la calidad de las cosechas. Sin embargo, ante el incremento del precio de los fertilizantes y el efecto que se atribuye a su utilización excesiva sobre la contaminación del ambiente, aunado a esto el deterioro de los ecosistemas en la región es muy notorio, apreciándose una erosión acelerada de los suelos, pérdida de la biodiversidad, fragmentación de ecosistemas, abatimiento de los mantos acuíferos (Guízar-Nolazco *et al.*, 2010), es necesario hacer un uso cada vez más racional de los nutrimentos. La eficiencia agronómica y la recuperación relativa del N permiten conocer con qué cantidad de N el cultivo alcanza su máxima producción y el porcentaje de ese elemento que es absorbido por las plantas (Ramos, *et al.*, 2002).

Con base en lo anterior el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la aplicación de cuatro niveles de solución nutritiva sobre el crecimiento de higo (*Ficus carica*) en hidroponía.

Materiales y Métodos

Localización del experimento

El experimento se estableció en el Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio ($18^{\circ} 12' 08'' \text{ N}$ y $98^{\circ} 02' 54'' \text{ W}$, a 1180 M.S.N.M.), ubicado en el municipio de Acatlán de Osorio, el 25 de abril de 2022.

Material vegetal

El material vegetal se obtuvo a partir de propagación vegetativa de plantas madre procedentes de huertos familiares ubicados en Tepetlaoxtoc, México. Se utilizaron estacas semileñosas con una yema



vegetativa de aproximadamente 10 cm de longitud, a las cuales se les adicionó radix 10000, el sustrato de enraizamiento fue una mezcla de agrolita con peat moss en una relación 2:1, la duración de esta etapa fue de 66 días. Las estacas una vez enraizadas fueron trasplantadas en bolsas de polietileno negro de 10 L., se utilizó como sustrato aserrín de pino sin tratamiento previo. En la etapa de acondicionamiento se aplicó como fertilizante 100 g de triple 17 en dos aplicaciones.

Diseño de experimento

La aplicación de los tratamientos de fertilización comenzó 141 días después del enraizamiento; para ello, se aplicaron 6 variaciones de la solución nutritiva: 1.52 mgL^{-1} de nitrato de potasio, 0.08 mL^{-1} de ácido fosfórico, 0.38 mgL^{-1} y sulfato de magnesio (60%, 50%, 40%, 30%, 20% y 10%). Para disminuir el pH de la solución nutritiva se agregó 0.91 gL^{-1} de sulfato ferroso. El pH de la solución nutritiva empleada se mantuvo en 6 mientras que la conductividad eléctrica fue de 3.81 mSm^{-1} . Para la aplicación de los tratamientos, se realizó el riego con solución nutritiva diariamente. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Cada tratamiento constó de cuatro repeticiones y cada repetición fue conformada por una planta. El análisis de nitrógeno en tejido vegetal se realizó en el laboratorio básico multifuncional del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio, donde se utilizó el método de Kjeldahl, del mismo modo se utilizaron 6 repeticiones por tratamiento.

Análisis de datos

Las mediciones de altura de planta, número de frutos por planta y velocidad de crecimiento, se realizaron partir del inicio de la aplicación de tratamientos y hasta 195 días después de enraizamiento. En el análisis de regresión se consideró a los niveles de solución nutritiva como la variable independiente (%), mientras que el incremento en altura (cm) para la variable dependiente, con ello se obtuvo la velocidad de crecimiento, expresada en cm día^{-1} . En dicho análisis se consideró individualmente a cada nivel de solución nutritiva sobre el incremento en altura (cm) con relación al tiempo (días). En cuanto al análisis por contrastes ortogonales se evaluaron los 4 niveles de solución nutritiva sobre la tasa de crecimiento, altura de planta, número de frutos por planta y contenido de nitrógeno foliar. Para el análisis de datos se utilizó el análisis de varianza de regresión lineal simple y contrastes ortogonales con el paquete estadístico SAS® On Demand for Academics.



Resultados y Discusión

El efecto de los niveles de las dosis de solución nutritiva aplicada a las plantas de higo sobre las variables respuesta a los 50 días después del inicio de la aplicación, solo se muestran los resultados preliminares de los niveles 60%, 50%, 40% y 30%, dado en los tratamientos 20% y 10% a este periodo no muestra desarrollo vegetativo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de las dosis de solución nutritiva sobre las variables evaluadas.

Variable respuesta	Niveles de solución nutritiva (%)			
	60	50	40	30
Velocidad de crecimiento (cm día ⁻¹)	0.96	0.75	0.51	0.37
Altura de planta (cm)	48.67	41.00	29.00	20.00
Número de frutos por planta	8.33	17.67	9.00	11.00
Nitrógeno foliar (%)	2.91	2.81	2.81	2.28

Análisis de regresión lineal

Con base en los resultados del análisis de regresión lineal para la variable niveles de solución nutritiva sobre el incremento de altura, se encontró que para el intervalo estudiado el modelo si describe el comportamiento de los datos con un alfa de 0.01. Para este intervalo, se encontró que el nivel del 60% de la solución nutritiva aplicada tiene un mayor efecto sobre el crecimiento (Figura 1).

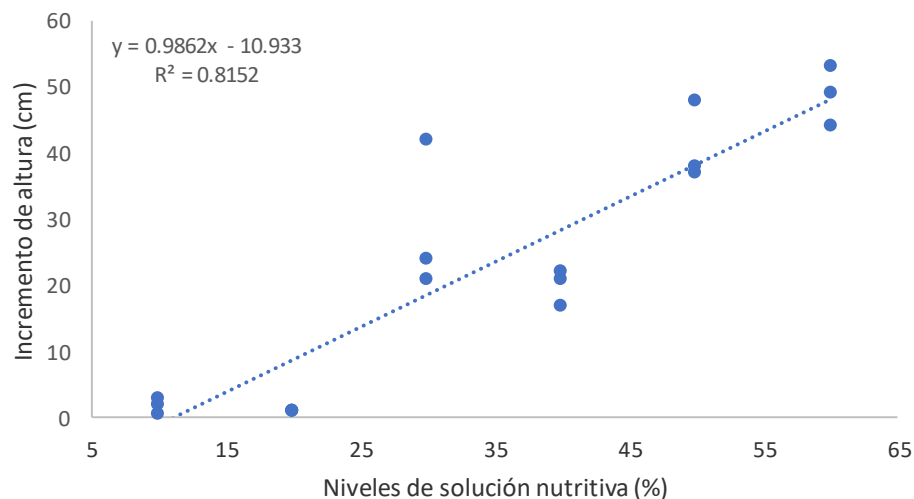


Figura 1. Efecto de los niveles de solución nutritiva sobre el incremento de la altura.



Análisis de regresión lineal para los niveles 60%, 50%, 40% y 30% de solución nutritiva

Con el modelo de regresión lineal utilizado para describir el comportamiento del incremento en la altura con la aplicación de la dosis al 60%, se obtuvo una tasa de crecimiento de $0.9621 \text{ cm día}^{-1}$, mientras que para los niveles del 50%, 40% y 30% se obtuvieron tasas de crecimiento de $0.7523 \text{ cm día}^{-1}$, $0.3716 \text{ cm día}^{-1}$ y $0.5091 \text{ cm día}^{-1}$ (Figura 2).

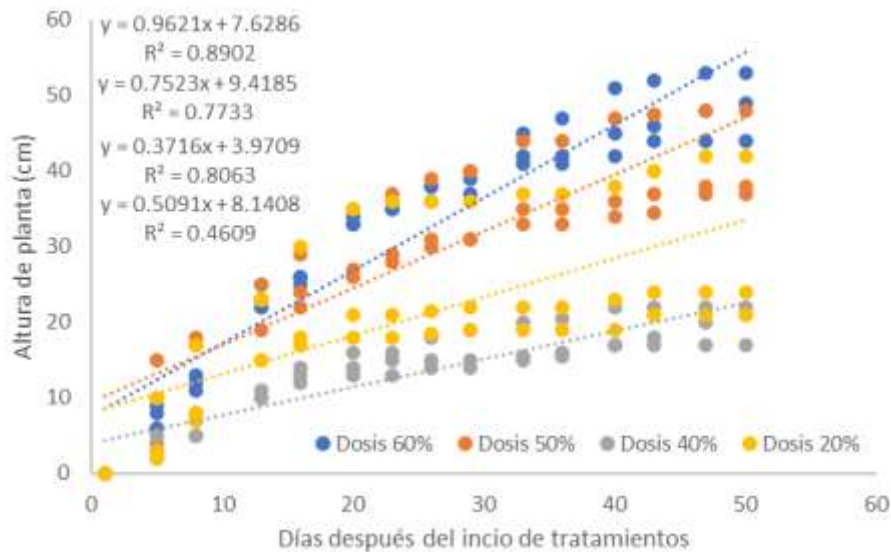


Figura 2. Dinámica de crecimiento con la aplicación del 60%, 50%, 40% y 30% de la solución nutritiva.

Con estos resultados preliminares aparentemente existe una tendencia decreciente en la tasa de crecimiento en el intervalo de tiempo estudiado, dado que a medida que la cantidad de fertilizante aplicado disminuye, se presenta una disminución en el crecimiento.

Análisis de varianza de la regresión lineal

Con base en el análisis de varianza de la regresión lineal para cada uno de los niveles de solución nutritiva aplicados a los 50 días de iniciado el experimento sobre la tasa de crecimiento se encontró que para los 4 niveles de la solución nutritiva aplicados el modelo de regresión utilizado si describe el comportamiento de los datos con un alfa de 0.01 (Cuadro 2).



Cuadro 2. Análisis de varianza de la regresión lineal de los niveles de solución nutritiva sobre el incremento en altura.

FV	GL	CM			
		Sol Nutr. al 60%	Sol Nutr. al 50%	Sol Nutr. al 40%	Sol Nutr. al 30%
Regresión	1	9342.5**	5711.3**	1393.8**	2615.8**
Error	43	26.8	38.9	7.8	71.1
Total	44				
	r^2	0.89	0.77	0.81	0.46

FV: Fuente de variación; GL: Grados de Libertad; CM: Cuadrado medio, Sol Nutr: Solución nutritiva; *0.05; **0.01; NS: No significante.

El uso de la regresión lineal como una herramienta para la predicción de incrementos de biomasa, se basa en la correlación que existe entre las estructuras de la planta (Lai *et al.*, 2013), en el caso de las praderas de alfalfa, la altura es una variable altamente correlacionada con el rendimiento de materia seca, si los coeficientes de correlación son elevados (> 0.80); esta variable puede ser considerada para determinar el rendimiento. En este sentido, la tasa de crecimiento del cultivo (TC) es un aproximado de qué tanta biomasa vegetal se acumula a través del tiempo (Montes-Cruz *et al.*, 2016).

Análisis de contrastes ortogonales

En la prueba de contraste ortogonales se encontraron diferencias altamente significativas en las variables de tasa de crecimiento y altura de planta, para la comparación de la solución nutritiva al 60% vs las soluciones nutritivas al 50%, 40%, 30%. El contraste de la solución nutritiva al 50% vs las soluciones nutritivas al 40%, 30%, se encontraron diferencias significativas para las variables de tasa de crecimiento y altura de planta (Cuadro 2). En cuanto al contenido de nitrógeno en hoja se encontraron diferencias altamente significativas entre el 60%, 50%, 40% y 30% de la dosis de solución nutritiva aplicada, siendo la solución nutritiva al 60% la que mostró el mayor contenido de nitrógeno foliar.



Cuadro 3. Análisis de contrastes ortogonales.

Contraste	GL	CM				
		Tasa de crecimiento (cmdía ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Número de frutos por planta	Nitrógeno foliar (%)	
Sol Nutr. 60% Vs 50%, 40%, 30%	1	0.391**	784**	40.111 ^{ns}	0.336**	
Sol Nutr. 50% Vs 40%, 30%	1	0.192*	544.5*	117.556 ^{ns}	0.303**	
Sol Nutr. 40% Vs 30%	1	0.027 ^{ns}	121.5 ^{ns}	6.000 ^{ns}	0.843**	
Error	8	0.0213	48.333	55.167	0.0223	
Total	11					
r^2		0.78	0.79	0.27	0.77	
CV		22.52	20.05	64.59	5.53	

GL: Grados de Libertad; CM: Cuadrado medio, CV: Coeficiente de variación; Sol Nutr: Solución nutritiva; *0.05; **0.01; NS: No significativo.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Fernández *et al.* (2020), en su inducción de deficiencias nutrimentales en higo (Cv. Neza), determinaron que con la aplicación al 100% de la solución nutritiva de Steiner se obtuvo el 2.58% de nitrógeno foliar y el 1.9% en ausencia de nitrógeno, dichos resultados se asemejan a los obtenidos con la dosis de solución nutritiva al 60% (2.91% N).

Conclusiones

1. En el intervalo de tiempo estudiado, la aplicación de un modelo lineal permite la estimación del crecimiento vegetal expresado como la altura.
2. En cuanto a los niveles de nutrientes aplicados a los 50 días de establecido el experimento, se aprecia un comportamiento lineal creciente en la altura con respecto a los niveles estudiados.



3. Existen diferencias altamente significativas entre la dosis al 60% con relación al resto de los tratamientos en las variables de tasa de crecimiento y altura de planta a los 50 días de establecido después de establecido el experimento.
4. Existen diferencias altamente significativas entre los niveles de solución nutritiva aplicadas sobre el contenido de nitrógeno foliar. Siendo la solución al 60% la que presenta el mayor efecto sobre: tasa de crecimiento, altura de planta y nitrógeno foliar.

Con base en los resultados, existe una respuesta positiva a la fertilización, se sugiere realizar evaluaciones con dosis crecientes de fertilización a fin de determinar los puntos críticos de extracción y posteriormente establecer la demanda nutrimental de esta especie en condiciones del trópico seco.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue posible al financiamiento proporcionado por el Tecnológico Nacional de México y el Gobierno del Estado de Puebla, así como, por las facilidades otorgadas por las autoridades del Instituto Tecnológico Superior de Acatlán de Osorio para el establecimiento y evaluación de los experimentos.

Literatura Citada

- Chithiraichelvan, R. R, Kurian, C. Awachare, L. Hunashikatti. 2017. Performance of Fig (*Ficus carica* L.) Under Different Planting Densities. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 6: 2603-2610. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.311> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Del Sol-Rodríguez, N., D. Guillén-Sánchez, I. Alia-Tejacal, P. Juárez-López, V. López-Martínez. 2021. Incidencia y severidad de roya causada por *Cerotelium fici* en higo (*Ficus carica*) en Morelos, México. Centro Agrícola, 48(1): 43-51. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v48n1/0253-5785-cag-48-01-43.pdf> [Consultado el 31 de enero 2023].



Ercisli, S., M. Tosun, H. Karlidag, A. Dzubur, S. Hadziabulic, Y. Aliman. 2012. Color and antioxidant characteristics of some fresh fig (*Ficus carica* L.) genotypes from northeastern Turkey. *Plant Foods Hum Nutr.* 67(3):271-6. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0292-2> [Consultado el 31 de enero 2023].

FAOSTAT (Food and Agriculture Statistics). 2023. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [Consultado el 31 de julio 2023].

Fernández, P. Y. L., J. L. García C., S. P. Fernández P., A. Muratalla L. 2020. Deficiencias nutrimentales inducidas en higuera cv. Neza en condiciones hidropónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(3): 581-592. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v11n3/2007-0934-remexca-11-03-581.pdf> [Consultado el 31 de julio 2023].

Garza-Alonso, C. A., E. Olivares-Sáenz, A. Gutiérrez-Díez, R. E. Vázquez-Alvarado and López-A. Jiménez. 2019. Visual Symptoms, Vegetative Growth, and Mineral Concentration in Fig Tree (*Ficus carica* L.) Under Macronutrient Deficiencies. *Agronomy.* 9(787):1-12. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120787> [Consultado el 31 de enero 2023].

Guízar-Nolazco, E., D. Granados-Sánchez, A. Castañeda-Mendoza. 2010. Flora y vegetación en la porción sur de la mixteca poblana. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(2): 95-118. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.04.019> [Consultado el 31 de enero 2023].

INIFAP, 2020. Ficha técnica para cultivar Higo en Morelos. Desplegable para productores No. 74. SADER. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatepec. <https://agropecuario.morelos.gob.mx/sites/agropecuario.morelos.gob.mx/files/pdfs/higo.pdf> [Consultado el 31 de julio 2023].



- Kurubar, A.R., T. B. Allolli, M. K. Naik and S. G. Angadi. 2017. Effect of organic and inorganic fertilizers on fruit characters, quality and economics of fig production (*Ficus carica* L.). *Acta Hortic.* 1173. ISHS. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1173.36> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Lai, J.; B. Yang, D. Lin, A. J. Kerkhoff, K. Ma. 2013. The Allometry of Coarse Root Biomass: Log-Transformed Linear Regression or Nonlinear Regression? *PLoS ONE* 8(10): e77007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077007> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Mendoza-Castillo, V. M., J. Pineda-Pineda, J. M. Vargas-Canales, E. Hernández-Arguello. 2019. Nutrition of fig (*Ficus carica* L.) under hydroponics and greenhouse condition. *Journal of plant nutrition.* 42:11–12. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1609510> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Moniruzzaman, M. N. Anuar, Z. Yaakob. 2020. Performance evaluation of seventeen common fig (*Ficus carica* L.) cultivars introduced to a tropical climate. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 61: 795-806. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00259-1> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Montes-Cruz, F. J., R. Castro-Rivera, G. Aguilar-Benítez, S. Sandoval-Torres, M. Solís-María. 2016. Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.) Obac Fa Var. Oaxaca Criolla *Rev Mex Cienc Pecu* 2016;7(4):539-552). DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v7i4.4281> [Consultado el 31 de enero 2023].
- Moreno, R. A., J. Aguilar D., A. Luévano G. 2011. Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 29: 763-774. <https://www.redalyc.org/pdf/141/14119052014.pdf> [Consultado el 31 de julio 2023].
- Ramos, C., G. Alcántar, A. Galvis, A. Peña, A. Martínez. 2002. Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego *Terra Latinoamericana.* 20(4): 465-469. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57320411.pdf> [Consultado el 31 de julio 2023].



Sarkhosh, A and P. C. Andersen. 2022. El higo. IFAS Extesnsion. Universidad de Florida. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/MG214.pdf> [Consultado el 31 de julio 2023].

SAS. 2023. SAS® OnDemand for Academics. <https://welcome.oda.sas.com> [Consultado el 31 de julio 2023].

SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2022. Avance de Siembras y Cosechas. Resumen por estado. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do [Consultado el 31 de enero 2023].



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE *Yucca elephantipes*, COLECTADAS EN LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

Jeremías Nataren Velázquez^{184*}, Rosa Isela Rosalino Antonio¹⁸⁵, Ana Lid del Angel Pérez y Juan Valente Megchún García¹⁸⁵

Resumen

Las flores comestibles han sido poco estudiadas en nuestro país a pesar de la gran importancia que ha tenido en la alimentación del ser humano. Anteriormente, la Flor de Izote (*Yucca elephantipes*) tenía poca importancia económica, sin embargo, actualmente la demanda internacional de esta planta ha ido en aumento. El objetivo fue, caracterizar morfológicamente la inflorescencia de *Yucca elephantipes* colectadas a diferentes gradientes altitudinales. Se colectaron 10 panículas de izote a diferentes gradientes altitudinales en la zona centro del estado de Veracruz, las cuales fueron caracterizadas morfológicamente con las variables: longitud, peso total de la panícula, número de ramillas, peso total de las flores, peso del fuste, longitud de las flores, longitud y ancho de los pétalos, longitud-diámetro del pistilo y longitud de estambres. Los resultados obtenidos mostraron que las panículas de izote que presentaron mayor peso de flores fueron las colectadas en la comunidad de Teocelo, además de presentar mayor longitud (5.7 cm) en comparación con las otras localidades. Se concluye que la caracterización morfológica permite conocer cada una de las características de la panícula floral de izote.

Palabras clave: inflorescencias comestibles, flor de izote, panículas, diversidad

¹⁸⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: nataren.jeremias@inifap.gob.mx

¹⁸⁵ Instituto Tecnológico de Boca del Rio.



Introducción

El valor comestible de las flores ha sido poco estudiado en nuestro país, a pesar de la gran tradición de consumo, que de algunas de ellas se halla muy arraigado en México. Lara *et al.* (2013) define que durante siglos las flores comestibles se han utilizado para adicionar color, sabor y aroma a una gran diversidad de platillos en la dieta humana. El consumo de flores proporciona grandes beneficios sobre la salud, ya que se consideran una buena fuente de fitoquímicos (Fernández *et al.*, 2017) además, de que son una rica fuente de compuestos bioactivos que presentan diversas actividades terapéuticas (Mlcek y Rop, 2011). El género *Yucca* son arbustos que se encuentran distribuidas desde el sureste de los Estados Unidos, México y Centroamérica, cuenta con cerca de 35 a 40 especies (Guillot y Van der, 2008). Todas las especies del género son plantas de tipo xerófito; puede observarse que aún las especies que viven en zonas más o menos lluviosas se desarrollan mejor en los sustratos menos húmedos (Guillot y Van der, 2008).

La planta de izote (*Yucca elephantipes*) durante muchos años no tuvo ninguna importancia económica, pues únicamente era utilizado, para delimitar terrenos, la flor como alimento y en raras ocasiones como planta ornamental en jardines, lo cual generaba poco o ningún ingreso para la economía familiar (Carrillo, 2007). La demanda internacional de esta planta ha ido incrementando, como se ha podido observar en el mercado europeo, que en el período 2003-2006 tuvo un incremento anual del 3%. Los principales países que demandan esta planta además de los países europeos, son Estados Unidos y Japón (Chavarría, 2010). El izote es una planta CAM que se utiliza en nuestro medio en prácticas de conservación de suelos y como efecto no es común encontrar el izote como una plantación establecida, sino como parte de barreras vivas, cercos o mojones de terrenos (Chávez *et al.*, 2004). Una de la característica distintiva de las plantas CAM, es la notable flexibilidad del marco metabólico básico, que varía en términos de la proporción de CO₂ asimilado a través de las vías CAM y C3, entre taxones y en respuesta a las condiciones ambientales, y puede conferir una ventaja ecológica para sobrevivir en hábitats con variaciones estacionales en la disponibilidad de recursos (Lüttge, 2004; Campos, 2003).

En México, la inflorescencia del izote se consume como parte de la alimentación en el zonas rurales y urbanas, ésta se comercializa en el verano en los tianguis y mercados; donde es vendida principalmente por medio de los vendedores rurales; también, se ha reportado el consumo como un producto medicinal (Patel, 2012; Chávez *et al.*, 2004). La sistematización de las experiencias en las técnicas de producción de izote, pueden constituirse como un precedente para la formulación de alternativas de su manejo, y



mejor aprovechamiento tomando en cuenta que no existe mayor información y estudios de la especie, de manera que es escasa la información básica que se ha generado para permitir el conocimiento de la dinámica de desarrollo del izote, que dé lugar a diseñar una propuesta de manejo que propicie la conservación y aprovechamiento de la especie de forma sostenible, que a la larga incida en una mejora de las condiciones de vida de los agricultores (Carrillo, 2007; Estrada, 2002).

La inseguridad alimentaria es un riesgo latente que afecta con mayor profundidad a grandes sectores de la población, pues existe 65% de población urbana y rural, donde las familias día a día carecen del acceso a los alimentos y dentro de estos al consumo de alimentos nutritivos y frescos, padeciendo hambre o malnutrición (Pérez y Medina, 2016). Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue, coleccionar panículas de izote (*Yucca elephantipes*) a diferentes gradientes altitudinales, y realizar la caracterización morfológica de cada colecta, en la zona centro del estado de Veracruz, México. (CONABIO, 2009)

Materiales y Métodos

Como se muestra en la Figura 1, las flores de izotes se colectaron en regiones con diferentes características edáficas, climáticas y topográficas; la colecta se realizó desde la Costa hasta la región montañosa del estado de Veracruz, con una altitud de 1153 msnm.

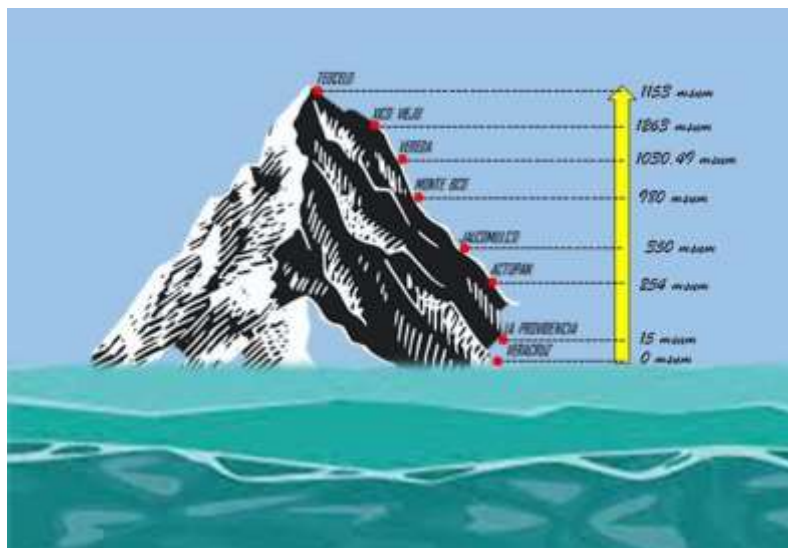


Figura 1. Esquema de la colecta de flores de izote (*Y. elephantipes*) empleadas para un estudio de caracterización.



Se consideraron plantas e inflorescencias representativas del agrosistema de cada uno de los siete estratos, de acuerdo con la altitud. En mayo del 2022, se colectaron un total de 10 panículas florales de Izote (*Y. elephantipes*) para realizar la caracterización morfológica de cada una, como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. No de panículas florales colectadas por comunidades.

Localidades	Altitud (m)	Coordenadas geográficas	No. de panículas colectadas
Xico viejo	1263	19°25'09.01 LN 96°59'54.34 LW	1
Teocelo	1153	19°38'47.87 LN 96°96'45.08 LW	2
Vereda	1030	19°38'58.17 LN 96°94'31.45 LW	1
Monte Blanco	980	19°22'56.73 LN 96°56'18.36 LW	2
Jalcomulco	350	19°19'55.42 LN 96°45'44.48 LW	1
Actopan	254	19°30'16.72 LN 96°36'56.94 LW	1
La Providencia	15	18°56'43.59 LN 96°11'20.94 LW	2

Las variables que se midieron fueron las siguientes: longitud de panícula, diámetro basal, medio y apical, peso total del racimo, peso del fuste y flor, así como el diámetro, altura, grosor de la flor, longitud, diámetro del pistilo y la longitud del estambre. Para la toma de estas variables la flor de Izote se dividió en tres partes (área basal, área media y área apical) Dichas variables se midieron en el laboratorio del Campo Experimental Cotaxtla, utilizando báscula, vernier, cinta métrica, regla y tijeras para podar. El análisis de datos se realizó la prueba Kruskal- Wallis, y se realizó una comparación de medias con nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

Resultados y Discusión

El Cuadro 2 muestra la longitud de los pétalos externos de las selecciones de flor de izote, de las cuales se tomaron medidas de longitud de los pétalos externos del área apical, media y basal. Dentro de las áreas de colecta se encontraron valores altamente significativos en las tres partes de la panícula floral,



así mismo existen cinco grupos diferentes dentro del área apical y media mientras que dentro del área basal se encontraron cuatro grupos.

Las flores predominantes con mayor longitud promedio de pétalos externos fueron las colectadas en la comunidad de Teocelo con 5.9 cm, contrariamente a las colectadas en la comunidad de Jalcomulco Veracruz que mostraron una longitud promedio de pétalos externos de 3.6 cm. Así mismo, en el cuadro se muestra que; para el área media de las inflorescencias provenientes de Xico y Actopan, son estadísticamente iguales, resaltando del resto; las flores colectadas en la localidad de Teocelo con una longitud promedio de pétalos externos de 6.4 cm y en menor longitud promedio las flores de Jalcomulco mostrando 3.6 cm.

Cuadro 2. Longitud (cm) de pétalos externos en tres áreas de las panículas florales selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Vereda	5.2	A	5.5	BC	2.8	B
Jalcomulco	3.6	AB	3.6	A	3.3	A
Xico	4.4	ABC	4.3	ABC	3.5	AB
Actopan	4.0	ABC	4.5	ABC	3.9	AB
Teocelo	5.9	BC	6.4	C	4.8	B
Monte Blanco	4.1	C	4.3	AB	5.6	AB
<i>p</i> *	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.

En el Cuadro 3 se muestra la longitud de pétalos internos, en ellos se hallaron valores altamente significativos en las tres áreas evaluada de la panícula floral. Se puede apreciar que en el área apical se formó cinco grupos, donde la comunidad de Xico y Monte blanco se ubica en el mismo grupo ABC, presentando similitud entre ambas localidades en la parte apical de la flor, por otra parte, las flores colectadas en la comunidad de Jalcomulco muestran una longitud relativamente baja (3.4 cm) en comparación con las colectadas en Teocelo que mostraron una longitud promedio de pétalos externos más altos (5.5 cm) que las otras cinco comunidades. En cuanto al área media se hallaron tres grupos B, A y AB., de los cuales las comunidades Xico-Actopan-Monte Blanco pertenecen al AB, Vereda y Teocelo está dentro del grupo B y por último Jalcomulco que se encuentra en el grupo A, siendo las



flores de Teocelo con mayor longitud (5.9 cm) mientras que las de menor longitud fueron las flores recolectadas en Jalcomulco (3.4 cm).

Cuadro 3. Longitud de pétalos internos en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Vereda	5.0	BC	5.4	B	4.8	B
Jalcomulco	3.4	A	3.4	A	3.3	A
Xico	4.3	ABC	4.2	AB	3.8	AB
Actopan	3.8	AB	4.3	AB	3.8	AB
Teocelo	5.5	C	5.9	B	5.5	B
Monte Blanco	4.1	ABC	4.1	AB	3.8	AB
<i>p</i> *	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados del ancho de pétalos externos, las cuales presentaron valores altamente significativos en el área apical, media y basal. En el área apical se puede apreciar la formación de cinco grupos: BC, ABC, AB, A y C, en donde Jalcomulco y Monte Blanco pertenecen a uno mismo (ABC) donde el ancho de los pétalos externos son similares, es importante resaltar que las flores que presentan mayor medida (ancho) de pétalos externos fueron aquellas colectadas en la comunidad de Teocelo, sin embargo, no se obtuvieron los mismos resultados con las flores colectadas en Actopan, ya que mostraron una medida de la parte ancha de la flor por debajo de las demás (2.2 cm).

Cuadro 4. Ancho de pétalos Externos en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Vereda	2.1	BC	2.2	B	2.0	BC
Jalcomulco	1.9	ABC	1.9	AB	2.0	BC
Xico	1.6	AB	1.5	A	1.6	AB
Actopan	1.4	A	1.5	A	1.3	A
Teocelo	2.2	C	2.5	B	2.4	C
Monte Blanco	1.9	ABC	2.0	AB	1.7	AB
<i>p</i> *	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.



En el Cuadro 5 se muestra que para el área basal media y apical de la panícula, se hallaron diferencias significativas ($P \geq 0.05\%$). En el área apical se formaron 5 grupos de los cuales Monte blanco y Jalcomulco pertenecen al mismo (ABC), pero comparten similitudes con las flores de Teocelo y Xico (BC, AB), los grupos tienen un rango de 2-2.6 cm de ancho; siendo las flores de Actopan (A) más pequeñas con 1.6 cm de ancho, mientras que las flores más anchas fueron las colectadas en la comunidad de Vereda (2.7 cm) que se encuentra dentro del grupo C. Área media: en el área se encontraron tres grupos, donde Xico-Actopan pertenecen al grupo A, Vereda-Teocelo al grupo B y Jalcomulco-Monte Blanco al grupo AB; donde las flores que presentan mayor tamaño (ancho) fueron las colectadas en Vereda (2.8 cm), mientras que las flores de Actopan presentaron la medida más baja (1.8 cm) de todo el grupo.

Cuadro 5. Ancho de pétalos Internos en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Vereda	2.7	C	2.8	B	2.5	BC
Jalcomulco	2.2	ABC	2.2	AB	2.2	ABC
Xico	2.0	AB	2.1	A	2.0	AB
Actopan	1.6	A	1.8	A	1.6	A
Teocelo	2.6	BC	2.8	B	2.9	C
Monte Blanco	2.3	ABC	2.3	AB	2.1	ABC
p^*	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

*Kruskal Wallis ($\alpha 0.05$). Letras iguales muestran igualdad estadística.

En el Cuadro 6, se muestra la longitud del pistilo en flores de izote, en el área apical se encontraron valores significativos ($P \geq 0.05\%$); área apical: el cuadro 6 presenta los tres grupos que se formaron en esta área en el cual Jalcomulco, Actopan y Vereda pertenecen al mismo AB, ya que el rango de longitud de pistilo es de 2.4-3.4 cm, las comunidades Xico y Monte blanco se ubicaron en el grupo A siendo estas relativamente las flores con pistilo más pequeñas (2.2-2.3 cm), mientras que la comunidad de Teocelo se ubicó en el grupo B por presentar pistilo con medidas diferentes a las anteriores, las flores que presentaron mayor longitud de pistilos fueron aquellas que se colectaron en la comunidad de Actopan con 3.4 cm, contrariamente a las flores provenientes de Xico que presentaron una longitud de 2.2 cm.



Para el área media no se hallaron diferencias significativas, todas las comunidades se agruparon en uno solo (A) las flores que presentan menor longitud de pistilo fueron las colectadas en las comunidades de Actopan y Xico (2.2 cm), mientras que las flores con mayor longitud de pistilo fueron las e Teocelo con 2.7 cm.

Cuadro 6. Longitud de Pistilo en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	
Jalcomulco	2.4	AB	2.3	A	2.2	A
Actopan	3.4	AB	2.2	A	2.3	A
Xico	2.2	A	2.2	A	2.1	A
Monte blanco	2.3	A	2.3	A	2.2	A
Vereda	2.5	AB	2.5	A	2.6	A
Teocelo	2.8	B	2.7	A	2.8	A
p^*	< 0.0001		0.060		0.005	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.

En el área apical, media y basal se hallaron diferencias significativas en el diámetro de pistilo (Cuadro 7); dentro del área apical se crearon cinco grupos, en los que las flores de Vereda y Xico pertenecen al grupo ABC ya que tuvieron el mismo diámetro de pistilos (1.0 cm), las flores que presentaron el diámetro más alto fueron las colectadas en Teocelo (1.3 cm) caso contrario a las provenientes de Actopan y Monte Blanco que mostraron un diámetro de 0.9 cm; para el área media Xico y Actopan se centralizaron en el grupo ABC, las flores que mostraron mayor diámetro de pistilos fueron aquellas colectadas en Teocelo (1.3 cm), por el contrario las de menor diámetro presentado fueron las flores provenientes de Actopan y Monte blanco (0.9 cm). En el área basal se hallaron cinco grupos en los cuales las cuales Vereda y Xico son parte del grupo ABC ya que comparten una similitud en cuanto al diámetro del pistilo de las flores (1.0-1.1 cm), las flores que mostraron mayor longitud de pistilos fueron aquellas colectadas en Jalcomulco con 1.2 cm caso contrario a las flores colectadas en Actopan con 0.8 cm de diámetro de pistilo.



Cuadro 7. Diámetro de Pistilo en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Vereda	1.0	ABC	1.0	BC	1.1	ABC
Jalcomulco	1.2	C	1.2	A	1.2	C
Xico	1.0	ABC	1.0	ABC	1.0	ABC
Actopan	0.9	A	0.9	ABC	0.8	A
Teocelo	1.3	BC	1.3	C	1.1	BC
Monte Blanco	0.9	AB	0.9	AB	0.9	AB
p *	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.

En el Cuadro 8 muestra la longitud de estambres de las flores de izote en tres áreas de la panícula floral (apical, media y basal), en el área apical no se presentó diferencia significativa, mientras que el área media y basal si presentaron diferencias significativas ($P \geq 0.05\%$). Para el área apical todas las flores colectadas presentaron una longitud de estambre similares, se encuentran dentro del rango 1.4-1.6 cm por lo tanto se establecieron en un solo grupo. En el área media se crearon tres grupos donde Jalcomulco, Xico y Monte blanco corresponden al grupo AB Actopan y Vereda al grupo A, presentando una longitud de estambres de 1.8 cm las flores de la comunidad de Teocelo se ubicó en el grupo B resaltando de las flores colectadas en otras comunidades, caso contrario a las flores provenientes de Vereda que mostró 1.4 cm de longitud de estambre.

Cuadro 8. Longitud de Estambres en selecciones de flor de Izote.

Localidad	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Jalcomulco	1.5	A	1.7	AB	1.6	AB
Actopan	1.5	A	1.5	A	1.4	A
Xico	1.5	A	1.5	AB	1.3	A
Monte Blanco	1.4	A	1.5	AB	1.5	AB
Vereda	1.5	A	1.4	A	1.8	AB
Teocelo	1.6	A	1.8	B	1.8	B
p (0.05)	0.527		< 0.0001		0.000	

*Kruskal Wallis (α 0.05). Letras iguales muestran igualdad estadística.



La caracterización la floración inicia desde mayo hasta agosto; estos datos son diferentes a los mencionado por (Colindres y Recinos, 2013), quienes mencionan que la floración se lleva a cabo de abril a mayo y la fructificación se ha observado de mayo a junio. La longitud de la panícula de las flores de izote caracterizados en este trabajo. va de los 40 a 90 cm de largo, estos resultados son muy similares a los presentados por (Magallán *et al.*, 2014) en la especie *Yucca queretaroensis* piña (*agavaceae*), quienes reportan que la panícula mostró una longitud de 60-100 cm.

Las flores de *Yucca elephantipes* colectadas en la comunidad de Teocelo presentaron una longitud promedio de pétalos externos de 4.8-6.4 cm, estas mismas flores presentaron mayor medida del ancho de pétalos entre el rango 2.2-2.5 cm, estos datos son mayores a las reportadas por (Magallán *et al.*, 2016) quienes en su estudio reportan que la longitud de pétalos externos de *Yucca queretaroensis* va desde 2.8-3.6 cm por 1.0-1.2 cm de ancho. Las flores de *Yucca elephantipes* colectadas en la comunidad de Teocelo presentaron mayor longitud de pétalos internos que va desde 5.5-5.9 cm por 2.6-2.9 cm de ancho, los datos antes mencionados difieren de los presentados por (Magallán *et al.*, 2016) quienes mencionan que de acuerdo a los estudios realizados con la especie *Yucca queretaroensis* los pétalos internos mostraron una longitud de 2.3-3 cm por 1.2-1.4 cm de ancho. Zhang (2008, 2013) encontraron resultados muy similares a los presentados en este trabajo de caracterización de la flor de Izote.

Las flores que presentaron mayor longitud de estambres fueron las colectada en la comunidad de Teocelo mostrando una longitud de 1.6-1.8 cm, estos datos son mayores a los presentados por (Magallán *et al.*, 2016) quienes reportan que los estambres de la especie *Yucca queretaroensis* mostraron una longitud de estambres de 1.3-1.5 cm. Las flores que presentaron mayor longitud de pistilos fueron aquellas que se colectaron en la comunidad de Actopan con 3.4 cm, contrariamente a las flores provenientes de Xico que presentaron una longitud de 2.2 cm, mientras que las flores que mostraron mayor diámetro de pistilos fueron aquellas colectadas en Teocelo de 1.1-1.3 cm, los datos presentados en este estudio difieren de los presentados por (Magallán *et al.*, 2016) quienes reportan que el izote (*Yucca queretaroensis*) mostro una longitud de pistilo de 1.4- 2 cm por 0.6-0.8 cm de diámetro. Pero son muy similares a los presentados por (Juárez *et al.*, 2018; León, 2017).



Conclusiones

La época de producción de flores de izote inicia a partir de mayo hasta agosto, las panículas se desarrollan en un tiempo relativamente corto de modo que plantar *Yucca elephantipes* resulta una alternativa viable para mitigar el desabasto de alimentos frescos y nutritivos.

Las selecciones de plantas de izote que presentaron flores con mayor tamaño fueron aquellas que se encuentran a una altitud de 1153 msnm, por todo esto es importante mencionar que las panículas de *Yucca elephantipes* se desarrollan mejor a esta altura, ya que tienen las condiciones adecuadas para su desarrollo, sin embargo, materiales encontrados a menor altitud presentan características favorables para su cultivo.

Literatura Citada

- ANACAFE. (2004). Cultivo de Izote. Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera, Guatemala, Guatemala. Asociación Nacional del Café. 7 pp.
- Campos, O. J. (2003). Contenido de macronutrientes, minerales y carotenos en las plantas comestibles autóctonas de Guatemala. Tesis de licenciatura en Nutrición, Universidad San Carlos, Guatemala. 76 p.
- Carrillo, C. E. A. (2007). Experiencias en las técnicas de producción y exportación de la punta de izote (*Yucca elephantipes Regel*). Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Guatemala. 40 p.
- Chavarría, L. (2010). Flor de izote, *Yucca elephantipes*. 1a Edición. Ficha No. 48/UE. 14 pp.
- Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis. (2004). Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia.



- Colindres, A. M. E., & Recinos, R. H. M. (2013). Determinación del análisis fitoquímico preliminar y proximal de las flores y tallo joven de *Yucca guatemalensis* (Izote) y *Rytidostylis gracilis* (Cochinito). Tesis de Licenciatura en Química y Farmacia. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador, Centro America. 184 p.
- CONABIO. (2009). Catálogo taxonómico de especies de México. CONABIO. México City: In Capital Nat. México.
- Del Cid Rosales, L. P. (2013). Evaluación de cuatro tipos de manejo en la propagación del material de descarte del izote (*Yucca elephantipes* Regel; *Agavaceae*) en la localidad de Patulúl, Suchitepéquez. Tesis de licenciatura en Ciencias Agrícolas con énfasis en Cultivos Tropicales, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Escuintla, Guatemala. 50 p.
- Estrada, X. A. (2002.). Valor nutritivo de la muta (*Bromelia pinguin*) y flor de izote (*Yucca elephantipes*) en las preparaciones de mayor consumo en tres comunidades de Chiquimula. Tesis de licenciatura en Nutrición, Universidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. 81 p.
- Fernández, L., Casal, S., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Ramalhosa, E. (2017). Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis* (60), 38-50. Fernández, L. 1981. El izote. *Revista Cafetalera (GT)*, 7(213), 20-21.
- Guillot, O. D., & Van der, M. P. (2008). El género *Yucca* L. en España. *Monografías de la revista Bouteloua* (2), 214.
- Juárez, T. N., Monribot, V. J. L., Jiménez, F. V. M., Suárez, O. R., Aguilar, C. Á. S., Guerrero, A. J. A., & Jiménez, M. (2018). Phytochemical characterization of Izote (*Yucca elephantipes*) flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality* (91), 202 - 210.



- Kozak, D. (2010). The effect of 6-benzylaminopurine, thidiazuron and the type of explants on *in vitro* propagation of *Yucca elephantipes Regel*. *Acta Scientiarum Polonorum - Hortorum Cultus*, 9(3), 211-219.
- León, T. R. (2017). Caracterización y evaluación de saponinas de *Yucca baccata* contra Trofozoítos de *Giardia intestinalis in vitro*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora México. 73 p.
- Lüttge U. (2004). Ecophysiology of Crassulacean Acid Metabolism (CAM). *Annals of Botany*, 93(6), 629-652
- Magallán, H. F., Maruri, A. B., Sánchez, M. E., Hernández, S. L., Luna, Z. J., y Robledo, M. M. (2014). Consideraciones taxonómicas de *Yucca queretaroensis piña (agavaceae)*, una especie endémica del semidesierto queretano-hidalguense. *Acta Botánica Mexicana*, núm. 108, 51-66
- Matuda, E., & Piña, I. (1979). Las plantas mexicanas del género *Yucca*. *Miscelanea Estado de México*. Gobierno del Estado de México.
- Mícek, J., & Rop, O. (2011). Fresh edible flowers of ornamental plants. A new source of nutraceutical foods. *Trends in Food Science Technology*, 22(10), 561-569.
- Nobel, P. S., & Barrera, E. (2004). CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. *Annals of Applied Biology*, 144(1), 1-8.
- Patel, S. (2012). *Yucca*: A medicinally significant genus with manifold therapeutic attributes. *Natural products and bioprospecting*, 2(6), 231-234.
- Pérez, H. G. E., & Medina, R. E. J. (2016). Opciones alimenticias para mitigar problemas de inseguridad alimentaria y nutricional en familias pobres de comunidades rurales del municipio de Tisma, Masaya Nicaragua en el año 2014. Tesis de licenciatura en Desarrollo Rural, Universidad Nacional Agraria (UNA), Facultad de Desarrollo Rural. Managua, Nicaragua. 134 p.



Pöll, E De. 1982. Plantas comestibles y tóxicas de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 6. (Serie Documental Ocasional 1).

Standley, P. C., & Steyermark, J. A. (1952). Flora of Guatemala. Chicago Natural History Museum. Tomo 3, pp 432-435.

Varanda, E. M. (1984). *Yucca L.* species, cultivated in Brazil, as sources of steroidal saponins. Rev. Bras. Bot, 7, 37-39.

Zhang, Y., Zhang, Y. J., Jacob, M. R., Li, X. C., & Yang, C. R. (2008). Steroidal saponins from the stem of *Yucca elephantipes*. Phytochemistry, 69(1), 264- 270.

Zhang, Y., Yang, C. R., & Zhang, Y. J. (2013). New Steroidal Saponins from the Leaves of *Yucca elephantipes*. Helvetica Chimica Acta, 9(96), pp. 1807-1813.



ESTADO NUTRIMENTAL DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE CHILAPA DE ÁLVAREZ, GUERRERO

Martín Solís Martínez^{186*}, Saraí Silva Rosales¹⁸⁶, Juan Antonio Chamú Baranda¹⁸⁶, Rubén Santos Echeverría¹⁸⁷
y Norma Ávila Alistac¹⁸⁸

Resumen

El presente trabajo de investigación se realizó en 2022, con el objetivo de diagnosticar la fertilidad de los suelos agrícolas cultivados con maíz, frijol y calabaza de la comunidad de Nejapa, municipio de Chilapa de Álvarez, Guerrero. Esta localidad se encuentra a una altitud de 1400 m, con una temperatura máxima promedio de 28°C y una mínima de 11°C. El muestreo se realizó por el método del zig-zag, a una profundidad de 20 cm; se colectaron 20 muestras compuestas de suelo representativas de la localidad, se etiquetaron, se secaron bajo sombra sobre papel periódico, se molieron y tamizaron en mallas no. 10 y 20, para su posterior análisis físico y químico, en los laboratorios de Suelos y Química Ambiental del CEP. Los resultados muestran que, del total de los suelos en estudio, 45% son arcillosos, 30% migajones arcillosos, 10% migajón arenoso, 10% migajón-arcilloso-arenoso y 5% migajón limoso, con densidades aparentes cuyos valores oscilaron entre 0.85 y 1.08 g/cm. El color predominante en los suelos en seco fue gris en diferentes tonos; mientras que en húmedo resultó café oscuro. El pH de la mayoría de los suelos es moderadamente alcalino, sin problemas de salinidad. Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extractable, calcio y potasio intercambiables fueron altos y muy altos, mientras que el carbono orgánico fue bajo. Los valores de magnesio se clasifican de medios a altos. El pH se asoció de forma significativa con el contenido de Ca en el suelo, mientras que con el P lo hizo de manera negativa. Se encontró una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico y el nitrógeno total. De manera general, los suelos analizados manifiestan un estado nutricional adecuado para los cultivos que en ellos se establecen, pero se debe tener cuidado en no fertilizar en demasía los cultivos, sobre todo con fósforo y potasio;

¹⁸⁶ Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. *Autor por correspondencia: martin.solis@csaegro.edu.mx

¹⁸⁷ Colegio de Postgraduados.

¹⁸⁸ CIR-Golfo Centro. INIFAP.



además, por el pH que tienen, es necesario efectuar un estudio para determinar el contenido de micronutrientes y detectar posibles deficiencias.

Palabras clave: fertilidad, fósforo, calcio, materia orgánica

Introducción

Los suelos son una de las principales reservas mundiales más importantes de biodiversidad y albergan más del 25% de la diversidad biológica del planeta. Asimismo, más del 40% de los organismos vivos en los ecosistemas terrestres están asociados a los suelos durante su ciclo biológico. La superficie de suelo destinado a la agricultura es de aproximadamente 5 000 megahectáreas (Mha) a nivel mundial o el 38% de la superficie de suelo mundial. En torno a un tercio se utiliza como tierra de cultivo, mientras que los dos tercios restantes son praderas y pastizales para el pastoreo. En lo que respecta a los suelos de cultivo, alrededor de un 10% de su superficie está destinada a cultivos permanentes, tales como árboles frutales, y plantaciones de palmas aceiteras y de cacao. Otro 21% de la superficie está provista para riego, que es una práctica importante de gestión de la tierra en la agricultura (FAO, 2020).

Además, el suelo es un recurso no renovable en términos del tiempo de vida de los humanos, es un bien social, económico, cultural, político y patrimonial, es primordial preservar este elemento indispensable para la existencia de la vida en el planeta. De igual manera, es soporte de toda estructura, fuente de fibras, minerales, materiales de construcción, combustibles fósiles, así como del patrimonio geológico y arqueológico de la Tierra.

La evaluación únicamente de las características químicas del suelo puede resultar en una considerable pérdida económica al no tener en cuenta los factores físicos que puedan estar afectando el correcto aprovechamiento nutricional por parte del cultivo (Álvarez *et al.*, 2015). Por otra parte, la condición física de los suelos tiene gran influencia en aspectos como la fuerza de sostenimiento, la facilidad de la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de almacenamiento de agua y la retención de nutrientes de los mismos.

La baja fertilidad de los suelos es un problema que golpea fuertemente a las áreas de productividad, las cuales se han visto afectadas por el uso excesivo de fertilizantes químicos, lo que ha ocasionado altos índices de contaminación, aumento de la compactación y la salinidad, disminución de la materia



orgánica y el decremento de la microbiología de los suelos, impactando negativamente en el rendimiento, calidad y la rentabilidad de los cultivos. Para establecer un adecuado diagnóstico de la fertilidad del suelo que se desea cultivar, es necesario conocer su fertilidad física y química, ya que el conocimiento de ambas permitirá tener una evaluación óptima de la fertilidad edáfica, como paso previo a la implementación de prácticas correctivas y/o enmiendas al suelo.

Diversos estudios se han realizado en el estado de Guerrero para determinar las características físicas y químicas de los suelos agrícolas (González, 2017; Ramírez, 2018; Alcocer, 2021; García, 2021), con el propósito de hacer más eficiente el uso de los fertilizantes químicos que se aplican a los cultivos.

Derivado de lo anterior, resulta necesario continuar con estudios relacionados con las propiedades físicas y químicas de los suelos, que permitan obtener información acerca de su contenido nutrimental; además, es pertinente señalar que en esta localidad no se tienen reportes relacionados con estos aspectos; por este motivo, el presente trabajo se desarrolló con el objetivo de efectuar un diagnóstico de la fertilidad de los suelos cultivados bajo el sistema milpa (maíz-frijol-calabaza), en la localidad de Nejapa, municipio de Chilapa de Álvarez, Guerrero.

Materiales y Métodos

La presente investigación se llevó a cabo con suelos agrícolas colectados en la localidad de Nejapa, municipio de Chilapa de Álvarez, Guerrero. Este municipio se encuentra ubicado al oriente y a 57 km de Chilpancingo, Guerrero; es la entrada a la región de La Montaña. Tiene una superficie de 587 km², que representa 5.44% de la superficie regional y 0.92% de la estatal, con una altitud de 1400 m (Enciclopedia Guerrerense, 2020).

Nejapa es un pueblo rural y es el más poblado, en la posición número 3 de todo el municipio, se encuentra a una altura de 1400 metros sobre el nivel del mar (Pueblos América, 2020). La temporada de lluvia dura alrededor de 6.6 meses, del 25 de abril al 13 de noviembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 mm. El mes con más lluvia es septiembre, con un promedio de 168 mm de lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 5.4 meses, del 13 de noviembre al 25 de abril. El mes con menos lluvia es diciembre, con un promedio de 3 mm de lluvia (Meteored, 2016).

La recolección de las muestras de suelo se llevó a cabo durante el mes de enero del año 2022. En cada parcela se recolectaron 8 submuestras a una profundidad de 20 cm (Figura 1-A), distribuidas en zig-

zag, éstas se depositaron en una cubeta de plástico; posteriormente, se mezclaron sobre un costal limpio y por el método de cuarteos (Figura 1-B) se obtuvo una muestra compuesta de 2 kg, la cual se guardó en una bolsa de polietileno transparente y se etiquetó con los datos del productor. Este mismo procedimiento se realizó en las 20 parcelas de dicha comunidad, en una superficie total aproximada de 30 hectáreas. Las muestras colectadas se colocaron sobre papel periódico y se dejaron secar a la sombra (Figura 1-C), después se trituraron con un mazo de madera y se pasaron a través de tamices de mallas no. 10 y 20. Finalmente, se colocaron en bolsas de plástico transparente con su identificación respectiva. Los análisis físicos y químicos se realizaron en los laboratorios de Suelos y Química Ambiental del CEP-CSAEGRO, de acuerdo con las técnicas establecidas en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (2002).

Se realizó un análisis de correlación lineal simple (SAS, versión 9.4), a fin de conocer la asociación entre algunas propiedades físicas y químicas de los suelos. Las variables analizadas fueron: % Arena, % Arcilla, % Limo, Dap, pH, CE, MO, COS, N, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ .



Figura 1. Procedimiento del muestreo de los suelos de Nejapa, municipio de Chilapa de Álvarez, Guerrero. A) Toma de la submuestra a la profundidad de 20 cm, B) Formación de la muestra compuesta por el método de cuarteos, C) Secado de las muestras a la sombra.

Resultados y Discusión

Textura

En el Cuadro 1 se muestran los porcentajes de arena, arcilla y limo de los suelos en estudio, determinados por el método de Bouyoucos y su clasificación con base en el triángulo de texturas. Los



resultados muestran que, del total de los suelos en estudio, 45% son arcillosos, 30% migajón arcilloso, 10% migajón arenoso, 10% migajón-arcilloso-arenosos y 5% migajón limoso.

Cuadro 1. Análisis mecánico y clasificación de la textura de los suelos de la localidad de Nejapa, Chilapa de Álvarez, Guerrero.

No. de Muestra	Análisis mecánico (%)			Clasificación
	Arena	Arcilla	Limo	
1	32.28	29.00	38.72	Migajón arcilloso
2	17.00	61.00	22.00	Arcilla
3	45.00	33.72	21.28	Migajón-arcilloso-arenoso
4	31.00	35.72	33.28	Migajón arcilloso
5	21.00	26.44	52.56	Migajón limoso
6	21.72	52.44	25.84	Arcilla
7	19.72	58.44	21.84	Arcilla
8	21.00	57.00	22.00	Arcilla
9	19.56	58.44	22.00	Arcilla
10	56.28	25.72	18.00	Migajón arcilloso arenoso
11	23.72	55.72	20.56	Arcilla
12	55.72	19.72	24.56	Migajón arenoso
13	37.00	37.72	25.28	Migajón arcilloso
14	50.28	33.00	16.72	Migajón arcilloso
15	25.72	57.72	16.56	Arcilla
16	34.04	45.24	20.72	Arcilla
17	32.76	51.24	16.00	Arcilla
18	48.04	33.24	18.72	Migajón arcilloso
19	69.70	18.30	12.00	Migajón arenoso
20	37.72	36.28	26.00	Migajón arcilloso

Los suelos de textura arcillosa forman terrones muy duros cuando se secan y son muy plásticos y pegajosos, formando una cinta muy larga y flexible. Cuando están húmedos, algunas arcillas finas y muy ricas en coloides, son desmenuzables y carecen de plasticidad. Los suelos limosos tienen gránulos



de tamaño intermedio, son fértiles y fáciles de trabajar, forman terrones fáciles de deshacer cuando están secos. Por otro lado, los suelos arenosos son de fácil manejo, pero tienen pocas reservas de nutrimentos disponibles para las plantas (FAO, 2020).

En un estudio realizado por (Ramírez, 2018), en suelos agrícolas del municipio de Ahuacuotzingo, Guerrero, reporta texturas migajones arcillosos arenosos, arcillosos y arcillo arenosos, en su mayoría.

Por su parte, Alcocer (2021), reporta texturas franco arcillo arenosas, franco arcillosas y franco arenosas en suelos agrícolas pertenecientes a las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, Guerrero.

Los estudios anteriores indican una gran variabilidad de texturas en los suelos del estado de Guerrero.

Color

Los colores predominantes en las muestras analizadas de suelo seco son el gris 20%, gris rojizo 20% y gris rosáceo 20%. Mientras que los suelos en estado húmedo presentaron, en su mayoría, colores café oscuro y café rojizos oscuros.

Densidad aparente

La densidad aparente (Dap) de los suelos agrícolas, determinada por el método de la probeta, varió de 0.85 a 1.08 g/cm (Cuadro 2). El desarrollo de los cultivos se ve afectado, por el incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica a la penetración y la baja porosidad, reduciendo considerablemente el desarrollo radicular de los cultivos. Es importante mencionar que el valor crítico de la densidad aparente para el desarrollo radicular, tiene que ver con la textura del suelo y la especie sembrada. García, (2015) y Alcocer (2021), reportan valores de densidad entre 0.98 y 1.30 g/cm, en suelos dedicados al cultivo de cacahuete en la localidad de Tlaxmalac, Guerrero; mientras que, en la localidad de Mochitlán, Guerrero, éstas oscilan entre 0.97 y 1.20 g/cm. En suelos cultivados con *Agave cupreata* Trel y Bergel, en los municipios de Eduardo Neri y Chilapa de Álvarez Guerrero, la densidad aparente está entre 0.6 g/cm y 1.0 g/cm (González, 2017). En el municipio de Pascala del Oro, Guerrero, la mayoría de los suelos presenta valores bajos (0.70 - 1.10 g/cm) (García, 2021). Los valores de Dap de los suelos en estudios anteriores, coinciden con los reportados en el presente trabajo.

Reacción del suelo (pH) y conductividad eléctrica

Los valores de pH y del contenido de sales solubles obtenidos en los suelos en estudio, se muestran en el Cuadro 2. De los suelos analizados, el 70% presentan un pH moderadamente alcalino, 15% son moderadamente ácidos y 15% neutros. Sela (2021), menciona que el pH de los suelos naturales suele oscilar entre 4.5 y 8.0, y que la mayoría de los nutrimentos vegetales están disponibles a un pH ligeramente ácido de 5.8 a 6.5. González (2017) y Ramírez (2018), reportan que los suelos agrícolas de



los municipios de Eduardo Neri, Chilapa de Álvarez y Ahuacutzingo, Guerrero, son moderadamente alcalinos.

Cuadro 2. Reacción del suelo (pH) y contenido de sales solubles en los suelos agrícolas de Nejapa, Gro.

No. de muestra	pH	Clasificación	CE (dS m ⁻¹)	Dap (g cm ⁻³)
1	8.00	Moderadamente alcalino	0.223	1.00
2	7.80	Moderadamente alcalino	0.222	1.00
3	7.60	Moderadamente alcalino	0.411	0.93
4	7.90	Moderadamente alcalino	0.340	0.89
5	7.90	Moderadamente alcalino	0.279	0.85
6	8.00	Moderadamente alcalino	0.200	0.97
7	7.40	Moderadamente alcalino	0.254	1.05
8	6.30	Moderadamente ácido	0.261	1.00
9	7.70	Moderadamente alcalino	0.231	1.08
10	7.90	Moderadamente alcalino	0.241	0.87
11	7.60	Moderadamente alcalino	0.224	1.01
12	6.30	Moderadamente ácido	0.130	0.92
13	7.70	Moderadamente alcalino	0.327	0.95
14	7.90	Moderadamente alcalino	0.213	0.98
15	5.10	Moderadamente ácido	0.217	1.02
16	7.90	Moderadamente alcalino	0.239	0.95
17	6.90	Neutro	0.259	1.06
18	7.60	Moderadamente alcalino	0.179	0.94
19	7.20	Neutro	0.445	0.99
20	6.80	Neutro	0.186	0.92

E.D.S*= Efectos Despreciables de Salinidad.

Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos indican que los suelos agrícolas en estudio tienen bajos contenidos de sales solubles (valores menores de 1.0 Ds/m), por lo que no afectan el desarrollo de los cultivos (E.D.S.*).



El valor de conductividad eléctrica que presenta el suelo, influye en gran medida en el esfuerzo que tiene que realizar la raíz de la planta para absorber los nutrimentos de la solución de fertilizantes aportada. TecFresh (2021), Alcocer (2021) y Ramírez (2018), refieren que los valores de la conductividad eléctrica en las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, y Ahuacuotzingo, Guerrero, respectivamente, son inferiores a 1.0 Ds/m, por lo que no representan riesgo de salinidad para los cultivos.

Materia orgánica

Los valores de materia orgánica en la mayoría de los suelos analizados son muy altos (6.4 a 9.2%) (Cuadro 3), y estos resultados coinciden con lo reportado por González (2017) y García (2021), para los suelos agrícolas de los municipios de Eduardo Neri, Chilapa de Álvarez y Pascala del Oro, Guerrero.

Carbono orgánico

De acuerdo con los resultados obtenidos en las muestras de suelo analizadas, el 50% de éstas presentan un contenido bajo de carbono, mientras que el 30% se encuentra en un rango medio de este elemento (Cuadro 3). En la publicación de la FAO, (2017), se señala que la distribución del carbono orgánico del suelo (COS) depende en gran medida del tipo y uso de suelo, y las condiciones climáticas. García (2021) y Alcocer (2021) realizaron un análisis de los suelos agrícolas de Pascala del Oro, Tlaxmalac y Mochitlán, Gro., reportando contenidos muy bajos de carbono.

Nitrógeno total

De acuerdo con los resultados obtenidos, 70% de las muestras de suelo analizadas presentaron contenidos muy altos de este elemento (Cuadro 3). Castillo (2015), menciona que para que el fertilizante nitrogenado sea bien aprovechado por las plantas de maíz, el pH del suelo y del agua debe ser de 5.8 a 7.2, si el pH es superior a 8.2, se deben utilizar productos como el yeso y el azufre. García (2021), en suelos de la localidad de Pascala del Oro, Guerrero reporta contenidos muy altos de nitrógeno total. Por su parte, Alcocer (2021) reporta niveles bajos y muy bajos de nitrógeno total.



Cuadro 3. Contenido de materia orgánica (%MOS), carbono orgánico (%COS) y nitrógeno total (%N total), en suelos agrícolas de Nejapa, Chilapa de Álvarez, Guerrero.

Muestra	%MOS	Clasificación	%COS	Clasificación	%N total	Clasificación
1	7.7	Muy alto	4.46	Media	0.384	Muy alto
2	1.9	Medio	1.11	Muy baja	0.095	Bajo
3	5.8	Alto	3.34	Baja	0.290	Muy alto
4	8.3	Muy alto	4.83	Media	0.415	Muy alto
5	1.9	Medio	4.11	Baja	0.095	Bajo
6	5.8	Alto	3.34	Baja	0.290	Muy alto
7	0.6	Bajo	0.37	Muy baja	0.030	Bajo
8	8.3	Muy alto	4.83	Media	0.416	Muy alto
9	5.1	Alto	2.97	Baja	0.255	Muy alto
10	3.2	Medio	1.86	Muy baja	0.160	Alto
11	7.7	Muy alto	4.46	Media	0.385	Muy alto
12	5.1	Alto	2.97	Baja	0.255	Muy alto
13	9.6	Muy alto	5.57	Media	0.480	Muy alto
14	6.4	Muy alto	3.71	Baja	0.320	Muy alto
15	5.1	Alto	2.97	Baja	0.255	Muy alto
16	7.7	Muy alto	4.46	Media	0.385	Muy alto
17	6.4	Muy alto	3.71	Baja	0.320	Muy alto
18	4.5	Alto	2.60	Baja	0.225	Alto
19	2.6	Medio	1.49	Muy baja	0.130	Medio
20	5.1	Alto	2.97	Baja	0.255	Muy alto

Fósforo extractable

En el Cuadro 4 se presentan los valores obtenidos de fósforo en las muestras de suelo analizadas por los métodos de Bray P-1 (suelos ácidos) y Olsen (suelos neutros y alcalinos), así como su clasificación.



Cuadro 4. Fósforo extractable por los métodos de Olsen y Bray P-1 de los suelos agrícolas de Nejapa, Chilapa de Álvarez, Guerrero.

No. de muestra	P (mg kg ⁻¹)	Clasificación	No. de muestra	P (mg kg ⁻¹)	Clasificación
1	10.4	Medio	11	30.7	Alto
2	13.1	Alto	12	29.9	Medio
3	57.7	Alto	13	23.9	Alto
4	20.7	Alto	14	14.3	Medio
5	16.7	Alto	15	95.1	Alto
6	15.9	Alto	16	16.3	Alto
7	42.2	Alto	17	15.1	Alto
8	40.8	Alto	18	25.9	Alto
9	22.3	Alto	19	36.2	Alto
10	10.8	Medio	20	57.3	Alto

Los resultados indican que 80% de las muestras de suelo presentan niveles altos de fósforo y 20% se clasifican como medios. Cuando el contenido inicial de fósforo extractable del suelo es menor al umbral, hay que enriquecer el suelo y, si ese nivel inicial es muy alto, no se fertiliza y se deja bajar el fósforo extractable no aplicando fertilizantes durante varios años hasta llegar al umbral (Álvarez y Steinbach, 2017).

González (2017) y García (2021) reportan concentraciones bajas de este elemento en suelos cultivados con agave en los municipios de Eduardo Neri y Chilapa de Álvarez, y en suelos ácidos de Pascala del Oro, Guerrero. Sin embargo, Alcocer (2021) registró contenidos altos y medios en suelos cultivados con cacahuate en las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, Guerrero.

Cationes intercambiables

La concentración de calcio, magnesio y potasio intercambiables, así como su clasificación, se muestra en el Cuadro 5. Con respecto al calcio, todas las muestras de suelo analizadas presentan altos niveles de este elemento.



Cuadro 5. Concentración y clasificación de los cationes intercambiables en suelos de Nejapa, Chilapa de Álvarez, Guerrero.

No. de muestra	cmol(+)/kg suelo seco					
	Ca ²⁺	Clasificación	Mg ²⁺	Clasificación	K ⁺	Clasificación
1	52.8	Alta	3.6	Alta	0.548	Media
2	39.6	Alta	1.6	Media	0.851	Alta
3	35.6	Alta	2.0	Media	3.616	Alta
4	72.0	Alta	1.2	Baja	0.811	Alta
5	65.2	Alta	2.8	Media	0.811	Alta
6	71.2	Alta	7.6	Alta	0.680	Alta
7	32.8	Alta	1.2	Baja	0.559	Media
8	40.0	Alta	2.0	Media	0.811	Alta
9	46.4	Alta	1.6	Media	0.975	Alta
10	47.6	Alta	6.4	Alta	4.493	Media
11	50.0	Alta	1.2	Baja	3.178	Media
12	46.0	Alta	6.8	Alta	1.973	Alta
13	64.0	Alta	1.2	Baja	0.570	Media
14	48.0	Alta	1.2	Baja	3.836	Alta
15	31.6	Alta	2.0	Media	3.178	Alta
16	71.2	Alta	2.8	Media	0.734	Alta
17	33.2	Alta	2.8	Media	0.986	Alta
18	28.4	Alta	4.8	Alta	3.397	Alta
19	18.8	Alta	0.8	Baja	7.233	Alta
20	25.2	Alta	1.2	Baja	4.932	Alta

El exceso de calcio en el suelo origina inmovilización de algunos elementos como el hierro, boro, cinc y manganeso; al encontrarse el calcio como carbonato, lo que produce es un aumento del pH que favorece la precipitación de dichos elementos, produciéndose una inmovilización de éstos y su déficit nutrimental para la planta al ser impedida su absorción por el sistema radicular. Se ha observado también inhibición de la asimilación del potasio (Moyeja, 2017). En los suelos agrícolas de las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, Gro., dedicados al cultivo de cacahuete, (Alcocer, 2021) reporta



niveles altos de Ca^{2+} . Mientras que en otro estudio de suelos en Pascala del Oro, Guerrero, realizado por García (2021), obtuvo concentraciones medias y bajas de este catión.

Magnesio

Los suelos analizados de la localidad de Nejapa, Guerrero, presentan niveles medios y bajos de este ion (Cuadro 5). El Mg en las plantas forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis (Guevara, 2010). El síntoma de deficiencia más característico se ve como clorosis internerval en las hojas viejas, es muy común la deficiencia de Mg en suelos arenosos o suelos de baja CIC. Los suelos agrícolas de las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, dedicados al cultivo de cacahuete, y los cultivados con agave, en los municipios de Eduardo Neri y Chilapa de Álvarez, Gro., presentan niveles similares a los reportados en el presente trabajo (muy bajos y bajos de magnesio intercambiable) (Alcocer, 2021; González, 2017).

Potasio

Los suelos agrícolas en estudio muestran, en su mayoría, niveles altos de este nutrimento (Cuadro 5). El potasio disponible se encuentra normalmente en niveles deficitarios, en los suelos de textura arenosa. Estudios realizados en suelos de la localidad de Pascala del Oro (García, 2021) y en los municipios de Eduardo Neri y Chilapa de Álvarez (González, 2017) reportan contenidos bajos y muy bajos de este elemento. Sin embargo, Alcocer (2021) obtuvo concentraciones medias de potasio en suelos agrícolas de las localidades de Tlaxmalac y Mochitlán, Gro., dedicados al cultivo de cacahuete.

Análisis de correlación

El pH correlacionó de forma significativa y positiva con el calcio del suelo ($r=0.510^*$); la presencia de calcio en los suelos se ve favorecida por el pH alcalino, el carbonato de calcio, el yeso, silicatos y la materia orgánica son fuente de este elemento, que además es el principal responsable de crear y mantener la estructura de los suelos agrícolas. Por otra parte, el pH se asoció negativa y altamente significativa con el fósforo extractable del suelo ($r=-0.780^{**}$). Borges *et al.* (2012), al caracterizar las propiedades químicas del suelo y su asociación con macro elementos en áreas destinadas a pastoreo, determinaron que minerales como el fósforo y calcio estuvieron altamente asociados a las condiciones de pH en los suelos, siendo éste un factor determinante en la disponibilidad de estos elementos para la nutrición. El COS y el nitrógeno total se correlacionaron de forma altamente significativa con la MOS ($r=0.880^{**}$), uno de los índices empleados para determinar la calidad de la MOS es la relación carbono: nitrógeno, indicador que refleja la velocidad de mineralización del nitrógeno para la vegetación, relaciones altas indican que la MOS se descompone lentamente, ya que la reserva de nitrógeno es



inmovilizada por los microorganismos, por lo que no puede ser utilizado por las plantas (Gamarra *et al.*, 2018).

Conclusiones

1. La textura de los suelos en su mayoría fue arcillosa, aunque algunos presentaron textura migajón arcillosa, migajón arenoso, migajón-arcilloso-arenoso y migajón limoso; con una densidad aparente de entre 0.85 a 1.08 g/mL.
2. El color es gris en seco y café oscuro en húmedo, con un pH moderadamente alcalino en la mayoría de los suelos y sin problemas de salinidad.
3. Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo extractable, calcio y potasio intercambiables son altos y muy altos, mientras que el carbono orgánico es bajo.
4. Los valores de magnesio se clasifican de medios a altos.
5. El pH se asoció de forma significativa con el contenido de Ca en el suelo, mientras que con el P lo hizo de manera negativa.
6. Se encontró una estrecha relación entre el contenido de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico y el nitrógeno total.
7. De manera general, los suelos analizados manifiestan un estado nutricional adecuado para los cultivos que en ellos se establecen, pero se debe tener cuidado en no fertilizar en demasía los cultivos, sobre todo con fósforo y potasio; además, por el pH que tienen, resulta necesario efectuar un estudio para determinar el contenido de micronutrientes y detectar posibles deficiencias.

Literatura Citada

Alcocer, B.R.J. 2021. Diagnóstico nutricional de los suelos dedicados al cultivo de cacahuate en Tlaxmalac y Mochitlán, Guerrero. Tesis de licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero. México.pp.9.



Álvarez, R., Álvarez, C., Fernández, P., Steinbach, H., Paepe, J., Rubio, G., *et al.* 2015. Fertilidad de Suelos y Fertilización en la Región Pampeana, II. ed. Editorial Facultad de Agronomía, Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Álvarez, R. y Steinbach, H.S. 2017. Modeling soil test phosphorus changes under fertilized and unfertilized managements using artificial neural networks. *Agronomy Journal* 109: 2278-2290.

Borges, J.A., Barrios, M., Sandoval, E., y Márquez, O. 2012. Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yacucuy. *Bioagro* 24(2): pp.121-126.

Castillo, T.H. 2015. Fertilización nitrogenada en maíz. Disponible en: <http://inifapcirne.gob.mx/Eventos/2015/Boletin%20Electronico%20V.1,%20No.1.pdf>. Consultado: 19/10/2022.

Enciclopedia Guerrerense. 2020. Municipio de Chilapa de Álvarez. Disponible en: <https://enciclopediagro.mx/indice-municipios/municipio-de-chilapa-de-alvarez/>. Consultado: 12/10/2022.

FAO. 2017. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura Roma, Italia. pp. 34-35.

FAO. 2020. La biodiversidad de los suelos es ignorada, pero es fundamental para alimentar al planeta. Disponible en: <https://news.un.org/-es/story/2020/12/14852132>. Consultado: 12/10/2022.

Gamarra, C.C.L., Díaz, M.I.L., Vera, O. M. P., Galeano, A. J. N., y Cabrera, C. 2018. Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9: 4-25. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>



- García, R. 2015. Efecto de sistemas de labranza en propiedades físicas del suelo y desarrollo radicular del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Rev. Instituto de Investigación (RIIGEO), pp.109–113.
- García, A. A. 2021. Propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de Pascala del Oro, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero. México. 13 pp.
- González, F.J.C. 2017. Indicadores de calidad de los suelos cultivados con agave mezcalero (*Agave cupreata* Trel y Bergel) en dos municipios del estado de Guerrero. Tesis de licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero. México. 9 pp.
- Guevara, A.D. 2010. Calcio y magnesio del suelo. Disponible en: <file:///C:/Users/52756/Downloads/Calcio%20y%20Magnesio%20Xi.pdf>. Consultado:21/10/2022.
- Meteored. 2016. Clima en Chilapa De Álvarez. Disponible en: https://www.meteored.mx/clima_Chilapa-America+Norte-Mexico-Nayarit--1-73940.html. Consultado: 11/10/2022.
- Moyeja, S. J. 2017. Nutrición Vegetal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Universidad de los Andes. Mérida Venezuela.6 pp.
- NOM-021-SEMARNAT-2000. 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. México.
- Pueblos América. 2020. Nejapa. Chilapa de Álvarez, Guerrero. Disponible en: <https://mexico.pueblosamerica.com/i/nejapa-2/>. Fecha de consulta 12/10/2022.



Ramírez, S.M. 2018. Estado Nutricional de los suelos de Ahuacuotzingo, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero. México. P.6.

Sela, G. 2021. El pH y la acidez del suelo. Disponible en: <https://cropaia.com/es/blog/el-ph-del-suelo/>. Consultado: 16/10/2022.

TecFresh. 2021. Cómo influye la Conductividad Eléctrica en suelo. Disponible en: [https://tecfresh.com/como-influye-la-conductividad-electrica-en-el suelo/](https://tecfresh.com/como-influye-la-conductividad-electrica-en-el-suelo/). Consultado:17/10/2022.



EVALUACIÓN FISIOLÓGICA DE ACCESIONES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN ETAPA TEMPRANA

Michell Sánchez Lima^{189*}, Genaro Pérez Jiménez¹⁸⁹ y Gabriela Hernández Hernández¹⁸⁹

Resumen

Las semillas son un recurso importante de la planta, tiene la función de preservar la especie y al mismo tiempo propagarse, para que esto suceda debe tener calidad física. El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta fisiológica de 29 accesiones de maíz colectadas en localidades pertenecientes a los estados de Puebla y Tlaxcala. El experimento se realizó en las instalaciones del INIFAP, campo experimental San Martinito, el diseño experimental fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones, una prueba estándar de germinación, las variables a evaluadas fueron: longitud de tallo, raíz, volumen radicular, peso fresco de planta, raíz y peso seco. En el análisis de varianza se detectó diferencias estadísticas en las variables. Los genotipos EAB22A, GAR22A y RMV22A mostraron tener un crecimiento de raíz respecto a ACR22A, mientras que en el análisis por Tukey ($p \leq 0.05$) el genotipo IBG22A fue sobresaliente en peso fresco y seco de raíz ante el genotipo JML22A considerándolo para propósito forrajero. En los datos de germinación y velocidad de emergencia entre genotipos se identificaron precoces RSP22A, intermedios a YRM22R, CRJ22A, MTS22R, ASS2A, FCG22A, ICC22A, YGF22A y tardíos ASA22A, HBR22A, EAB22A, GARR22A con una amplitud de 84.03% - 53.01% de germinación respectivamente.

Palabras clave: germinación, genotipos, plántula

Introducción

En México el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) desempeña un rol importante, desde el ámbito económico, cultural y social, se posiciona entre los cereales más importantes en el mundo ya que existe demanda de

¹⁸⁹ INIFAP Campo experimental San Martinito *Autor por correspondencia: michellsanchezlima8@gmail.com



sus múltiples productos que derivan de él (SADER, 2022). En el ámbito alimentario, en 2021 su consumo *per cápita* fue de 346.6 kg/año. La producción nacional fue de 27, 503, 478 t, posicionado a México en el séptimo país a nivel mundial (SIAP, 2022).

Sus semillas nativas son una fuente importante de diversidad genética y cultural puesto que desarrollan una función importante en la seguridad alimentaria (Hernández *et al.*, 2016). Su conservación y generación de la biodiversidad *in situ* se debe a agricultores de comunidades rurales (FAO, 2016).

Las semillas son esenciales para subsistencia de la humanidad ya que albergan el potencial genético de las especies (FAO, 2023). La calidad de la semilla está determinada por cuatro parámetros: físicos libres de impurezas, fisiológicos, el porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, vigor. Augusto *et al.* (2023). La calidad de una accesión activa el potencial genético superior, su pureza varietal y la sanitaria. La madurez fisiológica es la etapa del desarrollo de la semilla en la que alcanza su máximo peso seco, que corresponde con el fin del periodo de acumulación, y también es cuando ocurre la máxima germinación y vigor. A partir de esta etapa comienza el deterioro de las semillas.

Es de suma importancia clasificar e identificar las semillas de calidad ya que éstas son las precursoras para el desarrollo de óptimos cultivos; se estima que en México se pierde hasta 22% del grano de maíz almacenado y se reduce hasta en 40% la germinación del grano habilitado como semilla (Leños *et al.*, 2007). Este contexto ejemplifica la importancia de hacer pruebas de germinación en etapas tempranas del maíz, para evaluar su calidad fisiológica.

La agricultura enfrenta desafíos constantes debido a factores ambientales como sequías, heladas y enfermedades, que afectan la productividad de los cultivos. Las pruebas de germinación rápidas han sido herramienta de estudio para evaluar y seleccionar variedades de cultivos agrícolas más resistentes y vigorosas, permitiendo estudiar la viabilidad y eficiencia de germinación de las semillas en condiciones adversas brindando información crucial para mejorar la capacidad del cultivo.

Incluyendo el estrés salino uno de los factores perjudiciales en el crecimiento de los cultivos lo que lleva a pérdidas de rendimiento. Para abordar este desafío se han llevado pruebas rápidas que han sido útiles para determinar genotipos viables y adaptables a diferentes condiciones climáticas en maíz para ser evaluadas a ser resistentes a estrés salino (Sangoquiza *et al.*, 2022). Estas pruebas buscan no solo en esta variable sino en otras identificar variedades resistentes y que se adapten a las condiciones adversas.



Materiales y Métodos

El experimento se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) campo experimental San Martinito (CESMAR).

El material seminal fue colectado en localidades pertenecientes al estado de Puebla durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero 2022-2023, cada genotipo fue registrado en una de hoja pasaporte en donde se registró el nombre del productor y datos relevantes de la colecta; todos los materiales fueron de semillas nativas.

En total se evaluaron 29 genotipos de diferentes localidades y dos estados Puebla y Tlaxcala.

(Cuadro 1) Se realizó una prueba estándar de germinación tal como lo sugiere (ISTA, 2023). Consistió en colocar sobre una superficie plana dos toallas absorbentes marca Regio®, previamente se preparó una mezcla al 10% de hipoclorito de sodio y por cada muestra se puso en imbibición las semillas envueltas con una cantidad de 100 mL.

Cada muestra fue representada por 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras con orientación a pedúnculo basal y embrión frontal; una vez colocadas se cubrieron con otras dos toallas agregándose 100 mL y se enrollaron colocándose dentro de bolsas de polietileno transparente en forma vertical en una cámara con luz LED. La cámara de crecimiento se mantuvo a un fotoperiodo constante de 16 horas de luz y ocho de obscuridad programado con un temporizador de la marca Steren® la temperatura constante de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

El diseño experimental fue por bloques completamente al azar, donde cada genotipo corresponde a un tratamiento con tres repeticiones (tres repeticiones de 25 semillas cada uno) distribuidas por muestra.

Cuadro 1. Datos recolectados para identificar la zona a la que pertenecen los donantes de las accesiones de semillas d maíz.

Productor	ID	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
			(N)	(W)	(m.s.n.m.)
Aaron Susane Ake	ASA22A	Sn. Felipe Hueyotlipan 2	19°35'00.24"	98°16'33.96"	2,615
Adán Cerón Ramírez	ACR22A	Sn. Agustín Atzompa 1	19°12'15.26"	98°30'41.16"	2548



Productor	ID	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
			(N)	(W)	(m.s.n.m.)
Andrés Urizar Ramírez	AUR22R	Sn. Antonio Tlaltenco1	19°09'31.32"	98°36'01.08"	2584
Antonia Sánchez Schz.	ASS 22A	Sta. María Atexca 1	19°12'15.21"	98°30'41.16"	2,661
Carlos Alameda López	CAL22R	Sn. Antonio Tlatenco 1	19°09'31.32"	98°36'01.08"	2584
Cristian Ramírez Juárez	CRJ22A	Ignacio Altamirano 1	19°22'03.00"	98°35'00.44"	2,665
Emilio Tercero Ramírez	ETR22A	Huejotzingo 1	19°05'36.24"	98°19'50.52"	2,266
Enrique Aguilar Baltazar	EAB22A	Ixtenco, Ixtenco 2	19°13'39.36"	98°51'14.76"	2,500
Felipe Cornejo Gumaro	FCG22A	Sta. María Atexca 2	19°57'36.72"	98°03'32.37"	2,661
Griselda Aguilar Rojas	GAR22A	Nepopualco Huejotzingo1	19°14'06.72"	98°19'50.52"	2,200
Gustavo Sánchez Cabrera	GSC22A	Calopa Yahuquemecan2	19°24'13.00"	98°10'50.01"	2,433
Hugo R. Benítez R.	HBR22A	Sn. Antonio Chiautzingo1	19°09'30.32"	98°33'01.08"	2,584
Ignacio Baltazar Gonzales	IBG22A	Ixtenco, Ixtenco2	19°13'39.36"	97°51'14.76"	2,500
Isau Cortez Calderón	ICC22A	Sn. Martín Texmelucan1	19°12'15.12"	98°29'33.72"	2,263
Julio Méndez Luna	JML22A	Tetla de la Solidaridad2	19°34'18.48"	97°58'57.36"	2,438
Julio C. Flores	JCF22A	Sta. María Ixcotla1	19°25'19.14"	98°18'56.81"	2,591
Luz C. Pérez M.	LPM22R	Sn. Lorenzo Chiautzingo	119°14'21.84"	98°26'19.68"	2,381
María C. Tzoni Solís	MTS22R	Ixtenco, Ixtenco 2	19°13'39.36"	97°51'14.76"	2,500
María D. Martínez Solís	MMS22A	Ixtenco, Ixtenco 2	19°13'39.36"	97°51'14.76"	2,500
Mariana Osorio Castro	MOC22R	Sn. Andrés Hueyacatitla 1	19°20'58.20"	98°26'31.56"	2,470



Productor	ID	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
			(N)	(W)	(m.s.n.m.)
Nicolasa Romero Hernández	NRH22A	Nepopualco Huejotzingo 1	19°14'06.72"	98°19'50.52"	2,200
Pedro Rosales Rojas	PRR22A	Ignacio Zaragoza 1	19°14'03.84"	98°39'48.60"	2,300
Reina Moreno Vega	RMV22A	Ixtenco, Ixtenco 2	19°13'39.36"	97°51'14.76"	2,500
Roberto Sánchez Pérez	RSP22A	Sn. Lorenzo Chiautzingo 1	19°14'21.84"	98°26'19.68"	2,381
Saul Diaz Hernández	SDH22A	Benito Juárez 2	19°37'00.12"	98°21'43.20"	2,440
Virginia Torres Morante	VTM22A	Sta. María Atexca 1	19°57'36.72"	98°03'32.37"	2,661
Yeraldine Ramírez Moreno	YRM22R	Sn. Luis Coyotzingo 1	19°11'50.43"	98°26'25.56"	2,301
Yolanda Méndez Olivos	YMO22A	Nepopualco, Huejotzingo 1	19°14'06.72"	98°19'50.52"	2,200

1 - Puebla. 2 - Tlaxcala. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2023.

Evaluación para pruebas de viabilidad después de la siembra el seguimiento fue constante, se registró un primer conteo a los cuatro días después de sembrar (PGD4); porcentaje de germinación a los 11 días (PGD11) y a los 13 días, se consideraron plántulas con coleóptilo y raíces bien desarrolladas sin deformaciones, además se integraron las variables de porcentaje de germinación total (PGT) por la fórmula arco seno ($\sqrt{x}/100$) y velocidad de emergencia (VE).

En base a la fórmula propuesta por (Maguire, 1962).

$$VE = \sum_{i=1}^n (x_i/n)$$

Donde

X_i = Número de plántulas emergidas por día

n = Número de días después de la siembra

Evaluación para desarrollo fisiológico



Al azar se tomaron muestras que visualmente representaran uniformidad a la respuesta genotípica y se determinaron variables aéreas y radicales, de las primeras se determinó la longitud de tallo (LT) (cm) que comprendió desde la parte longitudinal donde termina el tallo hasta el comienzo de la primera hoja de la plántula.

El diámetro de Tallo (DT) (mm) que fue desde la parte intermedia que comprende la raíz y el coleóptilo De las variables radicales se determinó la longitud de raíz, volumen de raíz,

Seccionando las plántulas se obtuvo por independiente el peso fresco de ambas secciones (aérea y radicular) y el peso seco para obtener el contenido de materia seca e integrarse como variable.

El trabajo de gabinete fue orientado para obtener un contraste estadístico por análisis de varianza (Anova), donde se aplicó como factores de variación a cada muestra por independiente en cada variable en análisis, donde se mostraron diferencias significativas se realizó una comparación múltiple de medias.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza (ANOVA) mostró valores altamente significativos ($p \leq 0.0001$) LT, APA, PFA, PFP, PSA y significativos ($p < 0.0005$) DT, LR, VR, PFR, PTSR (Cuadro 2). Lo anterior se debe al desarrollo único en cada localidad y municipio de recolección. Resultados de un estudio previo (Rodríguez *et al.*, 2020) encontraron diferencias entre variables en maíces nativos bajo condiciones geográficas diversas.

Como las semillas fueron germinadas con luz LED este factor también influyó en el crecimiento de las plántulas, datos reportados por (Paniagua *et al.*, 2015) mostraron diferencias significativas en plántulas de brócoli ante las variables de altura de planta.

La comparación entre genotipos mostró amplitud entre sus valores medios, al respecto se tuvo que para efectos de la LT la muestra correspondiente al genotipo identificado como MTS22R alcanzó un valor promedio de 4.30 cm, superior por 3.18 cm respecto con ACR22A (1.12 cm). Lo anterior demostró que cada genotipo contiene balances endógenos (vitaminas, hormonas, proteínas etc.) que sobre expresan el desarrollo foliar. Datos reportados por (Moreno, 2018) en experimentos de germinación *ex situ* muestran que la longitud de plántulas de maíces criollos osciló entre los 15 – 18 cm en bandejas para producción de forraje hidropónico, sin embargo, la información destaca por el hecho de la búsqueda de



genotipos con buen comportamiento foliar para su orientación de uso, tal como se observó en el presente estudio en una prueba rápida de germinación para calidad forrajera.

El diámetro de tallo (DT) fue entre 4 – 0.22 cm, siendo el genotipo LPM22R superior por 3.78 cm con respecto a ACR22A (0.22), el grosor de tallo es una variable importante para el rendimiento, dada su función que va desde el transporte de agua y nutrientes hacia los órganos de la planta y su capacidad para resistir a lluvias y vientos lo que reduce las posibilidades de acame. Esta expresión está determinada por el genotipo, como menciona (García y Watson, 2003) donde encontraron que DT depende del genotipo en cinco líneas cultivadas de maíz durante tres ciclos. Además, se observó que a medida que la altura de mazorca aumenta disminuye la resistencia a acame. Conforme al estudio se buscan genotipos vigorosos y con rendimiento.

Cuadro 2. Cuadrados medios del error, CV y de determinación del análisis de varianza ANOVA de las variables relacionadas con la calidad físicas de semillas.

Variable	Media	CM [¥]		CV [¥]	R ²
		Genotipo	Error		
LT	2.271	2.770**	0.237	21.449	0.790
DT	0.824	4.870*	0.183	51.936	0.895
LR	0.784	4.786*	0.096	39.623	0.941
APA	2.651	4.661**	0.269	19.583	0.848
PFA	0.326	0.250**	0.046	66.174	0.635
PFR	1.176	0.584*	0.465	57.952	0.288
PFP	1.374	0.300**	0.087	21.468	0.526
VR	1.022	0.278*	0.035	18.390	0.717
PSA	0.043	0.004**	0.021	33.743	0.546
PTSR	0.868	0.492*	0.449	77.239	0.262

CM[¥]: cuadrados medios CV[¥]: coeficiente de variación; R² Coeficiente de determinación; *: significativo ($p \leq 0.0005$); **: altamente significativo ($p < 0.0001$); ns: no significativo ($p \leq 0.05$); LT: longitud de tallo; diámetro de tallo; LR: longitud de raíz; APA: altura de planta aérea; PFA: Peso fresco aéreo; PFR: peso fresco raíz; PFP: peso fresco planta; VR: volumen de raíz; PSA: peso seco aéreo; PTSR: peso total seco de raíz.

El diámetro de la raíz (DR) osciló entre 3.70 – 0.20 cm. (Cuadro 3). El desarrollo del sistema radicular juega un papel importante en la asimilación de nutrientes y agua, lo cual es un parámetro de importancia como respuesta al estrés salino. Estudios realizados por (Quintana *et al.*, 2016) evaluaron



tres condiciones de estrés salino, observando un crecimiento de DR en salinidad moderada alcanzando un valor de 46.2 cm en *Phaseolus vulgaris* L. por el contrario (Sangoquiza *et al.*, 2021) encontraron que en las mismas dosis las semillas de maíz tlayuyo inhibieron su crecimiento a los 8 días después de la germinación.

Los valores de APA registrados variaron en un rango de 4.95 - 0.75 cm. La productividad del cultivo es influenciada por APA, debido a que esta variable se constituye como un indicador fiable del rendimiento. De acuerdo con datos por (Yin *et al.*, 2011) observaron una clara relación entre APA en las etapas V10 – V12 del crecimiento de maíz y los resultados de producción a lo largo de tres años de estudios mediante la evaluación de cuatro sistemas de producción diferentes. Adicionalmente, (Ramos *et al.*, 2018) encontraron que en plantas altas de la especie *Elaeis guineensis jacq.*, acumularon cantidades altas de carbono el cual está ligado al potencial de formación de biomasa, hallazgos de (Zaragoza *et al.*, 2019) tras evaluar doce híbridos de maíz distinto, demostraron que el híbrido PUMA 1167 con una altura de planta de 2 m y un rendimiento de materia verde de 65.2 t/ha obtuvo el mejor desempeño en producción de biomasa. Lo anterior se destaca la relevancia de estas relaciones entre APA y la productividad para la estimación precisa de la producción de cultivos mediante pruebas rápidas.

En la comparación de medias por Tukey ($p \leq .05$) los valores de PFP, fueron 2.18 g – 0.80 g y para PFR oscilaron de 2.85 g – 0.68 g. con lo anterior las plántulas mantuvieron un consumo hídrico que les permitió seguir en desarrollo lo cual determina el transporte de nutrientes que se encuentran dentro de la planta y va relacionada con la ganancia de materia seca en las plántulas, datos observados por (Quezada *et al.*, 2015) concuerdan en plantas de nogal, encontraron una relación entre consumo de riego y nutrición con aumentó de biomasa teniendo un incremento del 31% respecto al control.

La variable VR tuvo valores medios de 1.30 mL - 0.80 mL. Siendo el genotipo MMS22A superior con respecto a NRH22A. La manera en que las plantas se establecen y sobreviven se relacionan directamente con el proceso de crecimiento de sus raíces. este proceso depende de gran medida de la capacidad de absorción de agua y nutrientes esenciales, los cuales son cruciales para diversos fisiológicos como la adaptación que experimenta el sistema radical en condiciones de sequía generando una variación significativa en su plasticidad como capacidad de adaptarse a su entorno (Allah *et al.*, 2010). Con lo anterior se observó que las plántulas manifestaron una respuesta análoga como resultado de la exposición al hipoclorito sugiriendo la posibilidad de que este compuesto simulase un efecto comparable al causado por una situación de sequía.



En las comparaciones de medias PSP mostró amplitud entre sus valores genotipo identificado como MSS22R alcanzó un valor promedio de 0.08 cm, superior por 0.07 cm respecto con HBR22A (0.01 cm). Se observó que cada genotipo tiene diferente capacidad para retener materia seca.

Mientras que en la variable PSTR el genotipo IBG22A tuvo un valor de 2.45 g siendo superior por 1.9 g respecto a JML22A (0.51 g). los genotipos expresaron la relación de la tasa metabólica respecto a la temperatura datos obtenido de (Vázquez *et al.*, 2005) encontraron que una tasa de actividad metabólica en la planta por temperaturas menores a la temperatura base del genotipo (Montúfar *et al.*, 2021).

APA creció en todas las plántulas a comparación de diámetro de raíz. La relación entre estas variables fue una expresión dada por el efecto de falta de oxígeno, las raíces al no tener suficiente O₂ hacen crecer la planta lo denominado hipoxia, por efectos de sobrantes de agua ya que también existe inhibición de crecimiento y la función de las giberelinas en especial el ácido indol – 3 – butilo que se encarga de elongar la raíz. De acuerdo con datos (Su *et al.*, 2022) al analizar el transcriptoma de las giberelinas en *Fokieina hodginsii* en condiciones de inundación reportaron crecimiento de brotes y alargamiento de tallo como respuesta de defensa ante la situación que fue evaluada.

Cuadro 3. Comparación de medias de las variables relacionadas con la calidad física de semillas.

Genotipos	Variables									
	LT	DT	DR	APA	PFA	PFP	PFR	VR	PSA	PSTR
ASA22A	1.62 fj	0.25 b	0.25 b	2.85 di	0.10 c	1.15 bd	1.05 ab	0.87 c	0.02 bd	0.80 ab
ACR22A	1.12 j	0.22 b	0.47 b	2.81 ei	0.11 c	1.30 ad	1.23 ab	0.90 c	0.02 cd	0.81 ab
AUR22R	1.50 hj	0.25 b	0.37 b	4.22 ad	0.25 bc	1.37 ad	1.07ab	1.15 ac	0.06 ac	0.71 ab
ASS22A	2.77 bg	0.27 b	0.35 b	2.85 ei	0.20 bc	1.65 ac	1.22 ab	1.25 ac	0.04 bd	0.90 ab
CAL22R	1.27 j	0.69 b	0.25 b	1.92 il	0.17 bc	1.22 bd	0.95 b	0.90 c	0.03 bd	0.68 ab
CRJ22A	3.00 ae	0.40 b	0.30 b	2.57 fj	0.28 bc	2.10 a	1.47 ab	1.20 ac	0.04 bd	1.16 ab
ETR22A	3.01 ad	0.82 b	0.40 b	1.15 kl	0.10 c	1.21 bd	1.07 ab	0.80 c	0.02 cd	0.83 ab
EAB22A	2.50 bi	3.25 a	3.70 a	2.70 fj	0.72 b	1.50 ad	1.22 ab	0.95 c	0.05 ad	0.86 ab
FCG22A	2.80 bg	0.40 b	0.40 b	2.50 fk	0.57 bc	1.60 ad	1.25 ab	1.50 ab	0.05 ad	0.87 ab
GAR22A	2.65 bh	3.00 a	3.50 a	2.05 hl	0.42 bc	1.45 ad	1.15 ab	0.95 c	0.04 bd	0.80 ab
GSC22A	2.07 ej	0.30 b	0.30 b	2.22 ik	0.20 bc	1.00 cd	0.80 b	0.90 c	0.04 bd	0.60 b
HBR22A	1.32 ij	0.27 b	0.47 b	1.15 kl	1.32 a	0.80 d	1.42 ab	0.07 d	0.01 d	1.08 ab



Genotipos	Variables									
	LT	DT	DR	APA	PFA	PFP	PFR	VR	PSA	PSTR
IBG22A	1.75 ej	0.30 b	0.37 b	1.72 hl	0.12 c	1.22 bd	2.85 a	1.10 bc	0.05 bd	2.45 a
ICC22A	1.37 hj	0.30 b	0.40 b	2.35 fk	0.17 bc	1.37 ad	1.15 ab	1.10 bc	0.03 bd	0.87 ab
JML22A	3.52 ab	0.30 b	0.20 b	4.95 a	0.36 bc	1.02 cd	0.68 b	0.90 c	0.04 ad	0.51 b
JCF22A	2.00 ej	1.27 b	0.42 b	2.17 ik	0.22 bc	1.42 ad	1.15 ab	1.00 bc	0.04 bd	0.80 ab
LPM22R	3.42 ac	4.00 a	0.30 b	2.72 ei	0.40 bc	1.72 ac	1.19 ab	1.15 ac	0.04 ad	0.88 ab
MTS22R	4.30 a	0.16 b	0.20 b	4.32 a	0.42 bc	1.87 ab	1.45 ab	1.30 a	0.06 ab	1.16 ab
MMS22A	1.27 ij	0.37 b	0.32 b	1.30 jl	0.25 bc	1.75 ac	1.47 ab	1.30 a	0.08 a	1.16 ab
MOC22R	3.27 ad	0.28 b	0.30 b	2.10 il	0.22 bc	1.17 bd	0.90 b	0.90 c	0.04 bd	0.63 ab
NRH22A	1.87 ej	0.25 b	0.22 b	3.45 bg	0.17 bc	1.15 bd	0.82 b	0.80 c	0.04 bd	0.52 b
PRR22A	1.30 ij	1.12 b	3.50 a	0.75 il	0.15 bc	1.15 bd	0.92 b	0.95 c	0.02 bd	0.64 ab
RMV22A	2.90 ef	3.50 a	3.00 a	4.12 ae	0.32 bc	1.40 d	1.07 ab	1.00 bc	0.04 bd	0.89 ab
RSP22A	2.75 bg	0.30 b	0.40 b	3.00 ch	0.50 bc	1.45 ad	1.20 ab	1.00 bc	0.05 ad	0.89 ab
SDH22A	1.70 ej	0.25 b	0.35 b	3.67 af	0.20 bc	1.22 bd	1.07 ab	1.15 ac	0.05 ad	0.75 ab
VTM22A	2.17 ej	0.30 b	0.30 b	1.45 il	0.63 bc	1.35 ad	1.12 ab	0.95 c	0.04 bd	0.73 ab
YRM22R	1.52 hj	0.40 b	0.97 b	2.50 hk	0.33 bc	1.47 ad	1.20 ab	1.00 bc	0.04 bd	0.87 ab
YMO22A	2.72 bg	0.30 b	0.35 b	2.62 hi	0.22 bc	1.42 ad	1.15 ab	1.15 ac	0.04 bd	0.84 ab
YGF22A	2.45 ej	0.32 b	0.37 b	4.65 ab	0.25 bc	1.25 bd	0.72 b	1.00 bc	0.04 bd	0.54 b
DMS	1.328	1.168	0.847	1.420	0.590	0.804	1.860	0.512	0.0400	1.8293

*DMS**: diferencia mínima significativas; valores con diferente letra entre columnas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); LT; Longitud de tallo; DT: Diámetro de tallo; LR: longitud de raíz; APA: altura de planta aérea; PFA: Peso fresco aéreo; PFR: Peso fresco raíz; PFP: Peso fresco planta; VR: volumen de raíz; PSA: peso seco aéreo; PSTR: peso total seco de raíz

Conclusiones

Se observó diferencias en las variables, por efecto de los genotipos que provenían de diferentes zonas. Se identificaron los genotipos denominados RMV22A, EAB22A y GARR22A con diámetro de tallo y de raíz bien desarrollados para ser prospectos para sequías y resistentes a vientos, con lo anterior solo



se basa en la prueba de germinación por lo que es recomendable realizar estudios en campo bajo condicione ambientales para obtener resultados.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias Campo Experimental San Martinito (CESMAR) y colaboradores

Literatura Citada

Alla Add A. Badaway S. (2010). The roles of root system traits in the drought tolerance of raice (*Oryza sativa* L.). *Journal of plant producción* 621-623. <https://doi.org/10.21608/JPP.2010.86384>

Augusto, B., Rodríguez¹, S., Samanta, Y., and Vivas², G. (2023). Oligoelementos: dinámica nutricional en diferentes órganos y etapas fenológicas del cultivo de rambután en Honduras. *Siembra*, 10(1), e3986–e3986. <https://doi.org/10.29166/SIEMBRA.V10I1.3986> [consultado el 21 de julio 2023].

Dyer, G. A., Serratos Hernández, J. A., Perales, H. R., Gepts, P., and Piñeyro Nelson, A. (2009). Dispersal of Transgenes through maize seed systems in México *Plos one*. 4(5), 5734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005734> [consultado el 18 de junio 2023]

FAO. (2010). Releva la importancia del acceso y uso de semillas de calidad para lograr una mejor producción y así mejorar la seguridad alimentaria y la nutrición. <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1638386/> [consultado el 16 de junio 2023].

FAO. (2016). Semillas, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/seeds/es/> [consultado el 17 de junio 2023].



Godina Rodríguez, J. E., Garay Martínez, J. R., Mendoza Pedroza, S. I., Cancino, S. J., Rocandio Rodríguez, M., Ruiz, F. L. (2020). Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 59–68. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I24.2358> [consultado el 22 de junio 2023].

Hernández, E., Mejía-Contreras, A., Martínez-Saldaña, T., Jiménez-Velázquez, M. A., Sánchez Escudero, J., and García-Cué, J. L. (2016). Selection of creole maize seed. *ASyD*, 13, 437–447. ISTA (2023). Reglas internacionales para las pruebas de germinación en semillas. (<https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html>) [consultado el 09 de junio 2023].

ISTA (2023). Reglas internacionales para las pruebas de germinación en semillas. (<https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html>) [consultado el 09 de junio 2023].

Montúfar, V., Humberto, G., Acosta, C., Alberto, L., Zamora, V., Verónica, D., Mora, S., & David, F. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (RCS)*, XXVII, 417–431.

Paniagua Pardo, G., Hernández Aguilar, C., Rico Martínez, F., Domínguez Pacheco, F. A., Martínez Ortiz, E., & Martínez González, C. L. (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Polibotánica*, 0(40). <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13> [consultado el 19 de junio 2023].

SADER (2022). El cultivo de maíz en Mexico. Maíz el cultivo de México | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx) [consultado el 20 de julio 2023].



SIAP (2022). Panorama agroalimentario 2021 Panorama Agroalimentario Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx) [consultado el 20 de junio 2023].

Su, S., Zhu, T., Su, J., Li, J., Zhao, Q., Kang, X., & Zheng, R. (2022). Transcriptome analysis of gibberellins and abscisic acid during the flooding response in *Fokienia hodginsii*. PLOS ONE, 17(2). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0263530> [consultado el 21 de julio 2023].



DESHIDRATADOR DE HOJAS DE *Moringa oleifera* Lam. PARA PRODUCTORES DE VERACRUZ

Juan Manuel Carrión Delgado^{190*} y Ofelia Andrea Valdés Rodríguez¹⁹¹

Resumen

Moringa oleifera Lam (Moringa) es una especie con propiedades alimenticias. Las hojas son las fuentes más conocidas y utilizadas de esta planta. Éstas se consumen normalmente secas, pero sus propiedades varían dependiendo del método de secado. El propósito de la investigación consistió en diseñar un equipo deshidratador para hojas de *Moringa oleifera* Lam. y validar la calidad nutritiva de las hojas mediante evaluaciones del contenido de proteína. Se consultó con productores locales para adaptar un deshidratador para hojas de *Moringa oleifera* a sus demandas. El diseño del equipo utiliza un colector solar y un sistema electrónico que permite funcionar los ventiladores y sistemas de control de temperatura y humedad monitoreados por medio de un *display* electrónico. Se planteó adicionalmente hacer pruebas de deshidratado en tres municipios identificados como de Muy alto potencial agroecológico de acuerdo con estudios previos. La validación de la calidad nutricional se encuentra en proceso de ser evaluada mediante su contenido de proteína y estabilidad en los tres municipios. Los resultados esperados son consistentes al contar con un equipo deshidratador que permite mantener condiciones nutricionales similares. El proyecto aún se encuentra en pruebas de laboratorio. Se tiene una primera de tres validaciones de la calidad nutritiva y contenido de proteína de las hojas. En el deshidratado se consideran las condiciones ambientales de los cultivos de productores locales. Los resultados preliminares en laboratorio muestran que la temperatura adecuada para el deshidratado es de 60°C con un tiempo aproximado de 2 h.

Palabras clave: deshidratado, secado solar, soberanía alimentaria, tabla nutricional

¹⁹⁰ Tecnológico Nacional de México Campus Xalapa. *Autor por correspondencia: carriodel89@gmail.com

¹⁹¹ El Colegio de Veracruz.



Introducción

El consumo del árbol de *Moringa oleifera* Lam. (Moringa) y la evidencia obtenida en laboratorio de sus propiedades medicinales y nutricionales, lo avalan como fuente de proteína altamente digestible. La especie se considera una alternativa para combatir la desnutrición debido a sus múltiples usos y fácil acceso (Omotesho *et al.*, 2013); en consecuencia, contribuye a “el derecho de la población a acceder a alimentos sanos, nutritivos, culturalmente apropiados y suficientes en calidad y cantidad para llevar una vida sana, digna y autónoma” (SEDARPA, 2019).

El consumo de la hoja se hace regularmente seca. El método de deshidratado artificial incide en sus propiedades; sin embargo, facilita su proceso de conservación, distribución y comercialización (Sivipaucar *et al.*, 2010). En el Estado de Veracruz existen cultivos comerciales de Moringa en áreas de muy alto potencial agroecológico para el cultivo de esta planta (Carrión-Delgado *et al.*, 2021); asimismo los productores no cuentan con un método de deshidratado adecuado que garantice el mejoramiento de la calidad de la hoja. El deshidratado consiste en la remoción de la humedad debido a la transferencia simultánea de calor y masa (Iglesias Díaz *et al.*, 2018).

El proceso tecnológico de deshidratado ha sido uno de los métodos utilizados para prolongar la conservación de los productos agroindustriales que se encuentran en almacenaje. El deshidratado a través de la energía solar es una de las opciones más económicas y de menor impacto ambiental. Existen deshidratadores solares naturales, semi artificiales y artificiales. La eficiencia del deshidratado depende del diseño o método de transmisión de calor y de las condiciones climáticas de la región (Rodríguez y Bohórquez, 2016). Conforme a lo mencionado por Carrión-Delgado, *et al.* (2023), las áreas clasificadas como de muy alto potencial agroecológico en el territorio veracruzano cumplen con las condiciones climáticas adecuadas para un buen manejo del deshidratado de la hoja.

El análisis realizado por Viveros y Mayorga (2017) demuestra que la eficiencia de la tecnología del deshidratado depende del diseño del dispositivo de secado. Estos investigadores encontraron que el proceso de simulación a través de Solid Works demostró una mayor eficiencia del diseño de características cilíndricas con respecto a uno de característica rectangulares. En el primero, la temperatura se mantiene homogénea y en el segundo las islas de calor manifiestan variaciones de temperatura. Por lo anterior el propósito del presente estudio consistió en diseñar un equipo deshidratador para hojas de *Moringa oleifera* Lam. y validar la calidad nutritiva de las hojas mediante evaluaciones del contenido de proteína.



Materiales y Métodos

Moringa es una planta que se adapta perfectamente al trópico veracruzano y tiene una variedad de usos y propiedades que aún requieren ser explorados (Carrión- Delgado *et al.*, 2021; Pérez, 2011). Entre los productores locales prevalece la práctica enfocada al aprovechamiento de las hojas. El desarrollo de la investigación tuvo como antecedentes estudios realizados por Carrión- Delgado *et al.* (2021, 2022, 2023) sobre el cultivo de Moringa y los requerimientos de los productores locales. Para ello se investigaron los requerimientos de tres productores locales, quienes fueron entrevistados para conocer sus capacidades y demandas específicas en cuanto al tipo de equipo que les podría convenir mejor, de acuerdo con su ubicación y facilidades energéticas, tales como servicios de energía eléctrica, espacios disponibles, y seguridad para almacenar sus equipos.

Para las pruebas y validación de las hojas de Moringa fueron seleccionados tres cultivares de muy alto potencial agroecológico localizados en la región Capital, Sotavento y Papaloapan del Estado de Veracruz con base en los criterios establecidos por Carrión-Delgado *et al.* (2021, 2023) El período de estudio comprende los meses de octubre 2022 a septiembre 2023.

La Figura 1 muestra el potencial agroecológico del territorio veracruzano, 18% (1,008,119 h), categorizado como de muy alto para el cultivo de la especie Moringa (Carrión-Delgado *et al.*, 2022). Para considerar el tipo de deshidratados, se realizó una investigación documental sobre la tecnología de deshidratado prevaleciente en el mercado (Boateng, 2023; Gebremicheal *et al.*, 2021; Silvana *et al.*, 2019). El diseño del prototipo de secador solar de dimensiones compactas (1.5 m de ancho por 1.2 m de alto); así como la simulación se realizó en el software Solid Works®. Se consideró la uniformidad de la temperatura en la cámara de secado y la localización de los focos de temperatura (Viveros y Mayorga, 2017).

La manufactura del prototipo se elaboró en acero inoxidable grado alimenticio. Se integró mediante el ensamble de cinco elementos: 1) Base del deshidratador y caja de elementos electrónicos; 2) Estructura de bandejas de secado; 3) Colector con cubierta de cristal de 6 mm; 4) Carcasa de bandejas de secado; y 5) Tapa de cámara de secado (Viveros y Mayorga, 2017). Para la validación de las pruebas de secado de la hoja mediante análisis de contenido de humedad (Gebremicheal *et al.*, 2021), se censaron las variables: temperatura y humedad. Estas dos variables se comportan de manera inversa, es decir, a medida que la temperatura aumenta por efecto de la circulación de aire caliente en la cámara de secado, se presenta una disminución en el porcentaje de humedad relativa.

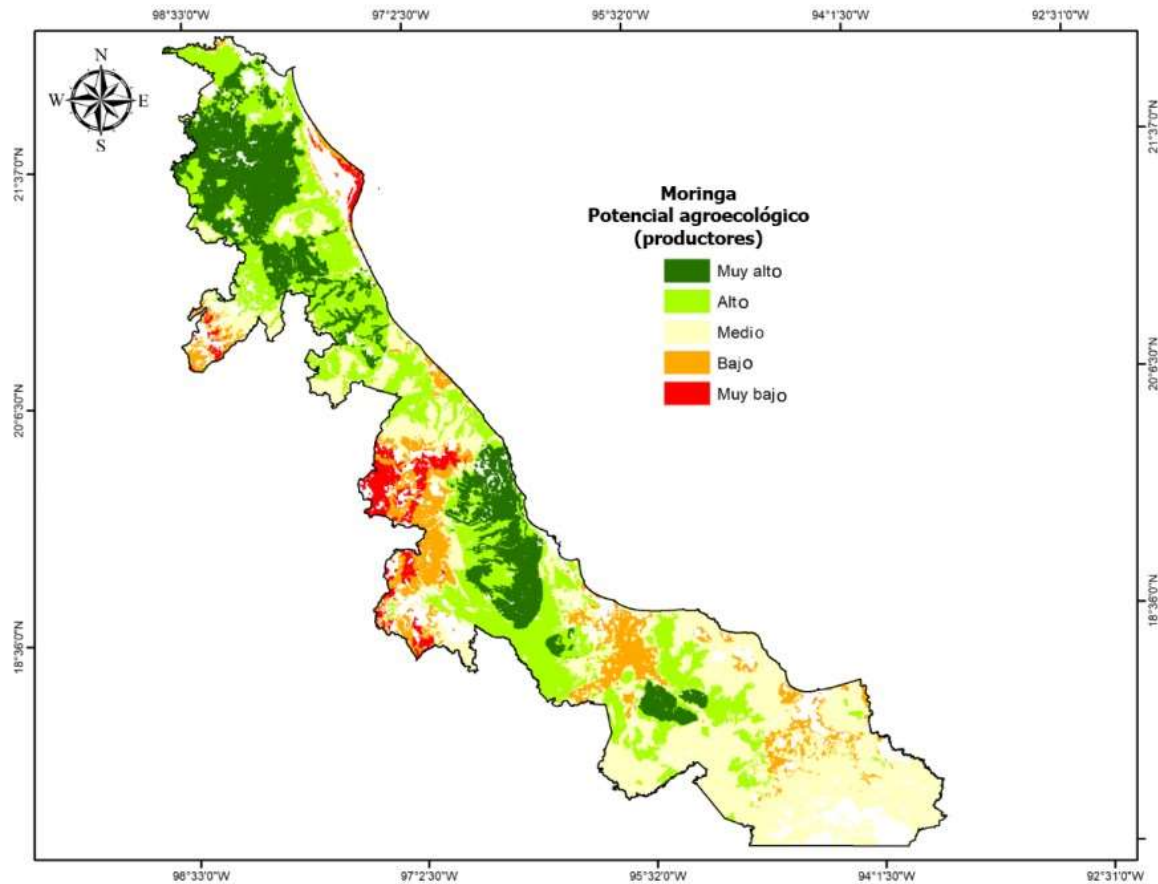


Figura 1. Áreas de muy alto potencial agroecológico para el cultivo de Moringa con base a información proporcionada por productores locales del estado de Veracruz (Carrión-Delgado *et al.*, 2022, 2023).

Para el control de ambas variables se evaluó la instalación de dos accesos: 1) la compuerta en la entrada del colector que permita regular las dos variables por medio del ángulo de giro que posee su eje en determinado momento y, 2) un ventilador ubicado en la chimenea del silo que permite desalojar la humedad producida por la evaporación del agua en el fruto y el aire con determinada temperatura. El método de control que se utiliza consta de un sistema de retroalimentación, cuya función es medir una variable que se desea controlar para compararla con una referencia denominada “*set point*”, la diferencia entre la magnitud de la referencia y el dato medido da como resultado una magnitud respuesta que es la manera como el sistema alimentará la variable en cuestión, para mantenerla en los valores requeridos. La calidad nutricional de las hojas de moringa se evaluó mediante la determinación de los contenidos de proteína con los métodos de digestión de Kjeldahl y combustión de Dumas, (Muñoz-Huerta *et al.*, 2013; Miranda *et al.*, 2016).

Resultados y Discusión

Los municipios seleccionados para validar la eficiencia del deshidratador fueron tres: Emiliano Zapata en la región Capital con una temperatura promedio de 25.2°C y humedad relativa 65.5%, Soledad de Doblado en la región Sotavento con una temperatura promedio de 26.0°C y humedad relativa de 61.73% y Tierra Blanca en la región Papaloapan con temperatura promedio de 27.6°C y humedad relativa de 60.82%. Los parámetros atmosféricos fueron la base para el modelo del prototipo. La Figura 2 muestra los ensambles principales que integran el prototipo del deshidratador solar. La Figura 3 muestra el proceso de simulación del modelo de secador cilíndrico. La temperatura se encuentra en el rango de 22.19°C y 31.64°C. La eficiencia se incrementa en el rango de 50°C y 60°C mediante ventilación forzada. Conforme a Iglesias Díaz *et al.* (2018), el secado a 60°C muestra tener mejores características de color, sabor, textura y olor de acuerdo con la valoración sensorial.

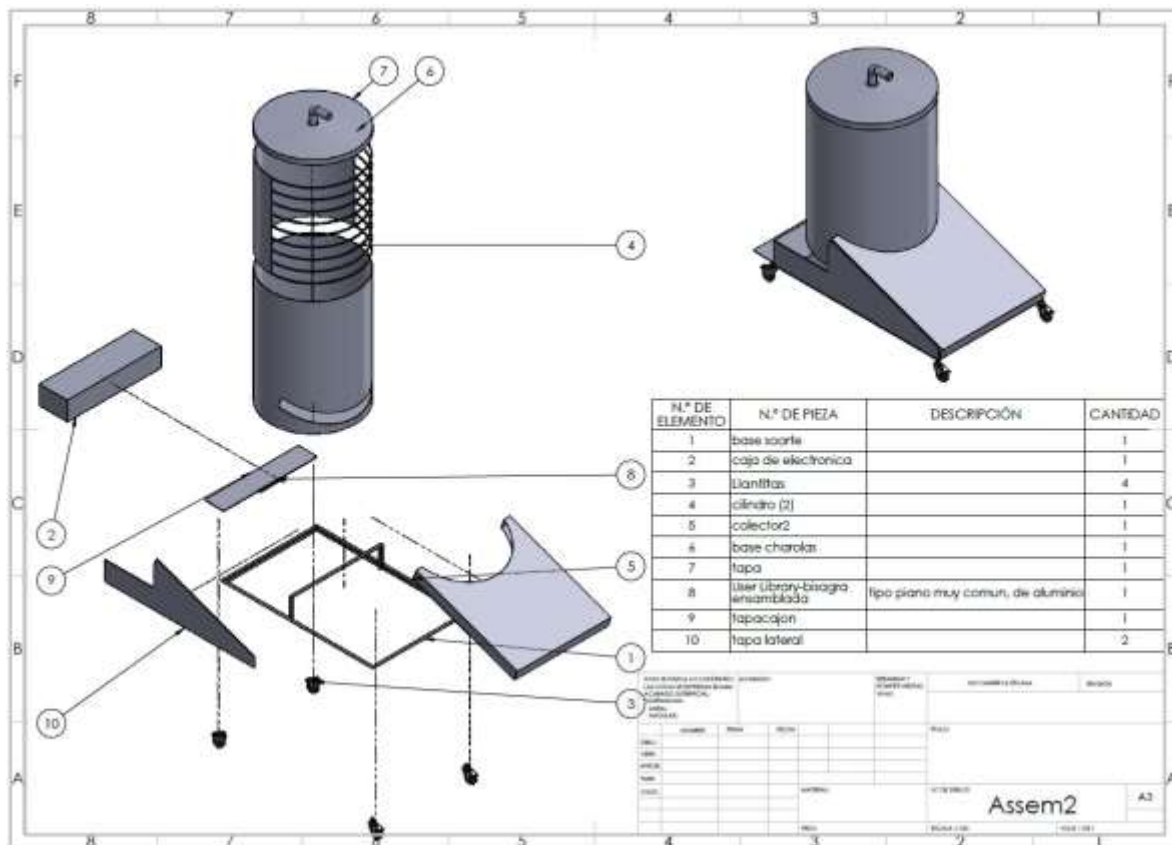


Figura 2. Elementos del diseño del prototipo del deshidratador solar.

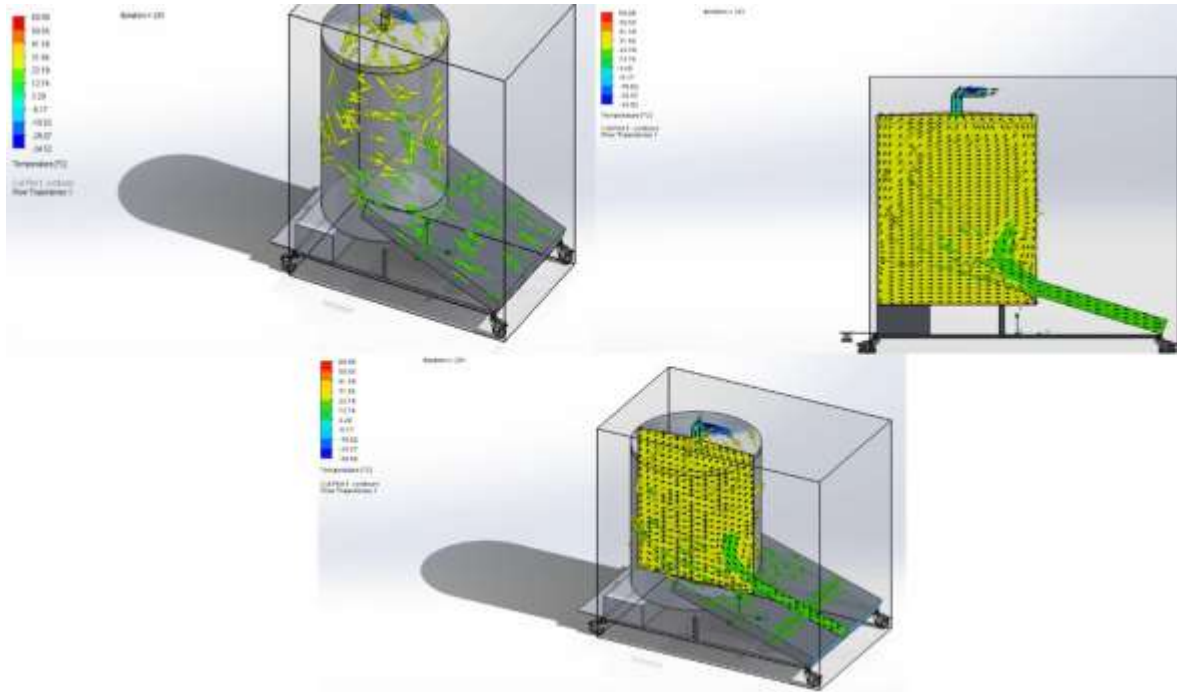


Figura 3. Representación del flujo de aire al interior del dispositivo de deshidratación.

El área e inclinación del colector (Figura 4) se fundamenta en parámetros de variables atmosféricas como: temperatura ambiente promedio, humedad relativa promedio, radiación solar, calor y masa específica del aire, velocidad del aire y flujo volumétrico (Viveros & Mayorga, 2017).



Figura 4. Proceso de manufactura y construcción del prototipo.



La temperatura y la humedad son variables por controlar. La humedad es la variable que determina el tiempo de secado por lo que debe ser observada de tal manera que permita que la temperatura se mantenga en un rango de 50°C a 60°C (Iglesias Díaz *et al.*, 2018).

La Figura 5 muestra las pruebas preliminares de deshidratado del prototipo y la validación de proteínas en laboratorio. La materia vegetal provino de un cultivar localizado en la región Capital, en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz a 827 msnm, suelo arcilloso, precipitación anual de 894 mm y temperatura promedio de 25.5°C y humedad promedio de 65.55% (Carrión-Delgado *et al.*, 2022). El deshidratado se realizó bajo las condiciones del municipio en cuestión a 60°C durante un tiempo de 2 h conforme a Iglesias Díaz *et al.* (2018). La muestra fue de 500 g. La determinación de proteína se obtuvo conforme al método Kjeldahl.



Figura 5. Pruebas preliminares de deshidratado y validación de proteína de la hoja de Moringa.

Los resultados de este primer análisis muestran: 25% de proteínas, 6% de grasas, 29% de carbohidratos y 9% de humedad. Estos valores coinciden con los obtenidos por Quintanilla-Medina *et al.* (2018)



Conclusiones

Los resultados preliminares indicaron que el prototipo de secado de acero inoxidable con control de temperatura y humedad permitieron un secado uniforme y constante para las condiciones locales. Las evaluaciones en laboratorio mostraron que la temperatura adecuada para conservar las propiedades de proteína (25%) es a 60°C con un tiempo aproximado de 2 h.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico del Consejo Nacional de Humanidades al primer autor, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT), así como a El Colegio de Veracruz (COLVER) y productores locales, del estado de Veracruz, que suministraron información valiosa para la continuidad de este proyecto.

Literatura Citada

- Boateng, I. D. 2023. A review of solar and solar-assisted drying of fresh produce: state of the art, drying kinetics, and product qualities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*:1-14. https://www.researchgate.net/publication/370264274_A_review_of_solar_and_solar-assisted_drying_of_fresh_produce_state_of_the_art_drying_kinetics_and_product_qualities
- Carrión Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., and Gallardo-López, F. 2021. Sustainability of Four Agroecosystems in the State of Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 14(3), 49–54.
- Carrión-Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., Gallardo López, F., and Palacios Wassennar, O. M. 2022. Agroecological potential of *Moringa oleifera* Lam. for the state of Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70):47-68.



- Carrión-Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wasenaar, O. M., and Gallardo-López, F. 2023. Variations of the agroecological potential of *Moringa oleifera* Lam., in the presence of climate change scenarios in Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, 16 (5): 71–77.
- Gebremicheal, G. H., Buzas, J., and Farkas, I. 2021. Performance Evaluation of Solar Air Collector by Chimney Effect for Drying Applications. *Acta Technologica Agriculturae*, 24(4), 159–165.
- Iglesias Díaz, R., Grimaldi Gutiérrez, R. V., Villanueva Galindo, B. E., Hernández Jarquín, J. M., López de Paz, P., y Lastres Danguillecourt, O. 2018. Cinética de secado de *Moringa oleifera*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 935–947.
- Muñoz-Huerta, R. F., Guevara-González, R. G., Contreras-Medina, L. M., Torres-Pacheco, I., Prado-Olivarez, J., and Ocampo-Velázquez, R. V. 2013. A review of methods for sensing the nitrogen status in plants: Advantages, disadvantages and recent advances. *Sensors*, 13(8), 10823–10843. <https://www.mdpi.com/1424-8220/13/8/10823>
- Omotesho, K., Sola-Ojo, F., Fayeye, T., Babatunde, R., Otunola, G., and Aliyu, T. 2013. The potential of Moringa tree for poverty alleviation and rural development: Review of evidences on usage and efficacy. *Revista Internacional de Desarrollo y Sostenibilidad*, 2 (2): 2168–8662.
- Pérez Ángel, R. 2011. *Moringa oleifera: una alternativa forrajera para ovinos*. Colección Tecnologías para el productor. Fundación produce, SAGARPA, Gobierno de Sinaloa. 11 p.
- Quintanilla-Medina, J. J., Garay-Martínez, J. R., Alvarado-Martínez, E. R., Hernández-Meléndez, j., Mendoza-Pedroza, S. I., Rojas-García, *et al*, 2018. Tiempo y temperatura sobre la pérdida de humedad y contenido de proteína en hojas de *Moringa oleifera* Lam. *Agro productividad*, 11(5), 88–92.
- Rodriguez Villamil, D. A., y Bohórquez Mariño, J. L. 2016. Diseño de un colector solar de placa plana para la deshidratación de productos agroindustriales. Tesis de licenciatura. Universidad Libre. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. 82 p.



SEDARPA (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca). 2019. Programa Sectorial Alimentando Veracruz 2019-2024. <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/Alimentando-veracruz.pdf>

Sivapacuar, C., Curo, H., Huancahuari, E., Llantoy, V., y Valderrama, A. 2010. Cálculo y construcción de un secador solar por convección natural para el secado de plantas medicinales no tradicionales. Centro de Desarrollo e Investigación en Termo fluidos (CEDIT), 18–30. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a03v3.pdf

Miranda. R., Gómez Pereira, P. Palva, M., Nogueira, M., Mollica, S., Silva. C., *et al*, 2016. Mineral, protein, and nitrate contents in leaves of *Pereskia aculeata* subjected to nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(1), 43–50. <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253044683006.pdf>

Viveros Folleco, A. M., y Mayorga Castellanos, E. L. 2017. Diseño e implementación de un prototipo de deshidratador híbrido (solar-eléctrico) e implementación de un sistema de control. Tesis de licenciatura. Universidad Distrital Francisco José Caldas. Bogotá, Colombia. 81p.



AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE *Phytophthora cinnamomi* EN HUERTOS DE SAN JUAN AMECAC, TOCHIMILCO, TLATEMPA Y TLALIXTLIPA, PUEBLA

Eduardo Molina Gayosso^{192*}, Martín Cervantes Calderón¹⁹³, María de Jesús Díaz Luna¹⁹³ y Petra Andrade Hoyos¹⁹⁴

Resumen

Las limitantes de la producción de aguacate son de tipo climáticas, edáficas, plagas, nutrición y manejo del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue diagnosticar la presencia de *P. cinnamomi* en árboles de huertos de zonas de producción de aguacate en los municipios de Atzitzihuacán, Tochimilco y Zacatlán en el estado de Puebla. Se tomó muestras de al menos el 40% de la totalidad de árboles de aguacate en cada una de las huertas. Se tomaron aproximadamente 400 g de muestra del suelo de la base de cada árbol. De igual manera, se colectaron raíces que se colocaron junto con el suelo de cada muestra. Las muestras fueron todas de árboles asintomáticos. Las raíces se sembraron en medio harina de maíz-agar, selectivo a *Phytophthora* spp., los crecimientos fueron purificados, documentados fotográficamente y conservados en agua destilada estéril. La estructura básica del oomiceto hace suponer que se trata de *Phytophthora cinnamomi* ya que en los crecimientos se observa al microscopio, micelio cenocítico, toruloso, con presencia de vesículas esféricas, hinchamientos hifales así como también clamidosporas esféricas de pared gruesa. En algunos árboles en la región de Zacatlán, se detectó la presencia de un opérculo de liberación de zoosporas en los esporangios, que no se observa en *P. cinnamomi*. De acuerdo con la forma y a las características de los esporangios además de un micelio no-toruloso se puede tratar de *P. tropicalis*, *P. palmivora* o *P. nicotianae*, se sugiere la caracterización mediante herramientas moleculares y mayor descripción morfológica. Los resultados obtenidos sugieren alta incidencia del patógeno en la zona de San Juan Amecac y Tochimilco y baja en Tlatempa y Tlalixtlipa. Se proponen enmiendas orgánicas y el uso de *Trichoderma* para controlar al patógeno. Acciones preventivas que se realicen en el cultivo en cualquiera de sus limitantes, atenuará el daño en situaciones

¹⁹² Universidad Politécnica de Puebla. Ingeniería en Biotecnología. *Autor por correspondencia: eduardo.molina@uppuebla.edu.mx

¹⁹³ Secretaría de Desarrollo Rural. Acompañamiento Técnico, Monitoreo y Seguimiento de Programas de la SDR.

¹⁹⁴ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatepec.



que pongan en riesgo la producción, es por ello por lo que se pone de manifiesto la importancia de la prevención de las enfermedades con origen en el suelo.

Palabras clave: tristeza del aguacate, medio PARPH, prevención de enfermedades

Introducción

La producción de aguacate en el mundo se calcula en 8.1 millones de toneladas para el año 2021. Con cerca de 2.4 millones de toneladas, México se sitúa como el primer productor mundial de aguacate (Cruz-López *et al.*, 2022). El 47.5% del aguacate que se consumió en 2022 en el mundo es mexicano. De igual manera, México participa con 92.4% de las importaciones de aguacates de Japón (El Economista, 2023).

Puebla es actualmente el séptimo productor de aguacate en México, con un volumen de 16,910 toneladas. En el periodo 2012-2018, la producción de aguacate en Puebla aumentó 40.2%.

La agricultura comúnmente trae asociados problemas de plagas, y el caso del cultivo de aguacate no es la excepción, entre las principales enfermedades se tiene la antracnosis causada por el hongo *Colletotrichum gloeosporoides*, la roña causada por *Sphaceloma perseae*, el anillamiento del pedúnculo causado por un complejo de hongos y la tristeza del aguacate causada por el oomiceto *Phytophthora cinnamomi* (Alexopoulos *et al.*, 1996)

El género *Phytophthora* tiene aproximadamente 124 especies descritas (Martin *et al.*, 2012) de entre las cuales se encuentran los más destructivos del mundo, como por ejemplo *P. cinnamomi* un patógeno que puede afectar a más de 5000 especies de plantas de todo tipo, de interés agrícola, forestal y de horticultura (Hardham y Blackman, 2018; Kurbetli *et al.*, 2020; Cárdenas *et al.*, 2021).

Aunque la enfermedad causada por *P. cinnamomi* en huertos de aguacate, se presenta en cualquier estado de desarrollo de la planta es muy probable que plantas de cualquier edad presenten síntomas apenas perceptibles durante grandes periodos de tiempo o que sean incluso asintomáticas (Andrade *et al.*, 2015). Un buen diagnóstico de la enfermedad o del estado general del huerto, así como el adecuado seguimiento del patógeno mediante el uso de métodos tradicionales de microbiología es fundamental en el éxito de programas destinados al manejo de la enfermedad causada por este oomiceto.



El objetivo del presente trabajo fue diagnosticar la presencia de *P. cinnamomi* en árboles de huertos de las zonas de producción de aguacate del estado de Puebla. Esta información permitirá abordar de manera temprana los problemas asociados a la presencia de *P. cinnamomi*.

Materiales y Métodos

Método en campo

En la base de cada árbol se escarbó y se retiró el suelo de los primeros 5-10 cm y entonces se tomaron aproximadamente 400 g de muestra, de igual manera se colectaron raíces que fueron colocadas entre el suelo de cada muestra. Las muestras fueron transportadas y almacenadas en un sitio seco y fresco de la Universidad Politécnica de Puebla. Se tomó muestra de al menos el 40% del total de los árboles en cada huerta, en algunos casos cerca del 90%. Además del área y del número de árboles, se consideró la pendiente, de tal manera que el muestreo inicia en la parte alta y va disminuyendo con la pendiente. Se registran datos de localización, dueño de la parcela y se traza un mapa con el registro de los árboles. Cada una de las muestras de suelo tomadas de cada árbol traía consigo su muestra de raíces las cuales eran sustraídas hasta el momento de trabajar con cada muestra. Cabe señalar que a excepción de 4 árboles en Tochimilco, el resto de las muestras se tomaron de árboles asintomáticos y en producción.

Crecimiento de *Phytophthora* en medios selectivo

Se preparó el medio PARPH selectivo a *Phytophthora* spp. (modificado de Tsao y Guy, 1977). La base fue el medio harina de maíz-agar al que previo a verterlo en cajas Petri, se adicionaron los antibióticos en el orden listado en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Medio de aislamiento para especies de *Phytophthora*.

Medio selectivo		Cantidad (por litro de medio)
PARPH	1) Pimaricina	0.01 g
	2) Ampicilina	0.25 g
	3) Rifamicina	0.01 g
	5) Himexazol	0.05 g

Se tomaron 12 segmentos de raíz de aproximadamente 2 cm de largo por cada muestra y se lavaron con agua corriente para retirar el exceso de suelo. Se sumergieron en una solución de NaOCl₃ al 1% por 1

minuto, inmediatamente después en agua destilada estéril dos veces consecutivas durante 2 minutos. Al terminar el proceso de lavado, se retiró el exceso de agua de las raíces con papel estéril.

Se cortaron los dos extremos en cada segmento (0.5 cm por cada lado aproximadamente), de tal manera que las raíces a sembrar tuvieran 1 cm de largo. Cuando el grosor de la raíz lo permitió se hizo un corte longitudinal. Cada uno de estos segmentos se sembró de manera radial en cajas (6 por caja) con medio selectivo harina de maíz (PARPH) (Figura 1).



Figura 1. Siembra de raíces en medio selectivo a *Phytophthora cinnamomi*.

Las cajas sembradas se incubaron a 28°C en oscuridad. El micelio observable, fue transferido a medio fresco (PARPH). Las observaciones se realizaron cada 24 horas por 5 días hasta observar un crecimiento que era verificado a contraluz y bajo el microscopio óptico (10X) (Figura 2).



Figura 2. Apariencia del crecimiento de *Phytophthora* en raíces sembradas en medio selectivo (PARPH).



En todos los casos se verificó el crecimiento en las cajas resembradas (10X). Los crecimientos se documentaron fotográficamente con una cámara digital (Sony DSC-W80, sin adaptador para microscopio y microscopio Leica DM 500). Una vez corroborado, registrado y documentado el crecimiento se realizaba la conservación en agua estéril, en tubos de 2 mL, de acuerdo con el método descrito por (Ko, 2003).

El orden en que se presentan los resultados es de huertos de San Juan Amecac del municipio de Atzitzihuacan; del municipio de Tochimilco y de Tlatempa y Tlalixtlipa, del municipio de Zacatlán, Puebla.

Resultados y Discusión

Este reporte constituye un avance del trabajo en campo que corresponde a la toma de muestras y a su análisis en laboratorio. Los resultados obtenidos, con relación a la presencia de *Phytophthora cinnamomi* se presentan por zona, dado que las características de los sitios y de su localización, así como del número de muestras son diferentes sólo se pretende dar un estado general de cada sitio en relación a *P. cinnamomi*.

El número de huertas consideradas en cada municipio y sitio estuvo en función de la disposición de los productores a participar en este estudio (Cuadro 2). Se consideraron para este estudio 30 huertos con un total de 1036 muestras.

El número de muestras, en función del número de huertos, indica que en la Sierra Norte del Estado de Puebla hay un creciente interés en establecer la producción de aguacate como la principal fuente de ingresos. Además, hay una creciente participación en programas estatales de apoyo al campo donde el cultivo de aguacate es el principal interés. Aunque no hay un comunicado formal, en los últimos años se ha modificado el sistema de producción en Tochimilco y las zonas aledañas de Atlixco para dar prioridad al cultivo de durazno dejando como un producto secundario el aguacate. De igual manera, en algunas zonas cercanas a Zacatlán se ha dado prioridad al cultivo de aguacate y durazno en lugar de la manzana.



Cuadro 2. Localidad, número de huertos, muestras tomadas y porcentaje de resultados positivos a la presencia de *P. cinnamomi* por sitio.

Sitio	Municipio	Coordenadas	m.s.n.m. (aprox.)	Numero de huertos	Muestras por sitio	% positivos a <i>P. cinnamomi</i>
San Juan Amecac	Atzitzihuacán	18.83667920674829, -98.65612148735192	2083	6	52	17.3
Tochimilco	Tochimilco	18.886639767478165, -98.56942212541722	2060	2	30	90.0
Tlatempa	Zacatlán	19.950618287199145, -97.93574765988903	2048	9	482	8.5
Tlalixtlipa	Zacatlán	20.01376424889595, -97.97890551504659	2127	13	472	7.4

El porcentaje de cultivos positivos a *P. cinnamomi* no es un porcentaje de incidencia sin embargo puede dar una idea aproximada de la manera en cómo se presenta en cada uno de los sitios de estudio. Los mayores porcentajes son para aquellos sitios en los que se tomaron el menor número de muestras y los menores porcentajes con para aquellos sitios con el mayor número de muestras tomadas.

Se corrobora presencia de oomicetos por siembra de raíces en medio selectivo ya que los componentes eliminan levaduras, hongos y bacterias. Adicionalmente, la adición de himexazol favorece el crecimiento de especies del género *Phytophthora*.

En la mayoría de los aislamientos, la estructura básica del oomiceto hace suponer que se trata de *Phytophthora cinnamomi*. En los crecimientos, y sin tratamiento alguno, se observa al microscopio (10X), micelio cenocítico, con presencia de vesículas esféricas. Hinchamientos hifales se observan de manera común, así como también clamidosporas esféricas de pared gruesa. Se observan también, esporangios ovoides no papilares que se formaron al adicionar solución de suelo. Más o menos escasos, aparecen casi semipapilados debido al ligero engrosamiento apical. no se forman oogonios porque estos son de reproducción sexual en donde existen los dos tipos A y B (Erwin y Ribeiro, 1996; Trigiano *et al.*, 2004; Hardham y Blackman, 2018). Las fotos son de crecimientos en agar-harina de maíz (PARPH) en donde se corrobora la presencia de *P. cinnamomi* (Figura 3).

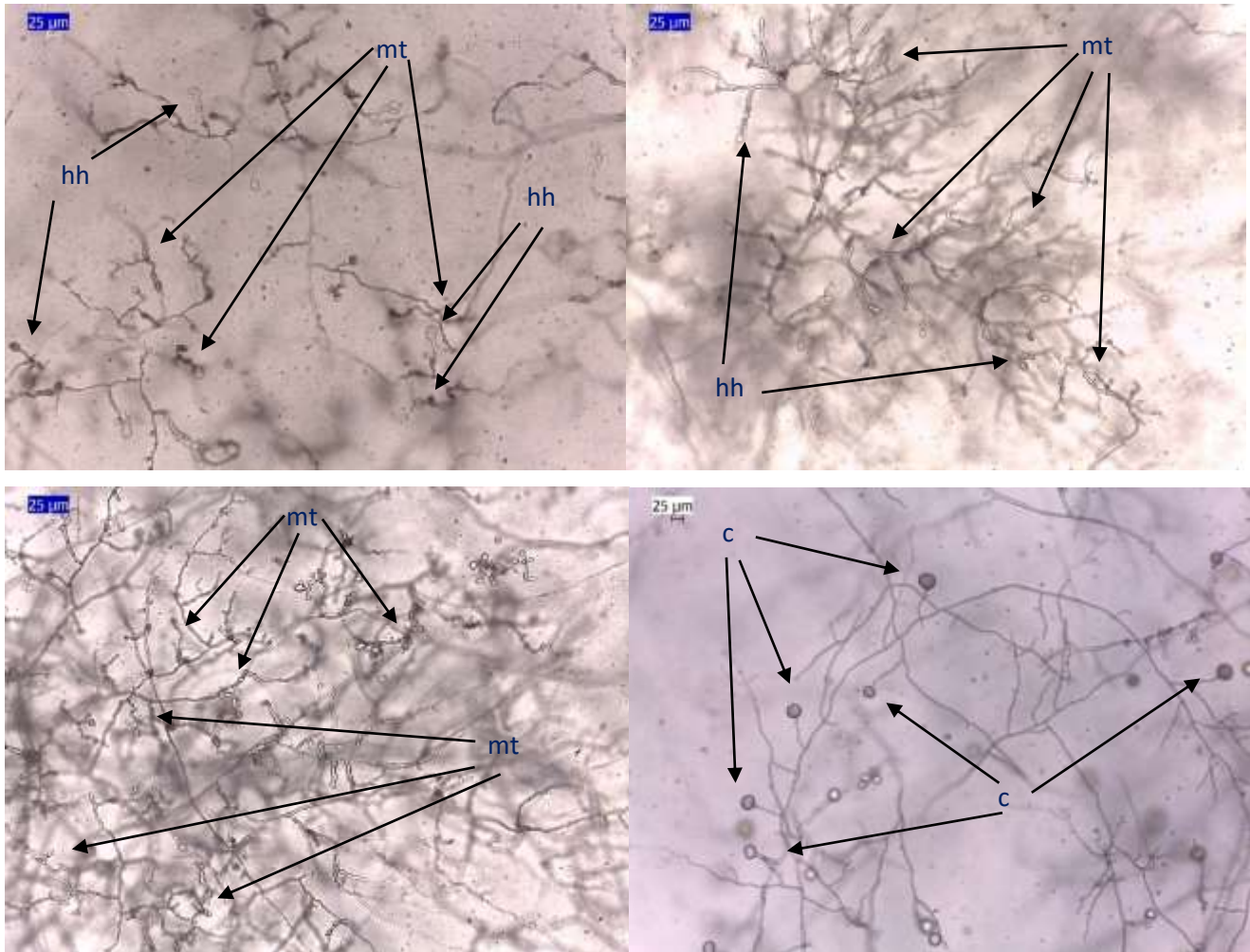


Figura 3. Fotografías (10X) de *Phytophthora cinnamomi*: clamidosporas (c), micelio toruloso (mt), hinchamientos hifales (hh).

Los porcentajes presentados son exclusivamente para reportar la presencia de *P. cinnamomi* sin embargo se aislaron, purificaron y conservaron otros oomicetos del género *Phytophthora* y *Pythium*. Aunque hay una diversidad de formas y tamaños en esporangios una característica principal observada en los aislamientos de algunos árboles en la región de Zacatlán, es la presencia de un opérculo de liberación de zoosporas en los esporangios, que no se observa en *P. cinnamomi*. De acuerdo con la forma y a las características de los esporangios además de un micelio no-toruloso se puede tratar de *P. tropicalis*, *P. palmivora* o *P. Nicotianae* (Figura 4). Se requiere de caracterización mediante herramientas moleculares, mayor descripción morfológica, pruebas de patogenicidad y la aplicación de los postulados de Koch.

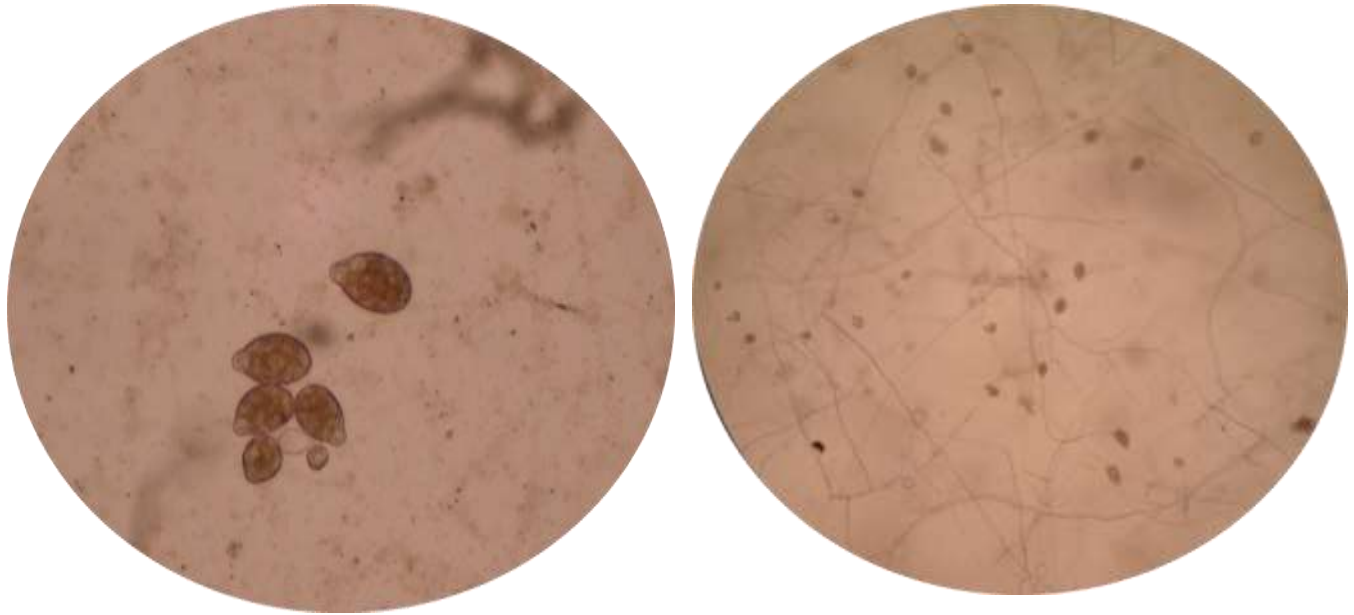


Figura 4. *Phytophthora* spp. Foto sin escala, demostrativa de opérculo de liberación de esporas.

Perspectivas de control. Acciones preventivas y posiblemente remediales es la aplicación periódica de productos orgánicos a base de micorrizas y hongos del género *Trichoderma*, así como de estiércol bovino y alfalfa molida. Enriquecer de manera permanente con estiércoles bien composteados podría mejorar no solo las condiciones fitosanitarias de las raíces sino también mejorar las condiciones de fertilidad y rizosféricas de los árboles de aguacate (Andrade *et al.*, 2017). En sitios en donde se utilicen sistemas de riego es necesario monitorear el tipo de agua y riego para prevenir o evitar la diseminación del patógeno.

Hay que señalar que el identificar en árboles, seleccionados de manera aleatoria, la presencia del fitopatógeno es indicativo de que hay que vigilar la sanidad de todo el huerto en su totalidad, las acciones propuestas a partir de materia orgánica y organismos benéficos deben de ser parte del manejo integrado que se le está dando a todo el huerto y no sólo a los árboles de aguacate a los que se identificó la presencia de *Phytophthora cinnamomi*.

Diferencias en el manejo del cultivo fueron también observadas en las diferentes regiones, mientras que en la Sierra Norte la producción orgánica de aguacate sigue cobrando fuerza, en algunos puntos de Atlixco y sus alrededores se siguen usando, aunque en menor proporción, plaguicidas solos o en combinación con otras labores culturales.



Conclusiones

Las limitantes de la producción de aguacate son de tipo climáticas, edáficas, plagas, nutrición, manejo y enfermedades. Acciones preventivas que se realicen en el cultivo en cualquiera de sus limitantes, atenuará el daño en situaciones que pongan en riesgo la producción. En el caso de enfermedades con origen en el suelo, la principal acción preventiva es obtener plantas que provengan de semilla sana y suelo desinfectado, de esta manera se asegura la sanidad tanto de los árboles como del suelo del huerto de aguacate. Basados en los aislamientos obtenidos y en las características morfológicas, se presume la presencia de la especie *P. cinamomi*. De acuerdo con la relación entre las muestras tomadas por sitio y el porcentaje de casos positivos al oomiceto, este trabajo sugiere una alta incidencia de *P. cinnamomi* en los municipios de Atzitzihuacan y Tochimilco y baja en el municipio de Zacatlán. La posible presencia de otras especies del género *Phytophthora* merece atención especial, sin embargo, las medidas orgánicas que se le pudieran dar a todo el huerto por la presencia de *P. cinnamomi* pudieran ser suficientes para controlar a las otras especies de este fitopatógeno. Finalmente, este trabajo reitera la gran importancia de la prevención, incluso más que el control de enfermedades en sí mismo.

Agradecimientos

A la Secretaría de Desarrollo Rural por la colaboración y coordinación con sus ingenieros de campo. Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla por el financiamiento para este proyecto.

Literatura Citada

- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W. and M. Blackwell. 1996. Introductory Mycology. 4th ed., Jhon Wiley & Sons, New York. 868 p.
- Andrade, H. A.; León, G. C.; Molina, G. E.; Espinosa, B. M.; Alvarado, R. D. y López, J. A. 2015. Totipotency in avocado seedling resistance to *Phytophthora cinnamomi*. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 6(2):361-373.



- Andrade, H. P.; Molina, G. E.; Isidro, C. J.; Hernández, L. E.; Cortés, G. Y. y Rivera, S. L. 2017. Control biológico *in vitro* de *Phytophthora cinnamomi* con *Trichoderma* spp. In: Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. Salazar, G. S. y Barrientos, P. B (Ed.). Cuidad, Guzmán, Jalisco, México. 147-53 pp.
- Cárdenas, R. J.; Yáñez, J. M. G.; López, O. C. A.; Ayala, T. F.; López, U. G. A.; Romero, G. S. J. 2021. Especies de *Phytophthora* asociadas a agua de irrigación en el Valle de Culiacán. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 12(3):473-484
- Cruz-López, D. F., Caamal-Cauich, I., Pat-Fernández, V. G., & Reza Salgado, J. (2022). Competitividad de las exportaciones de aguacate Hass de México en el mercado mundial. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, 13(2), 355–362.
- Erwin, D.C. and Ribeiro, O.K. 1996. *Phytophthora: diseases worldwide*. APS Press. 574 p.
- Hardham, A.; Blackman, L.M. 2018. Pathogen profile update. *Phytophthora cinnamomi*. Molecular Plant Pathology. 19(2): 260-285
- Ko, W. H. 2003. Long-term storage and survival structure of three species of *Phytophthora* in water. J.Gen.Plant Pathol. 69:186-188.
- Kurbetli, I.; Karaca, G.; Aydogdu, M. and Sülü, G. 2020a. *Phytophthora* species causing root and collar of pomegranate in Turkey. Eur. J. Plant Pathol. 157(3):485-496.
- Martin, F. N.; Abad, Z. G.; Balci, Y. and Ivors, K. 2012. Identification and detection of *Phytophthora*: reviewing our progress, identifying our needs. Plant Dis. 96(8):1080-1103
- Morales, R. 2023. De los envíos de aguacate mexicano, 86% va a EU. El Economista. <https://www.economista.com.mx/empresas/De-los-envios-de-aguacate-mexicano-86-va-a-EU-20230614-0004.html> [consultado el 5 de julio de 2023]



Trigiano, R. N., Windham M. T. and A. S. Windham. 2004. Plant Pathology. Concepts and Laboratory exercises. CRC Press. Boca Raton, Florida. 173-183 pp.

Tsao, P.H. and Guy, S.O. 1977. Inhibition of *Mortierella* and *Pythium* in a *Phytophthora*-isolation medium containing hymexazol. *Phytopathology*. 67:796-801.



PRUEBAS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE *Calandrinia micrantha*

Pedro Antonio Romero Custodio^{195*}, Karen Quintana Bautista¹⁹⁵, Minerva Rosas Morales¹⁹⁵, Oxana Lazo Zamalloa¹⁹⁵
y Ada María Ríos Cortés¹⁹⁵

Resumen

La semilla es la unidad de dispersión y supervivencia de una especie vegetal, sea esta silvestre o cultivada, que lleva en sí el germoplasma. La propagación por semillas es uno de los métodos de reproducción vegetal más utilizados en la naturaleza y también uno de los más eficientes, ya que se encarga de mantener las características genéticas que dan a las plantas la resiliencia necesaria para su supervivencia. La *Calandrinia micrantha* es un quelite que nace en la milpa y comúnmente lo llaman chivitos, patitas de pollo entre otros. Esta planta es usada como alimento en la comida tradicional mexicana, sin embargo, aún se desconoce su cultivo o propagación fuera de la milpa. Por lo que el objetivo de este trabajo fue promover la germinación de las semillas de *Calandrinia micrantha*, mediante el uso de pruebas a base de temperatura y estímulo. Se emplearon cinco pruebas para la germinación de la semilla de la cual solo la estratificación a base de temperatura fue la que mejor resultado presentó. La estratificación nos mostró resultados favorables en su aplicación, la escarificación no mostró resultado alguno, la siembra *in vitro* fue mejor al germinar una semilla y llegar a la fase vegetativa en poco tiempo, la estratificación a base de temperatura mostró un mayor porcentaje en cuanto a germinación y desarrollo de la semilla al contacto con la humedad y temperatura; la siembra en sistema de invernadero mejoró el porcentaje de la humidificación al germinar en mayor y menor tiempo la semilla, pero también demostró que la semilla de la *Calandrinia micrantha* es perceptiva a la estación del año en la que germina. Conclusiones: si bien la semilla mostró un estado de dormancia fisiológica, el desarrollo de las pruebas fue esencial para descubrir el modo de despertarla de ese estado, de esta manera las pruebas de estratificación a base de temperatura y siembra en invernadero fueron las de mayor resultado en la germinación de semillas y de mejor adaptación después del trasplante.

¹⁹⁵ Instituto Politécnico Nacional-Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA-IPN). Autor por correspondencia: arios@ipn.mx



Palabras clave: quelites, plantas silvestres comestibles, dormancia

Introducción

Los quelites se han definido como "plantas cuyas hojas, tallos tiernos y a veces inflorescencias inmaduras se consumen como hortalizas". El término quelite proviene del idioma náhuatl quiltilt, que se usaba para designar las plantas comestibles y tiene equivalentes en varias lenguas indígenas.

En México se consumen más de 350 especies de quelites, de los cuales han sido seleccionados por las tradiciones locales de los distintos pueblos y regiones (Mera *et al.*, 2011; Linares y Bye, 2015).

Los principales quelites que se cultivan para comercializar son: la verdolaga, el pápalo, pipicha, romerito, huazontle, chepiles, alaches y quintoniles (Vázquez, 1991; Castro, 2000; Mera *et al.*, 2010; Mapes *et al.*, 2012).

La *Calandrinia micrantha*; chivito, es una arvense común en cultivos de maíz sobre suelos arenosos, ácidos y pobres en nutrientes. Es una planta comestible desde las hojas, brotes, yemas, pecíolos, tallos y hasta flores que se comercializa en los mercados y tianguis del centro de México.

El manejo de los quelites cambia según la especie de que se trate y la zona de producción. Se pueden aprovechar en diversos agroecosistemas, como en el campo de maíz, otros se cosechan de la vegetación natural y algunas especies también se cultivan en asociación con otras plantas o en monocultivo. Tal es el caso de *Calandrinia micrantha* cuya propagación se efectúa naturalmente mediante semillas, ya que con la labor de la milpa se puede observar la germinación de éstas, sin embargo, fuera de este agro-sistema se desconoce el proceso de germinación, por todo esto, el objetivo de este trabajo consistió en establecer una metodología de germinación de este quelite con la finalidad de propagar y promover su consumo durante todo el año ya que el consumo de estas especies ha disminuido por las preferencias alimentarias derivadas a los nuevos estilos de vida (Sánchez, 2017). No todas han sido estudiadas y muchas otras solo se consideran plantas silvestres, por lo tanto, se tomó la decisión de realizar diversos métodos de prueba para ver y registrar cuál obtuvo mejor resultado en la germinación de la *Calandrinia micrantha* la cual es actualmente clasificada con una planta silvestre.



Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el Municipio de Tepetitla de Lardizábal, Tlax cuyas coordenadas son: (19° 16' 50.3'' N, 98° 21' 58.1'' O) a una altura de 2221 msnm. A su alrededor se componen tierras de cultivo agrícola y pastos para la cría de ganado. En la mayor parte del municipio prevalece el clima templado subhúmedo con lluvias en verano. Igualmente, la temperatura media anual máxima registrada es de 23.7°C Durante el año se observan variaciones en la temperatura que van desde los 0.5°C como mínima, hasta los 26.2°C como máxima. La precipitación promedio mínima es de 4.4 milímetros y la máxima de 132.1 milímetros.

Para el estudio de la fenología de la *Calandrinia micrantha* (Figura 1), se utilizaron semillas de plantas colectadas en la sierra de Puebla en el mes de noviembre de 2022. Identificadas taxonómicamente por el curador Mphil Allen J. teniendo como número de registro 85812.

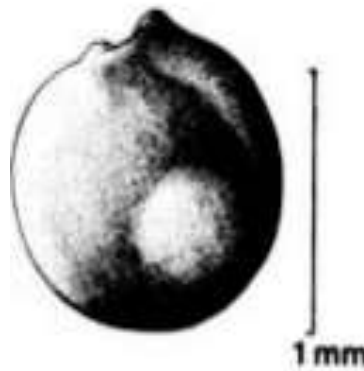


Figura 1. Semilla de *Calandrinia micrantha* (elaboración propia).

Germinación de semillas

Estratificación

En este caso se realizaron 3 pruebas. La primera se realizó durante los meses de enero y febrero del 2023, donde se utilizaron 15 semillas las cuales fueron envueltas en una sanita, rociadas con agua destilada, y guardadas en una caja Petri de vidrio a temperatura ambiente (Figura 2). Este mismo procedimiento se repitió tres veces más, teniendo cuatro cajas Petri con 15 semillas cada una, utilizando un total de 60 semillas.



Figura 2. Semillas resguardadas en cajas Petri bajo proceso de estratificación.

a) Estratificación a base de temperatura

La segunda prueba se realizó durante la primera semana del mes de abril del presente año en el cual en 10 tubos Eppendorf con capacidad de 2.0 mL, se dividieron en dos grupos de cinco cada uno, se depositaron la cantidad de 10 semillas en cada uno de los tubos; el agua fue calentada a 75°C y 80°C, para observar qué temperatura fue la más adecuada para estimular a las semillas a germinar. Después con el uso de una jeringa de 5 mL se fue vertiendo hasta la marca de 0.5 mL en cada uno de los 10 tubos Eppendorf (cinco con agua a 75°C y cinco con agua a 80°C), conforme se depositaba el agua se iban cerrando los tubos para que el calor se mantuviera y creara el efecto de humidificación.

b) Cultivo *In vitro*

Esta prueba se realizó a finales del mes de febrero; las semillas fueron lavadas con agua, etanol al 20% por un minuto, se retiró el etanol y se lavaron con hipoclorito de sodio al 2% durante cinco minutos y se realizaron cinco lavados con agua esterilizada y se sembraron cinco semillas en un tarro de vidrio conteniendo medio nutritivo MS (Murashige y Skoog, 1962). La incubación de semillas se realizó en cuarto de cultivo a una temperatura de 23°C con fotoperiodo 4000 luxes (Figura 3).



Figura 3. Semillas de *Calandrinia micrantha* en medio nutritivo Ms.



Escarificación

Esta prueba se realizó en el mes de febrero, consistió en la escarificación para promover la germinación en la semilla y para ello se utilizó una lija con la que se raspó la testa (Figura 4), este proceso se hizo en 10 semillas durante tres repeticiones, posteriormente se depositaron en una sanita humedecida para ser guardadas en una caja Petri.

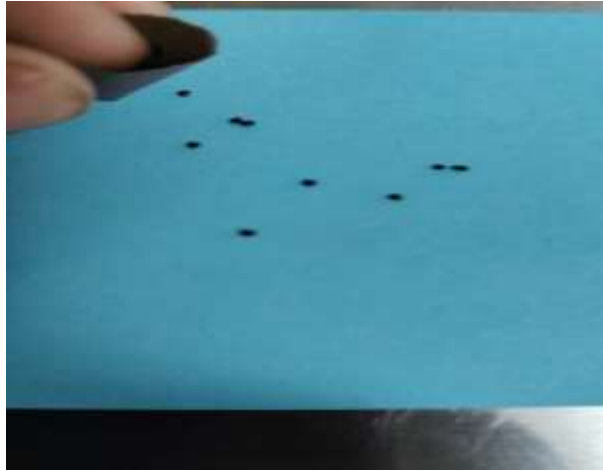


Fig. 4. Escarificación en semillas de *Calandrinia micrantha* con uso de lija.

Siembra en invernadero

Una quinta prueba se realizó durante el mes de abril, en la cual se sembró en sistema de invernadero, con un sustrato preparado de 20% de Tezontle rojo, 40% de Agro-lita y 40% de Peat Moss, creando una mezcla heterogénea donde se depositaron las semillas a una profundidad de 0.2 mm de profundidad y cubiertas ligeramente.

Resultados y Discusión

Estratificación

En el primer experimento de estratificación al llegar a los 30 días se observó que el porcentaje de germinación fue solo del 3%. En el segundo experimento de estratificación a base de temperatura se observó que el porcentaje de germinación de las semillas tratadas a 75°C el porcentaje fue de 40%, iniciando está el día 15 después del tratamiento, en el caso de las semillas tratadas a 80°C el porcentaje



fue de 20%. El porcentaje de germinación deriva de cada de los tratamientos debido a que a una mayor temperatura esté afecta el embrión por dentro de la semilla, ya que por el tiempo en el que se deje reposar el agua dentro del tubo Eppendorf esté se ira enfriando, pero la semilla lo detectara como una alteración y no germinaran todas solo aquellas que si lograron resistir la temperatura inicial. Las plantas que germinaron fueron llevadas al invernadero para trasplante y observar su desarrollo (Figura 5).

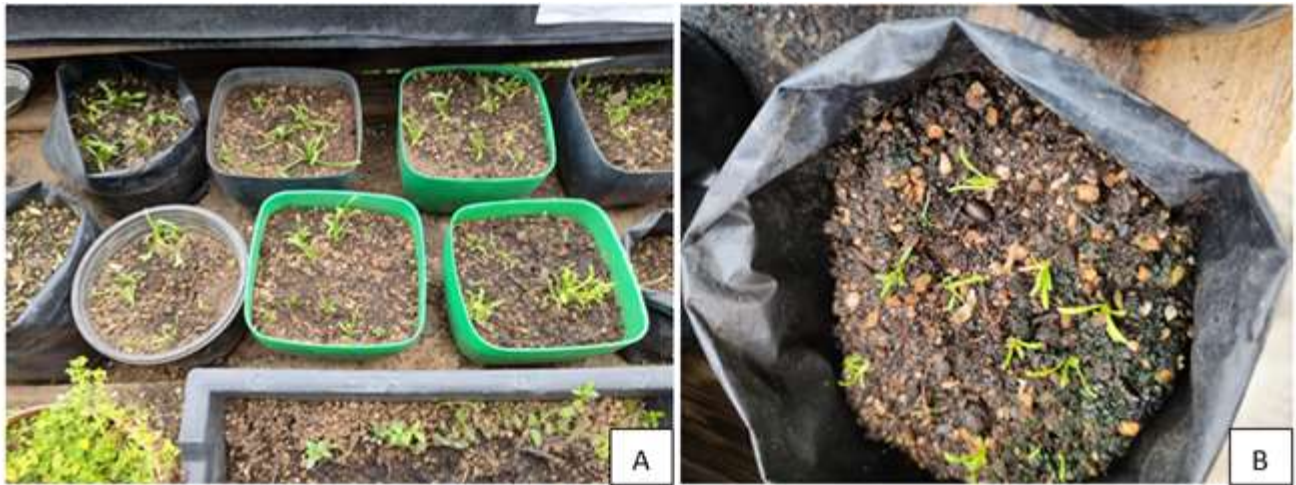


Fig. 5. Trasplante de semillas germinadas a 75°C A y 80°C B.

En el cultivo *in vitro*: con el paso de los días se observó que las semillas en los frascos esperando que germinaran, sin embargo, solo una semilla logro la germinación hasta llegar a la fase vegetativa. El porcentaje de germinación fue del 2% (Figura 6)



Fig. 6. *Calandrinia micrantha* en fase vegetativa en cultivo *in vitro*.



Escarificación

A los 15 días las semillas seguían igual sin mostrar un cambio, por lo cual se descartó el experimento a los 20 días de realizarlo. Un factor porque el experimento no se logrará como se planteó fue que al lijar la semilla probablemente el embrión se dañó.

Siembra de invernadero

En el día 9 se observó la germinación y fue hasta el día 15 donde se observaron hojas verdaderas, conforme pasaban los días se observan una mayor germinación en el resto de las semillas.

Por todo esto se infiere que las semillas de *Calandrinia micrantha* germinan naturalmente hasta la temporada de primavera. Por lo cual se da a entender que la semilla tiene programación genética, esto por los procesos fisiológicos de crecimiento requieren una actividad metabólica acelerada y la fase inicial de la germinación consiste principalmente en activar el proceso aumentando la humedad y la actividad respiratoria de la semilla (Doria, 2010), que responde con la germinación en la época de primavera, gracias a esta observación se puede cambiar las condiciones interiores y la semilla pueda germinar bajo condiciones ambientales apropiadas (Figura 7).



Fig. 7. Germinación de semilla bajo cubierta de invernadero.



Sin embargo, la dormancia en la semilla de *Calandrinia micrantha*, radica más por su fisiología. Las causas de este tipo de reposo son complejas y dependen de la fisiología de la semilla, es decir, de la función metabólica de la semilla.

Las semillas son dispersadas una vez que la planta madre ha terminado su etapa de reproducción y han sido formadas (Figura 8); sin embargo, muchas semillas no germinan incluso en estas condiciones. Esto es causado por el estado fisiológico de una semilla llamado dormancia embrionaria (también llamada fase latente, letargo o reposo), este efecto se debe a las condiciones dentro de la propia semilla que le impiden germinar (De la Cuadra, 1992). Por lo que además de esto se puede inferir que la madurez morfológica de la semilla de *Calandrinia micrantha* es anterior a la fisiológica por lo que pasa por un estado durmiente.



Fig. 8. Semilla de *Calandrinia micrantha* formada a punto de ser dispersada.

Conclusiones

Las pruebas de germinación resultaron fundamentales para determinar que la semilla de la *Calandrinia micrantha* tiene una dormancia fisiológica, además de conocer en qué condiciones se encuentra para poder germinar en la estación adecuada del año, además se estandarizó el método de estratificación



para romper el efecto de dormancia y así poder realizar la germinación en cualquier etapa del año sin necesidad de esperar la etapa de siembra que es el mes de abril cuando entra la primavera.

Literatura Citada

Castro, D. 2000. Etnobotánica y papel económico de cuatro especies de quelites en Tuxtla, Zapotitlán, Puebla. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

De la Cuadra, C. E. L. I. A. 1992. Germinación, latencia y dormición de las semillas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario.

Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1), 00-00.

Linares M.E. y R. Bye. 2015. Las especies subutilizadas de la milpa. *Revista Digital Universitaria*. 16(5):22.

Linares, E., Bye, R., Ortega, N., & Eloy Arce, A. 2017. Quelites: sabores y saberes del sureste del Estado de México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Mapes, C., F. Basurto y L. Bautista. 2012. Manejo y cultivo de *Amaranthus* spp. como quelite en la Sierra Norte de Puebla, México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Mera, L., D. Castro, R. Bye y C. Villanueva. 2010. Importancia de la verdolaga en México. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Mera O.L.M., D. Castro y R. Bye (compiladores). 2011. Especies vegetales poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria. UNAM- SNICS- SINAREFI, México. D.F.



Murashige, T., y F. Skoog, 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant.*, 15: 473-497.

Sánchez, C. 2017. Los quelites en la alimentación de Tetlatzinga, Soledad Atzompa, Veracruz, México. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados.

Vázquez, C. 1991. Tendencias en el proceso de domesticación del papaloquelite (*Porophyllum ruderale* (Jacq.) Cass. ssp. *macrocephalum* (DC.) R. R. Johnson (Asteraceae). Tesis de Maestría en Ciencias. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.



DINÁMICA POBLACIONAL DE DíPTEROS PLAGA EN HIGO, IXEHUACO, XOCHIAPULCO PUEBLA

Mónica Del Ángel Ocampo¹⁹⁶ y Raúl Ríos Sánchez^{197*}

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue, determinar la dinámica poblacional de Dípteros (Diptera: Tephritidae) en plantaciones con higo (*Ficus carica* L.) en la región de Ixehuaco, municipio de Xochiapulco, Puebla. Esta investigación se realizó del 26 de abril de 2020 a enero de 2021, considerando el ciclo de producción de huertas de higo (variedad Brown Turkey). Para el monitoreo de la mosca se utilizaron trampas artesanales de plástico transparentes con capacidad de un litro, perforados en dos hileras, con 13 orificios por hilera y un diámetro de 3 mm. Los orificios se realizaron en la parte media del recipiente, dejando un espacio vertical de 7 cm en la parte basal del recipiente para realizar el lavado, etiquetado y llenado del vinagre (200 cm de vinagre de manzana). Se colocaron en 5 huertas, colocando 4 trampas en cada esquina de la huerta, dando un total de 20 trampas. La captura se realizó del 26 de abril al 20 de noviembre de 2020. Además, se colocó una trampa multilure por parcela, con 200 cm de atrayente Ceratrap, iniciando la captura del 09 de agosto de 2020 al 01 de enero de 2021. El monitoreo de las trampas se llevó a cabo cada 15 días y durante los siete meses que duró el trabajo. Los géneros de mosca de la fruta capturados e identificados en las huertas de higo, fueron: *Anastrepha* spp., *Silba adipata* y *Drosophila* spp. La mayor incidencia correspondió a *D. suzukii* y *D. melanogaster*. Los meses con mayor fluctuación de mosca de la fruta del género *Drosophila* spp. correspondieron a los meses de agosto-septiembre debido a la mayor presencia de hospederos. La mayor incidencia de mosca de la fruta con el atrayente Ceratrap, se presentó en *Anastrepha* presentada en la huerta 5, seguida de *Drosophila* en la huerta 2, *Silba adipata* huerta 2.

Palabras clave: incidencia, control, monitoreo

¹⁹⁶ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, correo: angel.monica@colpos.mx

¹⁹⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Autor por correspondencia: rios.raul@inifap.gob.mx



Introducción

En la actualidad los árboles frutales que se ubican en los diferentes climas a nivel mundial tienden a presentar diversos problemas fitosanitarios. La mosca de la fruta, es una de ellas, que tiene una importancia económica, ya que utiliza las frutas como sustrato para la oviposición y desarrollo de la etapa larvaria (Núñez, 2000).

Según (Tolrá Hjorth-Andersen, 2015), el orden Díptera se ha dividido tradicionalmente en dos subórdenes: Nematocera y Brachycera, la diferencia entre ambos grupos es que Nematocera incluye dípteros con antenas largas y formadas por muchos segmentos y los Brachycera incluye dípteros con antenas cortas y pocos segmentos entre este último se puede citar a: *Drosophilidae*, *Lonchaeidae* y *Tephritidae*. En el orden Díptera, la superfamilia Tephritoidea se encuentra agrupada dentro del infraorden Muscomorpha la cual comprende nueve familias relacionadas en tres clados; el primero comprende a Lonchaeidae, el tercero que incluye a Tephritidae, estos últimos son conocidos como verdaderas moscas de la fruta (Matheus, 2005).

La familia *Tephritidae* a la cual pertenece la mosca de la fruta, es la de mayor importancia económica. Comprende aproximadamente 4000 especies distribuidas en áreas tropicales y subtropicales, estas pertenecen a diversos géneros, entre las de mayor relevancia se pueden citar, *Dacus*, *Rhagoletis*, *Ceratitis*, *Anastrepha*. La mosca causa daños directos en la pulpa de las frutas producidos por las larvas y los daños secundarios (Matheus, 2005). La familia *Drosophilidae* está compuesta por 73 géneros y 3950 especies descritas y distribuidas en las regiones templadas y tropicales del planeta las de mayor relevancia se cita a *melanogaster* y *suzukii* (Figuro y Rafael, 2013). Dentro de la familia Lonchaeidae se pueden citar tres géneros (*Dasiops*, *Lonchaea* y *Neosilba*); en relación con moscas asociadas a frutales se encuentra el género *Lonchaea* donde podemos citar a *Silba adipata* (Balseiro, 2020).

El ciclo biológico de los dípteros va de huevo, larva, pupa y adulto; después de ello copula, selecciona el fruto según las características de género y oviposita en el hospedero (higo, ciruelo, manzano, pera, chirimoya) (Ledezma *et al.*, 2013), donde causa problemas fitosanitarios en la fruticultura (SADER-SENASICA, 2018). Por otro lado, la mosca de la fruta requiere de un sustrato (fruto) para completar su estado larvario, que, dependiendo el género del hospedero, varía en días el ciclo reproductivo de la etapa larvaria (Hernández, 2016).

El ciclo de vida de las moscas inicia cuando la hembra pone los huevos en el hospedero (fruta), después de unos días, dependiendo el género de mosca, estas larvas emergen y empiezan a alimentarse de la



fruta; la larva antes de convertirse en pupa sale del fruto, enterrándose en el suelo. La mosca recién emergida de la pupa, busca refugio en las hojas y ramas secas caídas en busca de alimento. Cuando las condiciones son desfavorables se desplazan a las partes más elevadas de los árboles y se dejan llevar por los vientos dominantes, de este modo logran desplazarse a distancias enormes. Sin embargo, uno de los principales medios de dispersión de los dípteros es el hombre a través de frutos infestados. El trampeo puede ser una primera etapa para llevar a cabo un manejo integrado de la mosca de la fruta (Gómez y García, 1997). Por ello el objetivo de la presente investigación fue determinar la dinámica poblacional de dípteros plaga en huertas con higo en la región de Ixehuaco, municipio de Xochiapulco Puebla.

Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en la comunidad de Ixehuaco, perteneciente al municipio de Xochiapulco, Puebla. En el mes de abril de 2020 se llevó a cabo el monitoreo, identificación de la dinámica poblacional y fluctuación de mosca de la fruta, colocando trampas que ayudaron como monitoreo en la identificación de diferentes especies de mosca de la fruta en diferentes sistemas frutícolas higo, durazno, ciruelo, pera, chirimoya.

Se seleccionaron aleatoriamente cinco huertas de higo, se colocaron cuatro trampas de vinagre de manzana en cada esquina de la huerta, dando un total de 20 trampas. El periodo de monitoreo fue del 26 de abril al 22 de noviembre de 2020.

También se instaló por huerta una trampa multilure con atrayente Ceratrap, cinco trampas en total. El periodo de monitoreo se establece una vez identificada la presencia de *Anastrepha* la cual inicio del 09 agosto de 2020 al 01 de enero del 2021; ICA, 2011 en su Manual Técnico de Trampeo de Mosca de la Fruta describe que las trampas que se emplean para la mosca de la fruta dependen de la naturaleza del atrayente y la especie de la mosca objetivo para el género *Anastrepha* se utilizan derivados protéicos.

Trampas transparentes con 200 cm de vinagre de manzana. Las trampas consistieron en recipientes claros, con capacidad de 1 litro, perforados con dos hileras horizontalmente, 13 orificios por hilera y orificios de 3 mm de diámetro. Estos orificios se realizaron en la parte media del recipiente, dejando un espacio vertical de 7 cm en la parte basal del recipiente para poder realizar lavado, identificación y llenado del vinagre limpio. Cada recipiente fue llenado con 200 cm de vinagre de manzana. Las



trampas se colocaron a una altura de 1.5 m de la planta y protegida de la luz solar. Las trampas se monitorearon cada 15 días, se identificaron las moscas, se contaron; se limpió el recipiente y se colocó vinagre limpio nuevamente.

Trampas Multilure con Ceratrap. El periodo de muestreo con estas trampas fue del 9 de agosto de 2020 al 1 de enero del 2021, con revisiones cada 15 días, lo que significaron 11 repeticiones. El propósito de esta trampa fue el monitoreo de *Anastrepha*, con atrayente Ceratrap. La trampa fue cargada con el atrayente con 200 cm de Ceratrap cada 15 días. Fueron colocadas en las mismas cinco huertas donde previamente se colocaron las trampas de vinagre. En la huerta, se pusieron a la mitad de la primera línea de árboles que reciben los vientos dominantes en la región.

Los datos de las colectas se analizaron utilizando el Programa Statistica 8, a través de un análisis estadístico de medias, también se realizó gráficos (line plots).

Resultados y Discusión

El método de trampeo se utilizó principalmente para determinar el tipo de dípteros plaga presentes en el agroecosistema con plantaciones de higo, tal como lo describe (Gutiérrez, 2014), entre las que destacaron *Drosophila (suzukii y melanogaster)*, *Anastrepha* y *Silba adipata*.

La Tabla 1 muestra el monitoreo de mosca *Drosophila*, donde la mayor incidencia se presenta en el mes de septiembre-octubre, capaz de alimentarse de frutos sanos en estado de maduración (Rufus *et al.*, 2010). Según (Melgarejo, 1999) es característica del higo, la posibilidad de ser fuente hospedera en higo *Black misión* (SAG, 2017), que normalmente el productor, lo deja madurar en el árbol. Para el caso de *S. adipata* la mayor incidencia se presentó en el mes de julio y agosto debido a su fuente hospedero higo verde atacando principalmente a Brown Turkey variedad con mayor prevalencia en la zona, que en su mayoría se comercializa en verde (Katsoyanos, 1983) Para el caso de mosca de la fruta *Anastrepha* se presentó en el mes de septiembre y principios de mayo, esta mosca tiene diferentes hospederos desde durazno, ciruela, higo respectivamente (Vilatuya *et al.*, 2016).



Tabla 1. Dinámica poblacional de las especies de mosca de la fruta expresada en media en el agroecosistema con higo.

Periodos	Suzukii Hembra	Suzukii Hembra	Melanogaster Hembra	Melanogaster Macho	Silba adipata	Anastrepha
26-04	2.300000	0.050000	0.550000	0.000000	0.000000	0.000000
11-05	1.650000	0.000000	0.900000	0.000000	0.000000	0.000000
26-05	1.750000	0.200000	0.300000	0.000000	0.000000	0.000000
10-06	0.150000	0.000000	0.350000	0.000000	0.000000	0.000000
25-06	0.150000	0.000000	0.350000	0.050000	0.000000	0.000000
10-07	0.800000	0.000000	0.600000	0.050000	0.050000	0.000000
25-07	0.650000	0.000000	0.300000	0.000000	0.000000	0.000000
09-08	0.650000	0.000000	0.700000	0.100000	0.050000	0.000000
24-08	1.500000	0.000000	0.300000	0.000000	0.000000	0.000000
08-09	2.200000	0.250000	1.350000	0.000000	0.000000	0.150000
23-09	5.000000	4.550000	5.850000	0.650000	0.000000	0.250000
08-10	5.000000	6.050000	5.050000	3.600000	0.000000	0.200000
23-10	2.500000	1.000000	0.100000	0.000000	0.000000	0.050000
07-11	0.650000	0.450000	0.100000	0.000000	0.000000	0.150000
22-11	0.300000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

La Norma Oficial Mexicana NOM-023-FITO-1995, por la que se establece la campaña Nacional contra las Moscas de la Fruta describe que las fases del proceso de erradicación se determinan con base en la densidad relativa de la plaga mediante el índice de infestación de moscas por trampa por día (MTD), de tal manera que en las zonas bajo control fitosanitario el MTD es mayor a 0.08, en las de erradicación y/o baja prevalencia es menor de 0.01 y en las zonas de nula prevalencia y las zonas libres debe ser igual a cero. Por lo anterior podemos observar erradicación de algunos dípteros del género *Drosophilidae*, debido a los valores mayores a 0.08, de menor prevalencia al género *Lonchaeidae* y *Tephritidae*.

Como métodos preventivos y de control en la disminución de la mosca de la fruta, se puede citar la realización de podas, programación de cosechas. Por otro lado, existen varios métodos de control para los diferentes ciclos de reproducción (mecánico, legal, biológico, genético, químico) (Arévalo, 2011).



Aunque actualmente para la mosca de la fruta que causa daño a higos verdes, el control biológico parece ser limitado y actualmente no existe un control químico (Wilson, 2021), la colocación de trampas puede ser una alternativa de control para esta especie.

A continuación, se presenta los resultados en las cinco huertas de higo obtenidos con las trampas Multilure Ceratrap.

En la Figura 1, se indica que la mayor incidencia, se presentó en *Anastrepha*, seguido de *Drosophila* y *Silba adipata*.

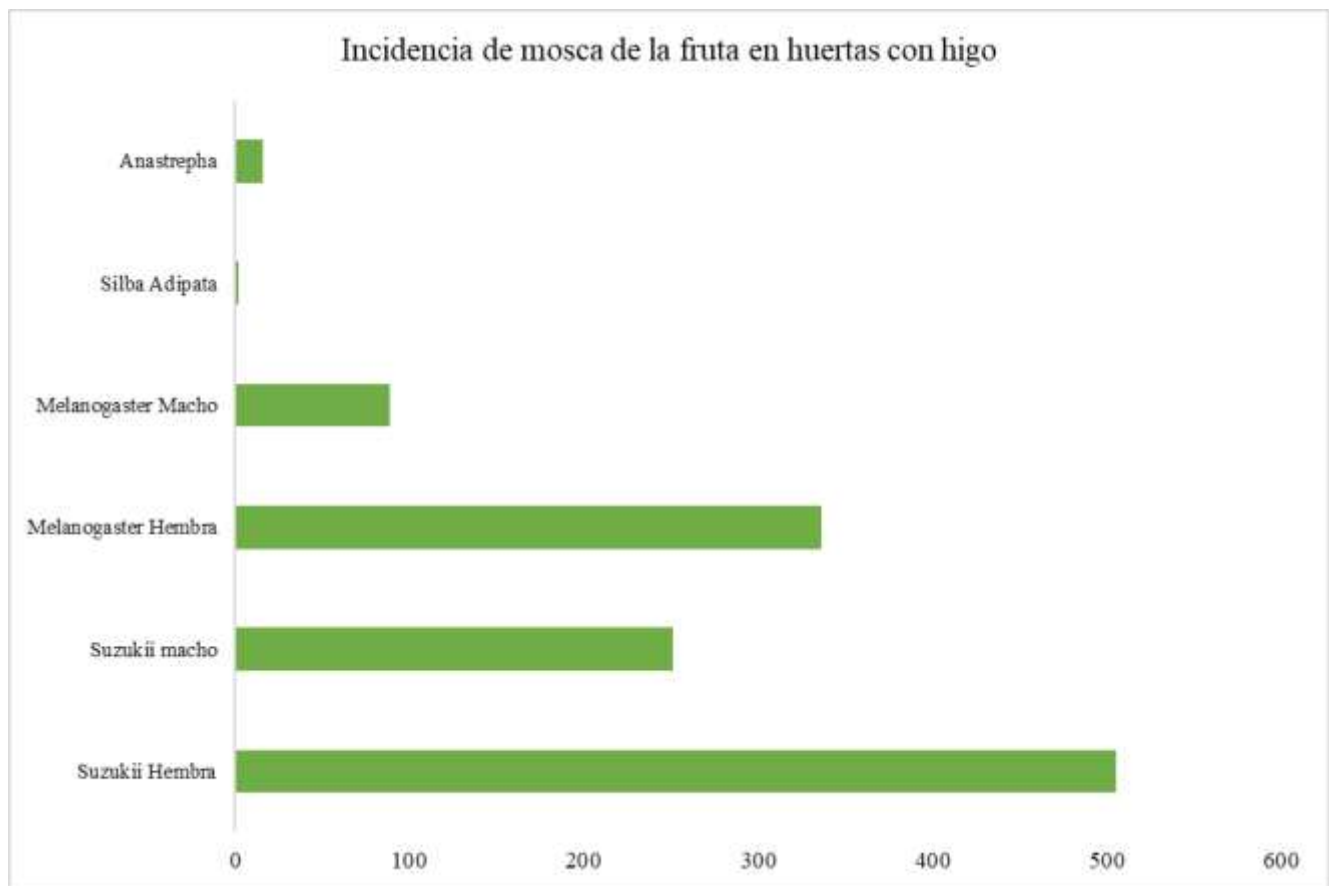


Figura 1. Incidencia de mosca de la fruta en huertas con higo.

En la Figura 2, se presenta la presencia de *Anastrepha* en las cinco huertas monitoreadas, teniendo mayor fluctuación en la huerta 5, pero sin diferencia significativa en ninguna de ellas.

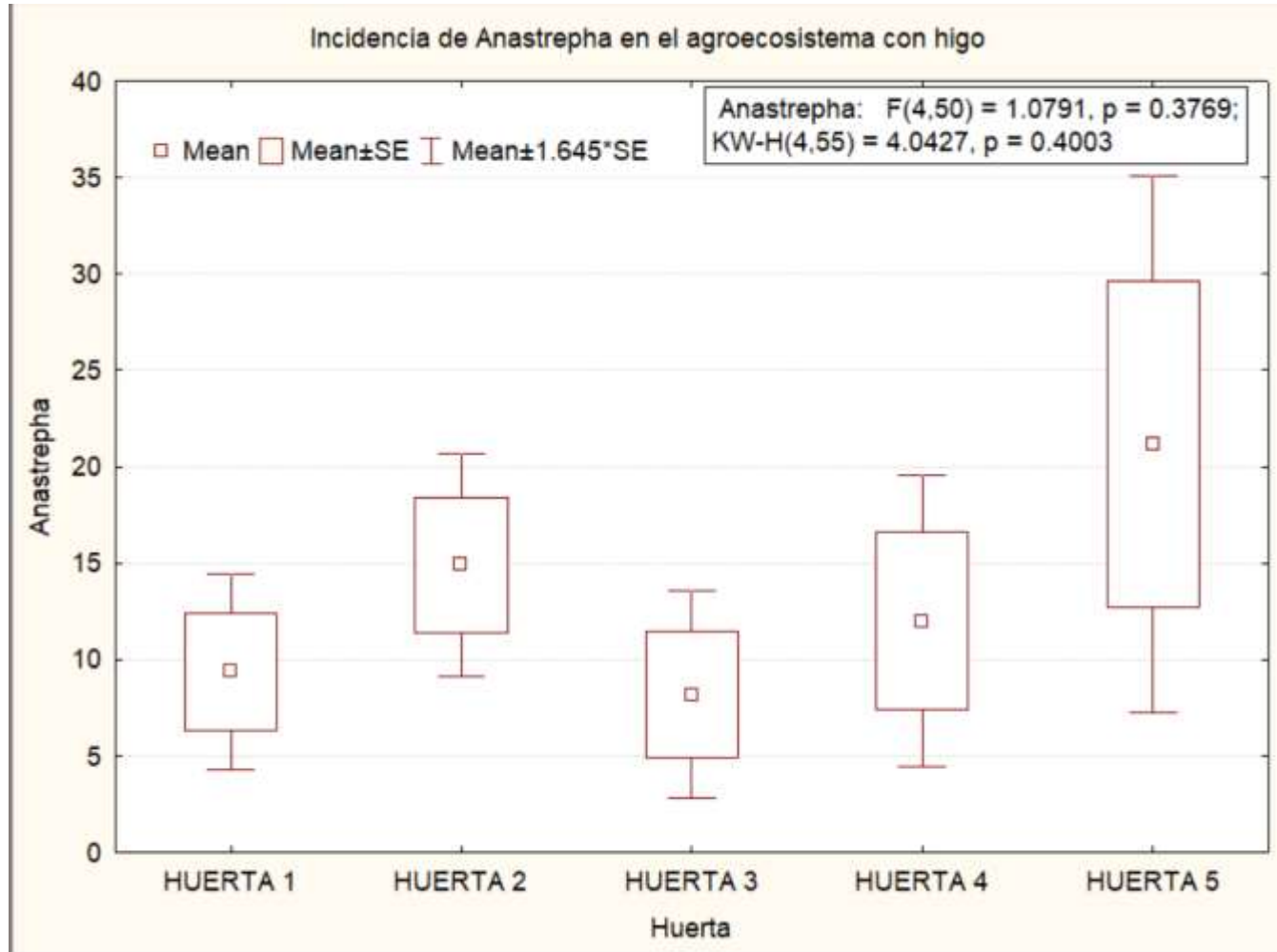


Figura 2. Incidencia de *Anastrepha* en huertas con higo.

En la Figura 3, se observa que no existe diferencia significativa del género *Drosophila* en ninguna de las huertas, sin embargo, se observa menor incidencia en la huerta 3, y una mayor incidencia en la huerta 2. Según (Ledezma *et al.*, 2013), el género *Anastrepha* puede presentarse en frutales silvestres, así como también en el sistema milpa; así como en otros frutales como ciruelo, durazno, chirimoyo causando grandes pérdidas económicas.

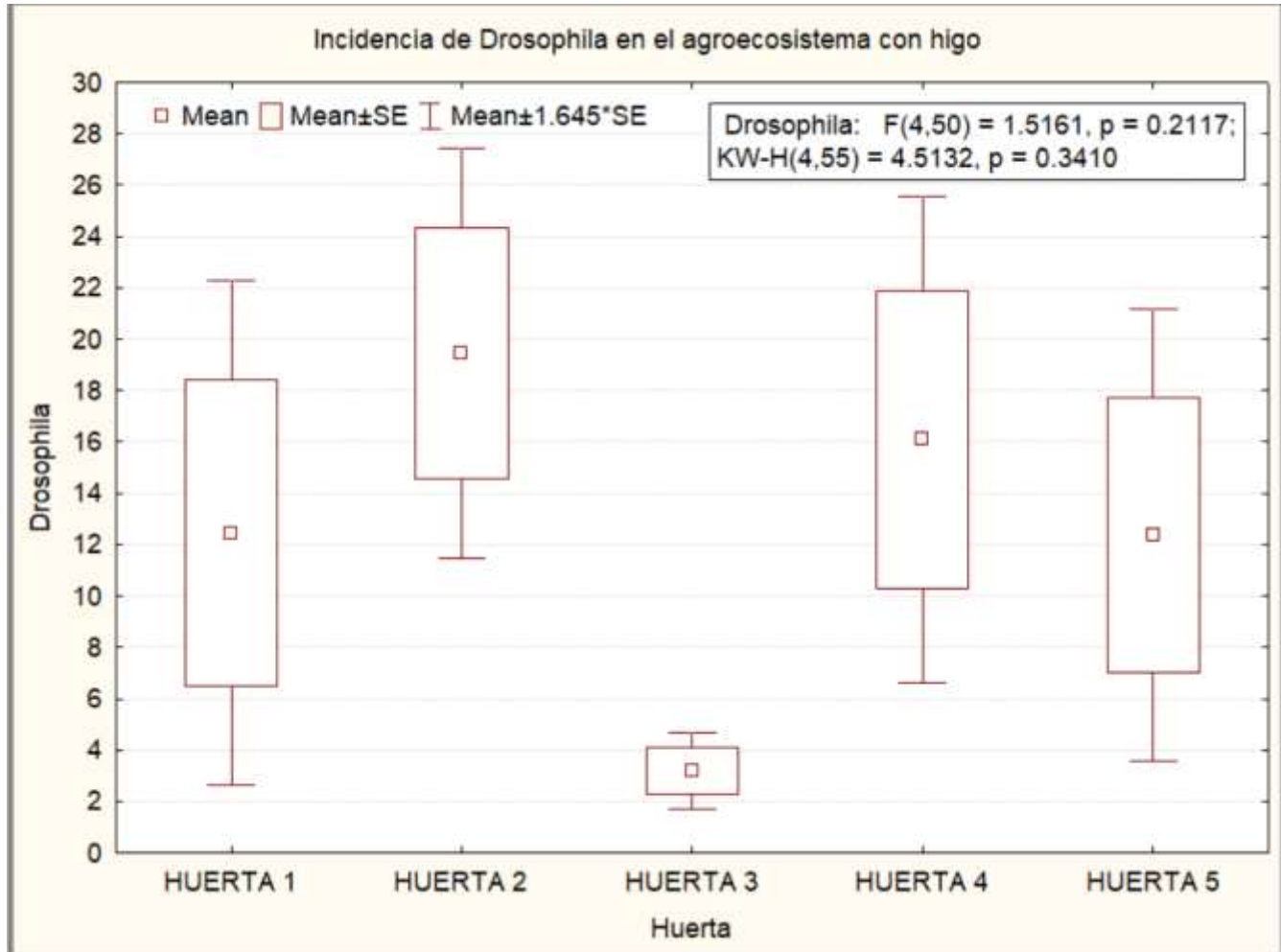


Figura 3. Incidencia de *Drosophila* en huertas con higo.

En la Figura 4, no se observa diferencia significativa, sin embargo, se observa menor incidencia en la huerta 3 y 5; así como una mayor incidencia de *S. adipata* en la huerta 2. De acuerdo a lo dispuesto en la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias No 8 “Determinación de la situación de una plaga en un área” (IPPC, 2017) *S. adipata* se encuentra presente solo en algunas áreas con presencia de cultivo hospedante por lo cual no cumple con la definición de plaga cuarentenaria. Sin embargo, esta plaga se ha convertido en una serie amenaza para el cultivo hospedante (higo) lo cual provoca la caída de frutos tiernos (DGSV-CNRF, 2019).

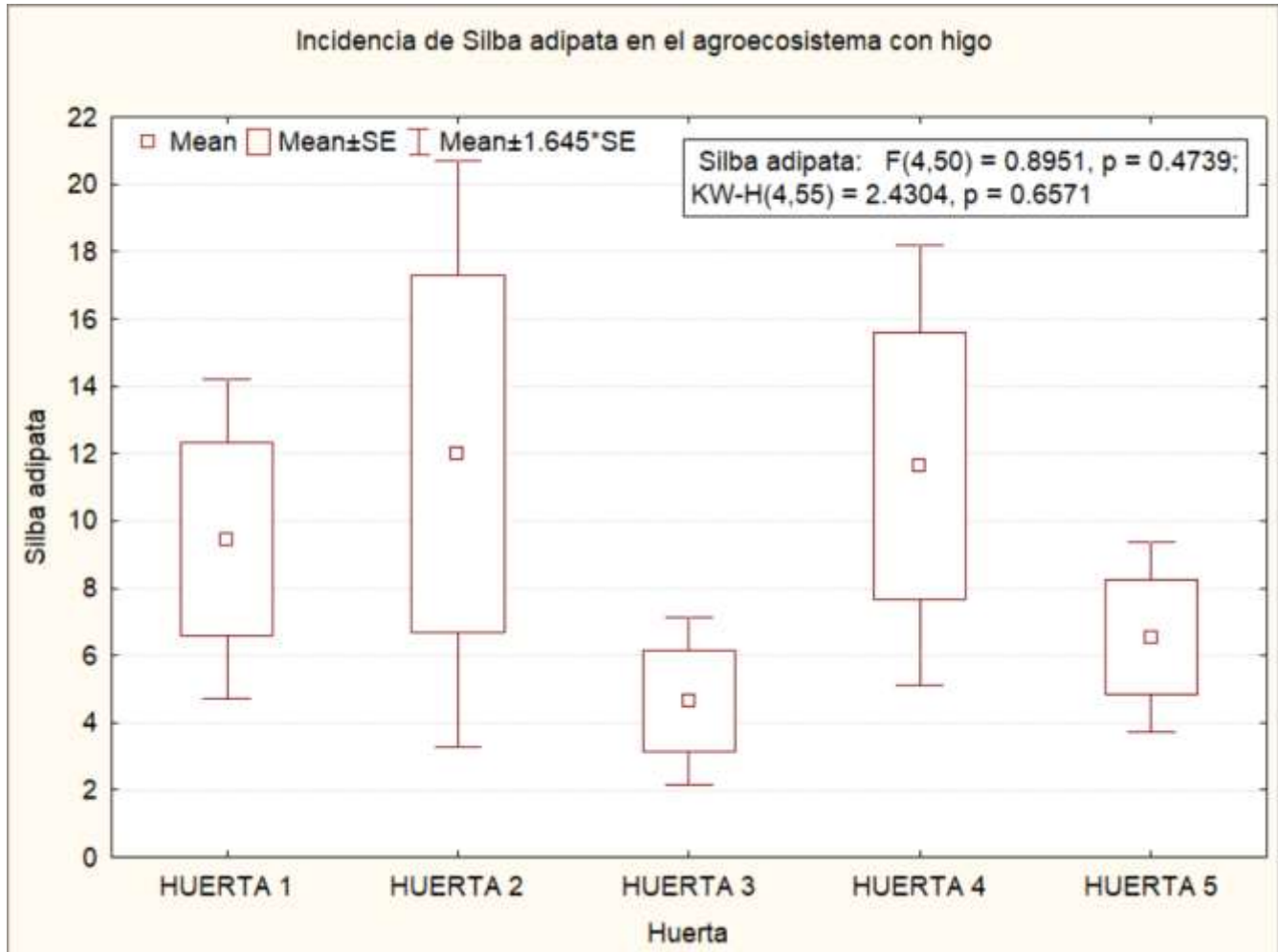


Figura 4. Incidencia de *Silba adipata* en huertas con higo.

Cabe mencionar que en la huerta 1 de higo Black Mission y Brown Turkey tiene árboles de pera, en la huerta 2 de higo Brown Turkey, se tiene frutales como, ciruela, durazno y capulín; en la huerta 3 de higo Brown Turkey se tiene presencia de árboles de pera; en la huerta 4 de Brown Turkey se tiene presencia de frutales de durazno y capulín; por último, en la huerta 5 de higo Brown Turkey se tienen árboles de pera, durazno y manzana. El género *Drosophila*, es una especie de plaga invasora que utiliza una amplia variedad de frutales entre los que podemos citar a durazno, pera, ciruela, capulín; lo cual ha provocado pérdidas económicas considerables (Flaibani *et al.*, 2023). El género *D. suzukii* hembra presenta un ovipositor aserrado que permite lacerar el epicarpio de las frutas sanas y maduras para oviponer sin requerir que la fruta este dañada o sobremadura como ocurre con otras especies de *Drosophila* (Markow, 2008).



Conclusiones

1. En el monitoreo de dípteros con trampas de vinagre de manzana, se identificó incidencia del suborden Brachycera entre ellos del género *Drosophilidae*, *Lonchaeidae* y *Tephritidae*; específicamente *D. suzukii* y *D. melanogaster*, *S. adipata* y *Anastrepha*.
2. En la huerta 2 de higo, se capturó el mayor número de dípteros, (*Drosophila* y *Silba adipata*), en ese orden, con trampas de vinagre. Puede ser por su ubicación y posiblemente por tener otros frutales hospederos en su periferia como durazno, ciruela, capulín.
3. La mayor incidencia de dípteros del género *Drosophilidae* se presentó en el mes de agosto y septiembre, respectivamente.
4. La mayor captura de dípteros en trampas Multilure con el atrayente Ceratrap fue de *Anastrepha*, seguida de *Drosophila* y *Silba adipata*.

Agradecimientos

A las personas de la comunidad que prestaron su parcela para llevar a cabo la presente investigación, a Gilberto Ríos Vargas, quien amablemente dono atrayente Ceratrap y a Ricardo O. Cuellar Bernal quien dono trampas multilure.

Literatura Citada

- Arévalo, P. E. y P. Florez, Z. 2011. Plan de manejo de moscas de la fruta. Instituto Colombiano Agropecuario. 38 p.
- Balseiro, T. F.J. 2020. Identificación de Lonchaeidae (Díptera: Tephritoidea) asociados a pasifloras en el departamento de Antioquia, con énfasis en el género *Lonchaea* Fallen 1820. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Escuela de Biociencias Medellín, Colombia 109 p.



- DGSV-CNRF. 2019. Mosca negra del higo *Silba adipata* McAlpine, 1956 (Diptera: Lonchaeidae). Sader-Senasica. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha técnica 78. Tecámac, Estado de México, 15 p.
- Gómez, Q. R. y M. García, A. 1997. Las moscas de las frutas. 1ª Edición. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Santafé de Bogotá, DC, Colombia.
- Gutiérrez, N. 2014. Control de moscas de la fruta. Agricultura y Desarrollo Rural. <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-agricola-hortofruticola-e-inocuidad/600>.
- Figuro, M. L. y V. Rafael. 2013. Diversidad del género *Drosophila* (Díptera, Drosophilidae) en el páramo de Papallacta, Pichinga, Ecuador. Revista Ecuatoriana de Medicina y ciencias biológicas. Laboratorio de genética evolutiva, escuela de ciencias biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 151-165.
- Flaibani, N., L. Gandini., F. Cabrera. y J. Fanara, J. 2023. *Drosophila suzukii* Matsumura (Díptera: Drosophilidae): análisis de Condiciones experimentales para su cría y estudio en laboratorio. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina. 82:1-15.
- Hernández, C. F. A. 2016. Etapas de la erradicación y manejo integrado de la mosca de la fruta (*Ceratitis capitata* Wied) en la región ICA. Tesis de licenciatura. Lima, Perú. 58 p.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2011. Plan Nacional de Detección, Control y erradicación de moscas de la fruta.
- IPPC. 2017. Determinación de la situación de una plaga en un área. Norma internacional para medidas Fitosanitarias n° 8. Roma. Publicado por la FAO en nombre de la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF). 16 p



- Katsoyannos, B. I. 1983. Field observations on the biology and behavior of the black fig fly *Silba adipata* McAlpine (Diptera, Lonchaeidae), and trapping experiments. University of Thessaloniki of agriculture, Laboratory of applied Zoology and Parasitology, Thessaloniki, Greece.
- Ledezma, A. J., M. Amaya, L., C. Magne, S., A. C. Ramos, C., J. Torrico, S. y E. Quisberth, R. 2013. Parasitoides para el control biológico de las moscas de la fruta en Santa Cruz. *Revista Boliviana de Ciencias Sociales*. 13: 1-23.
- Markow, T. A., O'grady, P. (2008). Reproductive ecology of *Drosophila*. *Functional Ecology*. 22:747-759.
- Matheus, G. H. 2005. Las moscas de la fruta. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, D. C. Colombia. 66 p.
- Melgarejo, M. P. 1996. El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.). Frutales de zonas áridas. Ediciones A. Madrid Vicente. Iragra, S. A. Madrid. 118 p.
- Norma Oficial Mexicana NOM-023-FITO-1995, Por la que se establece la Campaña Nacional contra las Moscas de la Fruta. Revisada el día 09-08-2023.
- Núñez, B. I. 2000. Las moscas de las frutas. Importancia económica, aspectos taxonómicos, distribución mundial de los géneros de importancia económica. www.pronatta.gov.co.
- Rufus, I., N. Hahn., B. Tritten y C. García. 2010. La *Drosophila* de las alas manchadas, una nueva plaga invasora en los frutales de Michigan. *Michigan State University Extension Bulletin*. 1-4.
- Sader-Senasica. 2018. Principales características taxonómicas para reconocer en campo las principales especies de mosca de la fruta.



SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). 2017. Mosca del mediterráneo. Folleto Informativo y guía de preguntas frecuentes. Gobierno de Chile. Séptima edición.

Tolrá Hjorth-Andersen, M.C. 2015. Clase Insecta Orden Díptera. Revista IDE@-SEA. 63:1-22.

Vilatuya, J., P. Valenzuela., J. Bolaños., R. Hidalgo. y A. Mariño. 2016. Hospederos de moscas de la fruta *Anastrepha* spp. Y *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) en Ecuador. Revista Científica Ecuatoriana. 3: 52-57.

Wilson, H. 2021. Alerta de la plaga-Mosca negra del higo. Universidad de California



DENSIDADES DE POBLACIÓN Y FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE FORRAJE DE HÍBRIDOS EXPERIMENTALES DE MAÍZ

Marcos V. Vázquez Hernández^{198*}, Oscar Hugo Tosquy Valle¹⁹⁸ y Flavio Rodríguez Montalvo¹⁹⁸

Resumen

El maíz es el cultivo más importante en México, tiene un consumo per cápita anual de 219.5 Kg. La producción de grano es destinada principalmente para el consumo humano, y un pequeño porcentaje de la superficie destinada al cultivo de maíz es para a producción de maíz forrajero. La producción de forraje verde representa menos de un 7% de la superficie destinada al cultivo. La demanda de forraje va en aumento, se destina principalmente para el ensilaje para cubrir las necesidades de alimentación del ganado bovino en la época de estiaje. Además, otras partes de la planta, consideradas como desechos (plantas, hojas, tallo que quedan en el campo) que se quedan en el campo, después de la cosecha de maíz pueden ser usadas para la alimentación del ganado. El presente trabajo tiene como objetivo determinar la producción de forraje de cuatro híbridos experimentales de maíz bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización. Los resultados demuestran que el rendimiento de forraje verde puede ser afectado por la densidad de población, así como por la interacción genotipo*densidad, fertilización*densidad y genotipo*fertilización. La densidad de 83,000 plantas/ha resultó con un rendimiento significativamente mayor al de 100,000 plantas/ha. La dosis de fertilización 234-69-90 resulto en mejor rendimiento de forraje para la densidad de 83,000 plantas por ha. Los genotipos HE-11B tuvo mayor rendimiento en la dosis 266-92-120, mientras que un rendimiento similar se encontró en el HE-14B con la dosis de 234-69-90. Por otra parte, el índice de cosecha y los días a floración masculina y femenina se vio afectado por el genotipo. Altas densidades pueden afectar negativamente el rendimiento de forraje. Una menor densidad permite incrementar el rendimiento con la dosis 234-69-90. El híbrido HE-14B presentó un buen potencial para la producción de forraje.

Palabras clave: *Zea mays*, producción, rendimiento

¹⁹⁸ Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. * Autor para correspondencia: vazquez.marcos@inifap.gob.mx



Introducción

El maíz es el cultivo más importante en México, se cultiva en 34.8% de la superficie agrícola nacional, con 7.3 millones de hectáreas cosechadas, de las cuales de 2.5 a 3 millones se encuentran en el trópico húmedo (Cano *et al.*, 2011; Sierra *et al.*, 2008). En el 2018 la producción fue de 27.7 millones de toneladas, con un consumo per cápita de 219.5 Kg (FAOSTAT, 2023; SIACON, 2022). México es el 8vo productor de maíz en el mundo (FAOSTAT, 2023). En el Estado de Veracruz, en el 2018, se cosecharon 549,184.75 ha, con una producción de 1,234,572.12 t.

La planta de maíz es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras, aprovechándose toda la planta. Otros usos del maíz incluyen el uso de los esquilmos como forraje seco de invierno (rastrojo), después de obtener las mazorcas para utilizar el grano en la alimentación humana. Además, cuando hay excedentes de producción, las mazorcas y granos molidos se utilizan como complemento energético en raciones usadas para alimentar ganado durante la época seca del año (Castillo *et al.*, 2015).

A nivel nacional, a partir del 2012, incrementó, a casi el doble, la superficie destinada para la producción de maíz forrajero con respecto al promedio del periodo 1999-2011, manteniéndose hasta el 2018 (SIACON, 2022). En Veracruz, de acuerdo con los registros del SIACON (2022), la producción de maíz forrajero inicio en el 2006 y hasta el 2014 la superficie promedio del periodo fue de 710 ha, e incrementó 65.6% en el 2015 y ha mantenido un incremento anual de 4.5%. En México, la demanda de forraje va en aumento, y es destinado principalmente para el ensilaje para cubrir las necesidades de alimentación del ganado bovino en la época de estiaje para asegurar la producción de carne y leche (Nuñez *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2006; Sierra *et al.*, 2003).

En las cuencas lecheras de México, el ensilado de maíz se utiliza comúnmente en la alimentación del ganado lechero, puede constituir de 30 a 40% de la ración de la alimentación en base seca, de vacas en producción (González *et al.*, 2005; Satter y Reiss, 2012) señalan que el valor nutritivo del ensilado de maíz depende del híbrido empleado, la densidad de plantación utilizada, condiciones de crecimiento, grado de madurez y humedad al momento de cosecha y de las condiciones de ensilaje.

El mejoramiento genético del maíz para el trópico se ha realizado para incrementar el rendimiento de grano y sus características agronómicas y no se han generado variedades o híbridos para forraje (Peña *et al.*, 2004; Nuñez *et al.*, 2003). El cultivo del maíz para forraje presenta bajo rendimiento de materia seca por hectárea, bajo contenido de grano y alto de fibra lo que ocasionan baja digestibilidad y bajo



valor energético (Gaytan *et al.*, 2009; Nuñez *et al.*, 2003). Esto se debe a que se usan híbridos, considerados como forrajeros, de elevada altura, con gran producción de follaje; así como a prácticas de manejo que favorecen el crecimiento vegetativo (altos volúmenes de materia verde por hectárea), pero con pobre valor nutritivo por el pobre rendimiento de grano, que es donde se encuentra el alto valor energético, por altas densidades de siembra (Nuñez *et al.*, 2005). Para incrementar el rendimiento del maíz forrajero es necesario seleccionar una variedad o híbrido de alto valor nutritivo y alta producción de materia seca (Reta *et al.*, 2000; Reyes y Reyes, 2000). En general, los híbridos de maíz de alto rendimiento de grano muestran alto contenido de energía metabolizable. Algunos estudios señalan que los genotipos con alta productividad en grano también son buenos para producir forraje de calidad, debido a una importante proporción de la mazorca con relación al total de la planta (Nuñez *et al.*, 2003). Por lo tanto, tan importante es desarrollar nuevas variedades e híbridos de maíz para forraje de alto rendimiento y calidad, como desarrollar y/o utilizar tecnologías para optimizar la producción. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de producción de forraje de cuatro híbridos experimentales bajo dos densidades de población y tres dosis de fertilización.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el ciclo P-V/2018 bajo condiciones de temporal, en terrenos del Campo Experimental Cotaxtla, localizado en el km 34.5 de la carretera federal Veracruz-Córdoba, en el municipio de Medellín de Bravo, Ver en las coordenadas 18° 50' LN y 96° 10' LO, a 15 metros sobre el nivel del mar. El clima es cálido subhúmedo Aw (w)(g), que corresponde a los subtipos menos húmedos de los cálidos subhúmedos (García, 1987), con temperatura media anual de 25.4°C, con máxima de 42.5°C y una mínima de 7.0°C y 1,336.8 mm de precipitación anual (Díaz *et al.*, 2006). El suelo presenta las siguientes características: textura migajón-arcillosa, con pH ligeramente ácido (6.4). Se sembraron cuatro híbridos experimentales (HE-3B, HE-10B, HE-11B y HE-14B), y como testigo el híbrido comercial H-564C. Los híbridos fueron sembrados bajo dos densidades de población (83,000 y 100,000 plantas por hectárea), y tratados con tres dosis de fertilización (184-69-60, 234-69-90 y 266-92-120). El experimento se condujo bajo un diseño en parcelas subdivididas, considerando como parcelas grandes (PG) a la densidad de población, parcela mediana (PM) a los híbridos y como parcela chica (PCH) a las dosis de fertilización. Cada subparcela fue de 16 m². Se sembraron cuatro surcos de 5



m de largo, con una distancia entre surcos de 80 cm y se utilizaron los dos surcos centrales como parcela útil. El control de malezas y plagas se realizaron de acuerdo a lo recomendado por el Programa de Maíz del CECOT, para la zona centro del estado de Veracruz (Palafox *et al.*, 2010).

Se evaluó el rendimiento de forraje verde y de materia seca, índice de cosecha en forraje verde y seco (relación peso de mazorca/peso de planta), días floración masculina y femenina y altura de planta y de mazorca. El análisis estadístico se realizó con el software Infostat 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018) bajo un diseño en parcelas subdivididas con arreglo factorial, con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

En el rendimiento de forraje verde se encontraron diferencias significativas para bloques, densidad de población y para la interacción Densidad*Fertilización*Genotipo. En el rendimiento de materia seca solo se encontraron diferencias en las interacciones Densidad*Fertilización, Fertilización*Genotipos y Densidad*Fertilización*Genotipo. En el índice de cosecha se encontraron diferencias en el genotipo y en las interacciones Densidad*Fertilización y Fertilización*Genotipos. En el caso del índice de cosecha del forraje seco solo se encontró diferencia en la triple interacción Densidad*Fertilización*Genotipo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia del rendimiento e índice de cosecha de forraje verde y materia seca de nuevos híbridos de maíz para producción de forraje.

F.V.	GL	Rendimiento (t/ha)		Índice de cosecha		
		Forraje		Verde	Seco	
		verde	Materia seca			
Modelo.	49	93.58	29.04	0.0011	0.28	
Bloque	2	246.18	*	88.1	0.0022	0.24
Densidad	1	60.98	*	39.64	0.01	0.18
Error A	2	1.62		34.58	0.00071	0.29
Genotipos	4	90.6		46.01	0.0021	* 0.32
Densidad*Genotipos	4	85.76		24.57	0.0007	0.28



F.V.	GL	Rendimiento (t/ha)			Índice de cosecha	
		Forraje			Verde	Seco
		verde	Materia seca			
Error B	16	112.65	29.5		0.00017	0.28
Fertilización	2	26.79	17.31		0.00062	0.26
Densidad*Fertilización	2	40.38	5.84	*	0.00037	* 0.28
Fertilización*Genotipos	8	94.01	37.45	*	0.0014	* 0.27
Densidad*Fertilización*Genotipo	8	79.3	4.72	* *	0.0019	0.29 *
Error C	40	37.29	6.76		0.0004	0.27
<i>Promedio</i>		<i>80.76</i>	<i>30.29</i>		<i>0.0018</i>	<i>0.27</i>
<i>CV</i>		<i>9.73</i>	<i>10.11</i>		<i>4.9</i>	<i>84.32</i>

* existen diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

En lo que respecta a la altura de planta solo se encontró diferencia significativa en los genotipos, por el contrario, no se encontraron diferencias significativas en la altura de la mazorca (Cuadro 2). Los días a floración masculina y femenina se vio afectada por efecto de los genotipos y de las interacciones Densidad*Genotipos, Fertilización*Genotipos, Densidad*Fertilización*Genotipo, mientras que la interacción Densidad*Fertilización solo afectó a los días en floración masculina.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia de la altura de planta y mazorca y días a floración masculina y femenina de nuevos híbridos de maíz para producción de forraje.

F.V.	GL	Altura (cm) de		Días a floración		
		Planta	Mazorca	Masculina	Femenina	
Modelo.	49	254.07	199.32	3.79	3.88	
Bloque	2	1551.88	508.54	8.81	8.01	
Densidad	1	74.71	3.6	5.38	4.44	
Error A	2	204.21	46.43	3.81	3.41	
Genotipos	4	814.35	* 158.16	24.32	* 24.51	*
Densidad*Genotipos	4	77.63	203.04	2.21	* 2.44	*
Error B	16	238.53	206.1	2.08	2.5	
Fertilización	2	77.54	236.21	0.01	0.01	



F.V.	GL	Altura (cm) de		Días a floración			
		Planta	Mazorca	Masculina	Femenina		
Densidad*Fertilización	2	20.14	240.43	0.88	*	0.74	
Fertilización*Genotipos	8	85.35	208.78	1.16	*	1.09	*
Densidad*Fertilización*Genotipo	8	74.98	160.92	0.59	*	0.58	*
Error C	40	147.82	220.04	0.59		0.61	
<i>Promedio</i>		<i>301.77</i>	<i>199.30</i>	<i>4.47</i>		<i>4.35</i>	
<i>CV</i>		<i>5.3</i>	<i>12.5</i>	<i>1.38</i>		<i>1.43</i>	

* existen diferencias significativas (Tukey, $p < 0.05$).

En el rendimiento de forraje verde solo se encontró diferencias en la densidad de plantas, donde la densidad de plantación de 83,000 plantas/ha favoreció un mayor rendimiento que la densidad de 100,000 plantas/ha. Aun que no se encontraron diferencias en el rendimiento de materia seca en ninguno de los factores, el genotipo HE-14B presentó un incremento de 3.87 t (13.6%) comparado con el híbrido comercial H-564C, que se encuentra adaptado para el trópico de México. De acuerdo con (Sánchez-Hernández *et al.* 2011; Sánchez *et al.*, 2013, 2019), el híbrido H-564C es un maíz con altamente productivo de forraje, debido a que en los estudios realizados siempre ha sobresalido comparado con los otros genotipos (Cuadro 3).

En lo que respecta al índice de cosecha (relación peso de mazorca/peso total de planta en verde y en seco), el genotipo HE-3B fue el que presentó el mayor índice de cosecha y el H-564C fue el del menor índice. Un alto índice de cosecha indica que el genotipo es apto, de preferencia, para la producción de grano. Sin embargo, el potencial que presenta para la producción de forraje es por el alto valor energético contenido en las mazorcas (Cuadro 3).

La densidad de planta no afectó significativamente la altura de las plantas y de mazorcas, ni los días a floración masculina ni femenina. El genotipo HE-3B presentó la mayor altura significativamente solo comparado con el HE-10B, no se encontraron diferencias en la altura de la mazorca entre genotipos (Cuadro 3). Todos los híbridos experimentales mostraron cierta precocidad en la floración, respecto al H-564C, con 2.3 días promedio de diferencia, en todos los casos la floración femenina precedió por un día a la masculina. La dosis de fertilización no afectó a ninguna de las variables de estudio que se reportan en el presente documento. Resultados similares fueron reportados por (Peña *et al.*, 2006), quienes encontraron no encontraron diferencias en el rendimiento al incrementar la densidad de plantas,



sin incrementar la aplicación de nitrógeno. Por el contrario, (Jurado *et al.*, 2014; Soto *et al.*, 2002) incrementaron el rendimiento al incrementar la dosis de nitrógeno.

Cuadro 2. Comparación de medias de nuevos híbridos de maíz para producción de forraje bajo diferente densidad de plantación y dosis de fertilización.

Factor	Nivel	Rendimiento (t/ha)		Índice de cosecha		Altura (cm) de		Días a Floración									
		Forraje verde	Materia seca	Verde	Seco	Planta	Mazorca	Femenina	Masculina								
Densidad (Plantas/ Ha)	83000	63.60	A	26.39	A	0.42	A	0.57	A	230.33	A	118.84	A	55.44	A	54.49	A
	100000	61.96	B	25.06	A	0.40	A	0.66	A	228.51	A	118.44	A	55.93	A	54.93	A
Genotipos	H-564C	62.36	A	24.51	A	0.40	C	0.53	A	226.94	AB	119.06	A	57.5	A	56.50	A
	HE-10B	61.08	A	24.72	A	0.41	AB	0.58	A	220.56	B	114.72	A	54.44	B	53.44	B
	HE-11B	65.28	A	26.06	A	0.41	BC	0.85	A	233.78	AB	120.00	A	54.94	B	53.94	B
	HE-14B	64.91	A	28.38	A	0.41	BC	0.52	A	227.78	AB	122.50	A	55.72	B	54.72	B
	HE-3B	60.28	A	24.96	A	0.43	A	0.59	A	238.06	A	116.94	A	55.83	B	54.94	AB
Fertilización (N-P-K)	184-69-60	61.80	A	25.12	A	0.41	A	0.58	A	231.17	A	121.77	A	55.67	A	54.7	0A
	234-69-90	63.69	A	26.58	A	0.41	A	0.72	A	229.10	A	116.33	A	55.70	A	54.73	A
	266-92-120	62.85	A	25.48	A	0.41	A	0.55	A	228.00	A	117.83	A	55.70	A	54.7	0A

Medias con letras iguales indican que no existe diferencia significativa (Tukey, $p < 0.05$).

La altura de planta, altura de mazorca y su relación pueden afectar el rendimiento tanto en maíz forrajero como para la producción de granos, debido las plantas más altas y/o con una relación AM/AP más elevada tienden a ser más susceptibles al acame, además de que la calidad y el rendimiento pueden verse afectadas (Lafitte, 1993). De ahí la importancia de lo señalado por (Sierra *et al.*, 2004) de formar híbridos o variedades de porte intermedio a bajo para minimizar el riesgo por acame.

La dosis de fertilización 234-69-90 causó un incremento del rendimiento de forraje verde en la densidad de 83,000 plantas por hectárea; el mismo efecto se puede observar en el rendimiento de materia seca (Figura 1A, B).

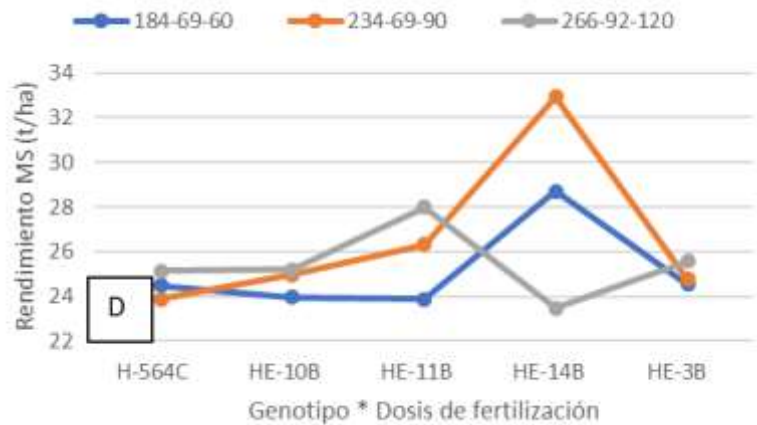
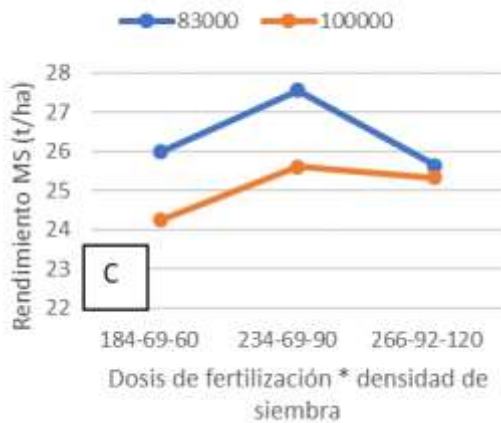
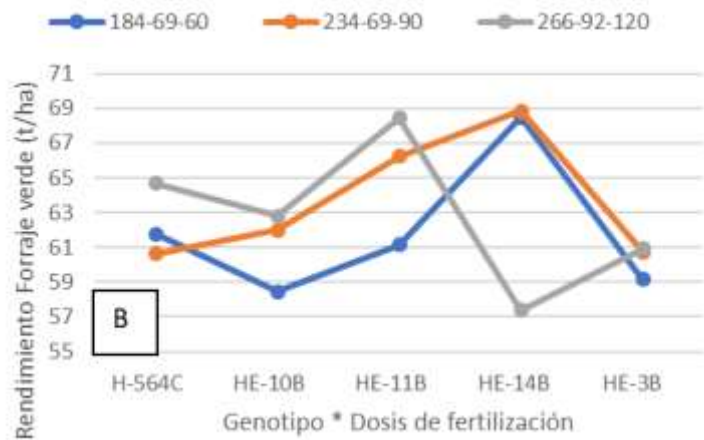
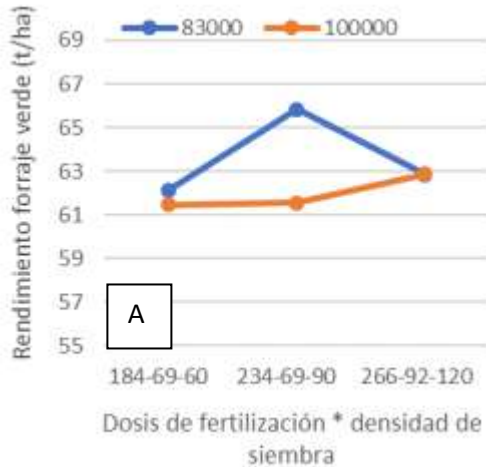


Figura 8. Efecto de las interacciones dosis de fertilización*densidad de plantas (A, C) y de genotipo*dosis de fertilización (B, D).

El genotipo HE-14B respondió mejor a las dosis de fertilización 184-69-60 y 234-69-90 en la producción de forraje verde, y fue afectado negativamente cuando se aplicó 266-92-120 (Figura 1B). Por el contrario, la dosis de fertilización más alta favoreció el rendimiento de forraje del genotipo HE-11B, con resultados similares al encontrado en las otras dos dosis con el genotipo HE-14B. El genotipo HE-14B también afectó significativamente el rendimiento de materia seca con la dosis de fertilización 234-69-90.



Conclusión

No se encontraron diferencias en el rendimiento entre genotipos, sin embargo, el genotipo HE-14B presentó un rendimiento cercano a las 69 t/ha de forraje verde con la dosis de fertilización 234-69-90, además de responder mejor a altas densidades de siembra.

La densidad de 83,000 plantas por hectárea favoreció un mejor desarrollo de las plantas, rendimiento de forraje verde y de materia seca.

Literatura Citada

Cano, O., Tosquy, O.H., Sierra, M., y Rodríguez, F.A. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):193-197.

Castillo, R. A., Salazar, S.L.M., Rosales, S.R. y Jiménez, O.R. 2015. Rendimiento forrajero de maíz utilizado para alimentar bovinos productores de carne y leche en Durango, México. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/rendimiento-forrajero-maiz-utilizado-t32010.htm> [consultado el 30 de junio de 2023]

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. 2018. InfoStat versión 2018. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

Díaz, P. G., J. A. Ruiz C., M. A. Cano G., V. Serrano A. y G. Medina G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (período 1961-2003). Libro Técnico Núm. 13. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 292 p.

FAOSTAT (Base de datos de Las Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023. Series temporales anuales, población total. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/OA> [consultado el 31 de junio de 2023].



- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª. ed. UNAM. México, D. F. 130 p.
- González, C. F., Peña, R. A., Núñez, H. G. y Jiménez, G. C. 2005. Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(4):393-397.
- Jurado G., P.; Lara M., C.R.; y Saucedo T., R.A. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. Folleto Técnico Núm 53, Septiembre 2014. INIFAP. CIRNOC. Sitio Experimental la Campana. Aldama, Chihuahua. 34 p.
- Lafitte, H. R. 1993. Identificación de problemas en la producción de maíz tropical. Guía decampo. CIMMYT. México, D.F. 112 p.
- Núñez, H. G., Contreras, G. E.F. y Faz, C. R. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Tec. Pecu. Mex.* 41: 37-48
- Núñez, H. G., Faz, C. R., González, C. F. y Peña R. A. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Téc. Pec. Méx.* 43(1):69-78.
- Palafox, C. A., M. Sierra M., F. A. Rodríguez M. y F. J. Ugalde A. 2010. Tecnología de producción para maíz de grano y elote para el trópico húmedo de México. Folleto para productores Núm. 14. SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, Ver., México. 14 p.
- Peña, R.A., González, C.F., Núñez, H.G., y Jiménez, G.C. 2004. Aptitud combinatoria de líneas de maíz para alta producción y calidad forrajera. *Rev Fitotecnia Mex.* 27:1-6.
- Peña, R. A., Gonzalez, C. F., Núñez, H. G., Tovar, G. M.R., Preciado, O. R.E., Terrón, I. A., Gómez, M. N., Ortega, C. A. 2006. Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol 29 (Especial 2): 109-114.



- Reta, S. D. G., Gaytán, M. A. y Carrillo, A. J. S. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23(1):37-48.
- Reyes, C. P. y Reyes, M. F. 2000. Producción de maíz para ensilaje. *In: Congreso de la Producción de Forraje Verde y Conservado. Associated Consultant Internacional (Ed.).* Querétaro, Qro. México. 17-21 pp.
- Sánchez-Hernández, M.A., Aguilar-Martínez, C.U., Valenzuela-Jiménez, N., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M.C. y Villanueva-Verduzco, C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana* 22(2):281-295.
- Sánchez, H.M.A., Aguilar, M. C.U., Valenzuela, J.N. Joaquín, T.B.M., Sánchez, H.C., Jiménez, R.M.C. y Villanueva, V.C. 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *DENSIDADES Rev Mex Cienc Pecu*, 4(3):271-288
- Sánchez, H.M.A., Cruz, V.M., Sánchez, H.C., Morales, T.G. Rivas, J.M.A., Villanueva, V.C. 2019. Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3):699-712.
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera-Agroalimentaria de Consulta). 2022. Modulo Agrícola. Resumen nacional por cultivo. SIAP-SADER. México.
- Sierra, M., M., E. N. Becerra L., A. Palafox C., S. Barrón F., O. Cano R., A. Zambada M., *et al.* 2004. Caracterización de híbridos de MAÍZ (*Zea mays* L.) con alta calidad de proteína por su rendimiento y tolerancia a pudrición de mazorca en el sureste de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22(2),268-276.



Sierra, M. M., Palafox, C. A., Rodríguez, M. F.A., Espinosa, C. A., Córdova, O.H., Román, P. H., *et al.* 2003. V-556AC, Variedad de maíz de grano amarillo con alta calidad de proteína. Desplegable Técnico Núm. 5. División Agrícola. Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC. INIFAP. México, D.F. 2 p.

Sierra, M.M., Palafox, C.A., Rodríguez, M.F., Espinosa, C.A., Gómez, M.N., Caballero, H.F., *et al.* 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. Agr Téc Méx. 34(1):119-122.

Sierra, M. M., Palafox, C. A., Rodríguez, M. F.A., Espinosa, C. A., Vázquez, C. G., Gómez, M. N., *et al.* 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Agric. Téc. Méx. Vol 2 (1): 71-84.

Sierra, M. M., Rodríguez, M. F.A., Gómez, M. N., y Espinosa, C. A. 2017. H-567, Híbrido de maíz para el trópico húmedo de México. Revista de Operaciones Tecnológicas. Vol 1 (3): 6-14.

Satter, D. L. and Reiss, B. R. 2012. Milk production under confinement conditions. Ed. US. Dairy Forage Research Center, USDA-ARS and Dairy Science Department. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA. 37 p.

Soto, O. P., Jhan, B. E, y Arredondo, S. S. 2002. Densidad de población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el Valle Central Regado. Agricultura Técnica Vol 62 (2): 255-265.



POLINIZACIÓN MANUAL Y CARACTERÍSTICAS DE FRUTOS DE PITAHAYA (*Hylocereus* spp.)

Jeremías Nataren Velázquez^{199*}, Ana Lid del Angel Pérez, Irma Rosa Vásquez Robles²⁰⁰ y Juan Valente Megchún García²⁰⁰

Resumen

México es un país con gran diversidad de especies de importancia económica y agrícola. Dentro de las cuales sobresalen las especies no tradicionales que tiene mejor adaptabilidad a climas y suelos, como es el caso de las cactáceas, destacando la pitahaya (*Hylocereus* spp.), que ha tenido gran aceptación en el mercado internacional, por sus beneficios nutricionales y medicinales. Se realizó esta investigación con el objetivo de determinar la eficiencia del método de polinización manual para aumentar la producción en *Hylocereus* spp., en donde se consideró cultivares con ciertos niveles de autoincompatibilidad, y las recomendaciones de horario nocturno en la antesis, ya que durante los últimos años México reporta autoincompatibilidad en flores de pitahaya. Es por eso que en la presente investigación se realizó un experimento con un diseño completamente al azar, en donde se realizó la autopolinización (PA) de cada genotipo, la polinización cruzada (PC), considerando cruza recíprocas y polinización natural (PN). Los resultados arrojaron que la mejor hora de polinización es entre las 2:00 a 4:00 a.m., donde se observó un 95-100% de viabilidad de polen y se presentó mayor cuajado de frutos, concluyendo que la PC con materiales de pulpa roja con polen de pulpa blanca son los que tienen mejor peso.

Palabras clave: antesis, autoincompatibilidad, autopolinización, polinización cruzada, polinización natural

¹⁹⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias, Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: nataren.jeremias@inifap.gob.mx

²⁰⁰ Instituto Tecnológico de Boca del Río.



Introducción

En las regiones del trópico mexicano, la baja rentabilidad de los cultivos tradicionales, la necesidad de preservar los recursos naturales y de generar recursos económicos para la sociedad, han obligado a una reconversión agrícola para tratar de solventar esta problemática. (De Alba, 2003), Ante tal situación, se ha hecho importante identificar especies de frutales con potencial para estas regiones, como la pitahaya (*Hylocereus* spp.) siendo una especie no tradicional con un alto potencial de desarrollo y oportunidades en el mercado. Actualmente, los productos no tradicionales como las cactáceas han adquirido gran importancia en el mercado internacional, propiciando que América Latina se enfoque en investigaciones para lograr establecer el cultivo de manera comercial (Del Ángel *et al.*, 2012). La distribución de la pitahaya en el mundo se realizó después de la conquista, y en primera instancia pasó a formar parte de colecciones privadas y fundaciones, principalmente en Inglaterra, Francia, España y China, para posteriormente cultivarse en forma comercial principalmente en Asia (Meráz *et al.*, 2003). Se conoce con el nombre común de pitahaya (Esquivel y Araya, 2012), que por sus características físicas y químicas ofrece un amplio mercado de exportación como fruta fresca o pulpa congelada, y sus amplias y diversas formas de consumo (tallos tiernos como verdura para ensaladas o guisos y colorante vegetal de uso alimentario y medicinal), constituyen alternativas productivas y viables, siempre y cuando se fortalezca el mercado interno promoviendo el hábito de consumo (Meráz *et al.*, 2003; Rebolledo *et al.*, 2009); así como la generación de tecnologías en toda la cadena productiva, que ayude al sector rural a desarrollar el producto desde el nivel de finca hasta el agroindustria (Rodríguez, 2002). La realización de esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de determinar la eficiencia del método de polinización manual para aumentar la calidad y producción en genotipos de pitahaya (*Hylocereus* spp.), considerando cultivares con cierto nivel de autoincompatibilidad, y las recomendaciones de horario nocturno en la antesis, ya que durante los últimos años se ha buscado aumentar la producción y es por ello que se ha realizado trabajos de polinización se ha reportado que en México (Castillo *et al.*, 2003; Márquez *et al.*, 2005; Sandoval *et al.*, 2009), se analizaron la autoincompatibilidad de algunos cultivares rojos y blancos de un banco de germoplasma, y consideran indispensable la polinización manual, para asegurar la obtención de altos rendimientos. (Pantoja *et al.*, 2014)

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el 2022, en el Campo Experimental Cotaxtla, ubicado en el Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz (ver figura 1 y 2), y en el Rancho “El Brasil” ubicado en Suchiapa, Chiapas.

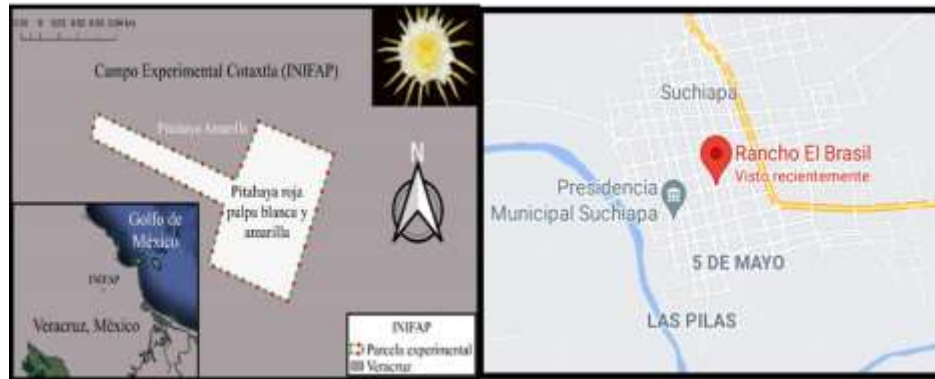


Figura 1. Localización del área de estudio. Foto izquierda Campo Cotaxtla, derecha Rancho el Brasil, Suchiapa, Chiapas.

Diseño estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones (flores) y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, se realizó autopolinización (PA) de cada uno de los cuatro genotipos, y la polinización cruzada (PC) considerando las recíprocas, la cual solo se realizó entre genotipos del mismo color de pulpa (blanca x blanca y roja x roja). El testigo de comparación fue la polinización natural (PN) de cada genotipo. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Cruzas	Tipo de polinización
• Rosa x Andrea	Manual cruzada
• Andrea x Rosa	Manual cruzada
• Andrea x Tanith	Manual cruzada
• Tanith x Andrea	Manual cruzada
• Roja x Blanca	Manual cruzada





Cruzas	Tipo de polinización
• Andrea x Andrea	Autopolinización
• Roja x Roja	Autopolinización
• Tanith x Tanith	Autopolinización
• Blanca x Blanca	Autopolinización
• Andrea (T)	Natural
• Rosa del sureste (T)	Natural
• Tanith (T)	Natural




Descripción de las actividades realizadas

A continuación, se presenta la descripción del procedimiento realizado para llevar a cabo la polinización. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Actividades efectuadas en campo desde el brote floral hasta la cosecha del fruto.

Actividad	Evidencia
Una vez que la flor está iniciando la apertura floral, se esperó a que se presentará la antesis total, para realizar la polinización y se midió la hercogamia de aproximación.	
Con la ayuda de un frasco o caja Petri y un pincel se realizó la colecta del polen fresco del genotipo madre para polinizar uno diferente.	

Actividad	Evidencia
<p>Posteriormente a la colección del polen, se tapó bien el frasco o la caja Petri para que el polen no se humedeciera, y se pudiera realizar la polinización. El polen colectado se colocó con el pincel sobre el <i>estigma</i> de la flor con mucho cuidado de no quebrar el tubo polínico.</p>	
<p>Una vez que se llevó a cabo la polinización manual se cubrió la flor, en este caso se utilizaron bolsas de papel para evitar la entrada de visitantes nocturnos de su habitad natural.</p>	
<p>A la mañana siguiente, se quitaron las bolsas a la flor para evitar pudriciones.</p>	
<p>El fruto amarra tres o cuatro días después de la polinización, entonces se quitan los restos secos de la flor para disminuir el riesgo de enfermedades del fruto.</p>	

Actividad	Evidencia
<p>Es muy importante que de la etapa de desarrollo a maduración del fruto se cubra con mallas, para evitar daños tanto de insectos y aves.</p>	
<p>Con la ayuda de una cinta métrica o una regla se llevó a cabo la medida de longitud del fruto, cada tercer día hasta su maduración completa.</p>	
<p>Una vez que el color de la fruta cambie, de acuerdo a su variedad (verde a amarillo, verde a rosa o verde a rojo) indica que los frutos han alcanzado su correcta madurez se realizó la cosecha.</p>	

Características del fruto.

El Cuadro 3, describe las variables consideradas en la caracterización de los frutos cosechados.

Variable	Evidencia
<p>La variable peso total del fruto, se registró en una base de datos, con la ayuda de una báscula digital.</p>	

Variable	Evidencia
<p>Con la ayuda de un vernier digital se midió: longitud y diámetro del fruto.</p>	
<p>Con la ayuda de un penetrometro se tomó la dureza de los frutos, colocando el material encima de la fruta y posteriormente se presionó hasta obtener la dureza.</p>	
<p>Para los grados brix° del fruto se utilizó un refractómetro, para ello se colocaron unas gotas del jugo de la pitahaya.</p>	
<p>Se cortaron los frutos para poder tomar los datos de la parte interna, posteriormente se procedió a medir el peso del pericarpio.</p>	
<p>Otra variable que se tomó fue el grosor del pericarpio, con la ayuda de un vernier digital.</p>	
<p>Se obtuvo el peso de la pulpa sin pericarpio, con la ayuda de la báscula digital.</p>	

Variable	Evidencia
----------	-----------

Se incluyó la variable peso de pulpa sin semilla, para ello se dividió la fruta en la cuarta parte del peso total sin pericarpio y se le quitaron las semillas.



Se contabilizaron las semillas de la cuarta parte del fruto, se tomó el número total de semilla y su peso, y se multiplicó el peso por cuatro, para poder obtener el peso total de semillas del fruto completo.



Se consideraron las medidas de las brácteas. Se utilizó un vernier digital, para medir longitud y diámetro de las brácteas.



Para la variable de acidez titulable se machacó 10 g de pulpa de la fruta, y se colocó sobre un vaso de precipitado. Se agregó 50 mL de agua destilada, después se aplicaron dos gotas de indicador de fenolftaleína, y se mezcló, con la ayuda de un abate lenguas. Posteriormente se aplicó gota por gota de hidróxido de sodio con la ayuda de una bureta.



Para el análisis de los resultados se utilizó el programa estadístico XL-Stat addinsoft, v. 2016, y el test de Kruskal-Wallis fue utilizado para la comparación de medias.



Resultados y Discusión

El cuadro 4 muestra los datos de hercogamia en los genotipos Andrea, Tanith, Rojo P y Rojo Ch. Los resultados indican que los materiales de pulpa roja (Rojo Ch y Rojo P) presentan una mayor hercogamia ($p > 0.05$) en comparación con los genotipos de pulpa blanca.

Cuadro 4. Diferencias entre estambres y estigmas en genotipos analizados.

Variable	Andrea	Tanith	Rojo P	Rojo Ch	p (0.05)
Hercogamia	1.3 a	1.1 a	2.9 b	2.1 ab	< 0.0001

La Figura 2, muestra el comportamiento del polen de acuerdo a la viabilidad encontrada por el método empleado. La viabilidad comienza a las diez de la noche en porcentaje bajo, de las 2-4 de la mañana el polen alcanza el mayor porcentaje de viabilidad. De la 1:00 a las 2:00 a.m., y de 5:00 a 6:00 a.m. la viabilidad es de 42 y 58%, respectivamente.

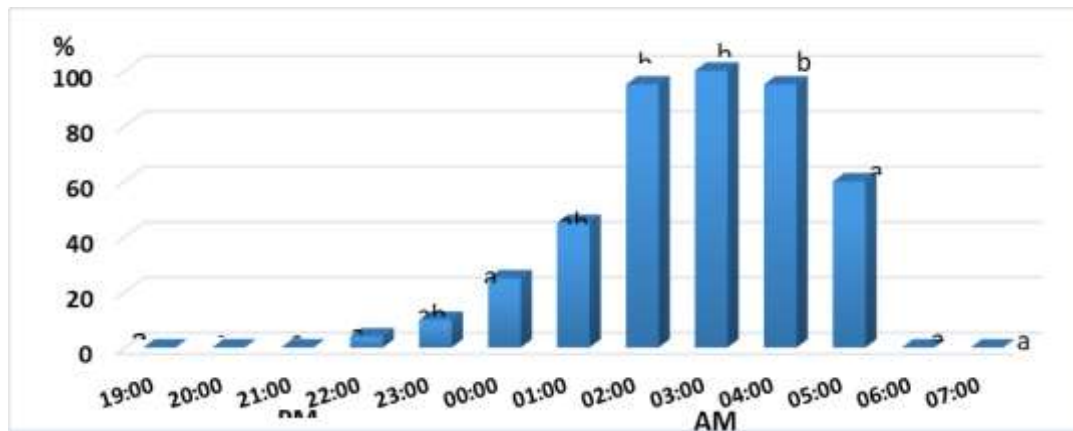


Figura 2. Viabilidad del polen para efectuar polinización manual efectiva a lo largo de la antesis Kruskal-Wallis (0.05%), $p < 0.0001$.

Cabe mencionar que, aunque es posible polinizar desde que comienza la antesis, parece ser que el pistilo no está totalmente listo, pero el polen en el estigma puede esperar a que madure el pistilo con una pequeña reducción de actividad, por lo que baja el porcentaje de fructificación (Zepeda *et al.*, 2015). Una mayor actividad de polen no significa un mayor porcentaje de cuajado de frutos o tamaño del fruto, ya que parece haber un valor de saturación para la actividad del polen. La mejor opción para la polinización manual es polinizar cuando el polen tiene consistencia harinosa. Para la polinización a



las 4:00 a.m., el porcentaje de cuajado de frutos puede llegar hasta el 99.2% pero el tamaño de la fruta es significativamente un 10.5% más pequeño. En las polinizaciones realizadas después de las 4:00 a.m., tanto el cuajado del fruto el porcentaje y el tamaño de la fruta caen rápidamente (Li *et al.*, 2020). Con relación al peso de fruto, pulpa y pericarpelo en el (Cuadro 5) muestra diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos. Con polinización libre también denominada natural o abierta, los genotipos de pulpa roja (Roja P y Roja Ch) ofrecen bajo peso de fruto, mucho menor que Andrea y Tanith de pulpa blanca, cuyos frutos obtuvieron un mayor peso (Cuadro 5). En polinización cruzada entre materiales de pulpa blanca, así como las recíprocas (mismo material) obtuvieron frutos con pesos promedio buenos, que van de 321.7 a 429.8 g. Cuando el material de pulpa roja recibió polen de otro con pulpa blanca, el peso del fruto es mayor, mientras que cuando el de pulpa blanca recibió polen de un genotipo de pulpa roja, el peso del fruto fue el más bajo. Martínez *et al.* (2011).

Cuadro 5. Peso total de fruto, pulpa y pericarpio de materiales y combinaciones de *H. undatus* spp.

Materiales y combinaciones	Peso (g)		Pulpa (g)		Pericarpio (g)	
	Media	Grupos	Media	Grupos	Media	Grupos
Andrea x Roja	269.0	a	210.1	a	58.9	a
Roja P	273.0	a	213.2	a	59.8	ab
Roja Ch	323.1	ab	252.3	ab	70.7	abc
Andrea x Andrea	321.7	ab	251.2	ab	70.4	abc
Tanith x Tanith	354.1	bc	276.5	abc	77.5	abcd
Andrea X Tanith	363.6	bc	284.0	abc	79.6	bcd
Tanith X Andrea	366.7	bc	286.4	abc	80.3	cd
Andrea	429.7	bc	335.7	bcd	94.1	cd
Roja x Andrea	475.8	c	371.6	cd	104.2	cd
Tanith	502.9	c	392.8	d	110.2	d
<i>Kuskal-Wallis (0.05)</i>	<i>P<0.0001</i>		<i>P<0.0001</i>		<i>P<0.0001</i>	

El Cuadro 6 muestra que se encontró diferencia estadística significativa, en los grados Brix° de los materiales analizados y sus combinaciones; entre ellos destacan por ser menos dulces los frutos de



polinización cruzada manual de Roja x Andrea y Andrea x Tanith; es decir Andrea baja sustancialmente la dulzura natural del material rojo, al proporcionarle polen. También, Tanith baja ligeramente la dulzura natural del fruto, cuando proporciona polen a Andrea y viceversa. Chauta *et al.* (2012).

Cuadro 6. Sólidos solubles Totales en grados brix° de los materiales analizados y combinaciones.

Materiales y combinaciones	SST (°Brix)	Grupos
Roja x Andrea	9.6	a
Andrea x Tanith	10.1	a
Tanith x Andrea	10.5	ab
Andrea x Andrea	10.7	ab
Tanith	11.1	abc
Andrea	11.9	abcd
Andrea x Roja	12.2	abcd
Tanith x Tanith	13.8	bcd
Roja Ch	14.7	cd
Roja P	15.5	d
Kruskal-Wallis (0.05)		p< 0.0001

La Figura 3, permite comparar la producción esperada en cada uno de los genotipos por polinización libre y manual, encontrando diferencia estadística significativa en la producción. Se formaron tres grupos, destacando con mayor producción Tanith en polinización libre, y la polinización cruzada del material de pulpa Roja X Andrea. En éste último caso la alta producción esperada por hectárea se debe a que, aunque el material de pulpa roja es auto-incompatible, al recibir polen de un material de pulpa blanca con un buen nivel de auto compatibilidad, tiende a mayor porcentaje de cuajado, y mayor tamaño de fruto pues varios autores han señalado que existen miles de óvulos de la flor de pitahaya que requieren ser fertilizados, cosa que la polinización libre no logra. La menor producción por hectárea esperada la tienen los materiales con polinización cruzada Andrea x Roja. Es decir, cuando el material de pulpa blanca recibió polen de pulpa blanca disminuyó el tamaño promedio esperado en Andrea, principalmente comparada con Andrea en polinización libre. En el caso de las cruas recíprocas en cultivares de pulpa blanca la producción esperada es menor de la que ofrecen los cultivares con



polinización libre. Observando la producción de Tanith y Andrea, es mejor hasta donde sea posible y mientras el cambio climático lo permita, favorecer la polinización libre (Castillo *et al.*, 2005). O bien cruzar los materiales de pulpa blanca por otro similar, pues ofrecen una producción de moderada a buena. En el caso de los materiales rojos es importante por su condición de autoincompatibilidad, usar la polinización manual empleando el polen de cultivares de pulpa blanca con un buen nivel de auto compatibilidad, pues se puede lograr mayor cuajado de fruto y producción por hectárea.

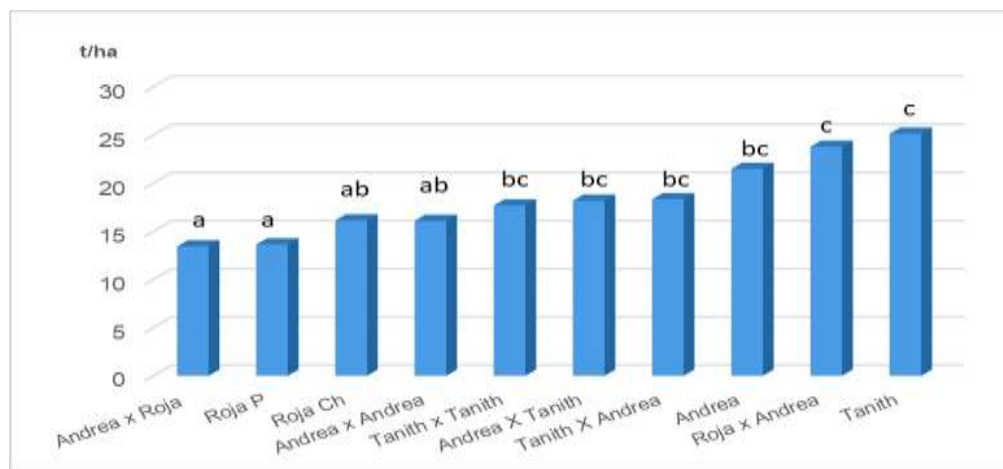


Figura 3. Proyección de la producción por hectárea con 1,250 plantas y dos plantas por tutor Kruskal-Wallis (0.05%), $p < 0.0001$.

Conclusiones

1. Con relación a la autoincompatibilidad, los cuatro materiales arrojan ciertos niveles de autoincompatibilidad definidos en la hercogamia de aproximación, donde los genotipos de pulpa roja tienen mayor autoincompatibilidad, debido a la distancia entre anteras y estigma.
2. Con la polinización cruzada de genotipos de pulpa Roja y de Andrea de pulpa blanca se obtiene buena calidad de fruto (tamaño y °brix).
3. Cabe destacar que en un cultivar de pulpa roja es conveniente tener plantas de pulpa blanca para incrementar la producción y tener asegurado así un mayor porcentaje de amarre de fruto, bien sea efectuándose polinización manual cruzada en el caso de materiales de pulpa roja con polen de materiales de pulpa blanca o natural, en el caso de materiales de pulpa blanca.



Literatura Citada

- Bonilla, M.A. (2012). La polinización como servicio ecosistémico. En: Iniciativa colombiana de polinizadores (ICPA), Capítulo I: Abejas. Universidad Nacional de Colombia, Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia. pp. 1-103.
- Castillo M., R., M. Livera M. y G. J. Márquez G. (2005). Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia*, 39: 183-194.
- Castillo, R., Livera, M., Brechú, A. E., & Márquez-Guzmán, J. (2003). Compatibilidad sexual entre dos tipos de *Hylocereus* (Cactaceae). *Revista de biología tropical*, 51(3-4), 699-705 p.
- Chautá-Mellizo, A.; Campbel, S.A.; Bonilla, M.A.; Thaler, J.S.; Poveda, K. (2012). Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13: 524-532.
- Chuah, T. G., Ling, H. L., Chin, N. L., Choong, T. S., & Fakhru'l-Razi, A. (2008). Effects of temperatures on rheological behavior of dragon fruit (*Hylocereus* sp.) juice. *International Journal of Food Engineering*, 4(7), 1-28.
- De Alba, B. R. 2003. El cultivo de pitahaya y sus sistemas de producción. Folleto Técnico No. 10. SAGARPA. INIFAP. CIRSE. Campo Experimental Chetumal. Chetumal, Q. Roo, México. 40 p.
- Del Angel, P. A. L., Hernández, E. C.A., Rebolledo M. A., Zetina L. R. (2012). Pitahayas: patrimonio biocultural para diversificar la agricultura y la alimentación. Libro técnico No. 31. CIRGOC – INIFAP. Veracruz, México.
- Esquivel, P.; Araya, Q. Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 113-129 p.



- Fernández, L. (2022). Qué es la polinización y sus tipos. Obtenido el 27 de octubre 2022, de la página electrónica: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-polinizacion-y-sus-tipos-2813.html>
- Li, J., Shi, H., Huang, X., Wang, Y., Junsheng, Z., Dai, H., & Sun, Q. (2020). Pollen germination and hand pollination in pitaya (*Hylocereus undatus*).
- Márquez, C. L. (2005). Caracterización morfológica y compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*). *Agrociencia* vol. 39, no. 2, 183-194.
- Martínez, C. R. (2011). Relaciones entre genotipo, productividad y calidad de fruto en pitahaya (*Hylocereus* spp.). Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de Méx., México. 66 p.
- Meráz, A. M. R., M. A. Gómez C. y R. Schwentesius R. 2003. Pitahaya de México, producción y comercialización en el contexto internacional. p. 97-130. In: Flores, V. C. A. (ed.). *Pitahayas y Pitahayas*. CIESTAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México.
- Osuna-Enciso, T., Valdez-Torres, J. B., Sañudo-Barajas, J. A., Muy-Rangel, M., Hernández-Verdugo, S., Villarreal-Romero, M., *et al* (2016). Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el valle de Culiacán, Sinaloa, México. *Agrociencia*, 50(1), 61-78.
- Pantoja, A.; Smith-Pardo, A.; García, A.; Sáenz, A., Rojas, F. (2014). Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Santiago, Chile.
- Ramírez M. F. J. (1999). Caracterización y compatibilidad en pitahaya *Hylocereus* sp. Tesis de Maestría en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 108 pp.



- Rebolledo, M. A., A. del Angel., N. Becerra L., X. Rosas G. y R. Zetina L. (2009). Frutales tropicales no tradicionales para Veracruz. Folleto Técnico No. 45 SAGARPA. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. 110 p.
- Rodríguez, C. A. (2002). Pitahayas (*Hylocereus undatus*) producción y comercialización en México. Reporte de investigación 66. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 37 p.
- Sandoval, I. J., Mireles, F. R., & Hernández, T. C. (2009). Caracterización de dos clones de Pitahaya roja (*Hylocereus purpusii*) de Jalisco, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 8(2), 115-122.
- Solís, Martínez, B. (2014). Polinización y amarre de fruto de pitahaya solferina (*Hylocereus* sp.) en la Mixteca Poblana. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, 169 p.
- Verona-Ruiz, A.; Urcia-Cerna, J.; Paucar-Menacho, L.M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria* 11(3): 439-453.
- Yah, P. V. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana* vol. 31, no. 1, 1-5.
- Zepeda, B., Santos, M., Delmon, F., & Benneth, B. (2015). Evaluación de compatibilidad sexual de cinco genotipos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en la finca El Socorro ubicada en el en el Km 27 carretera el Crucero-Nicaragua en el periodo de mayo-junio del 2014 (Doctoral dissertation). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-león, 62 p.



EFFECTO DEL ACOLCHADO PLÁSTICO Y LA MALLA SOMBRA EN EL CONTROL DE LA FLORACIÓN NATURAL EN PIÑA MD2

María Enriqueta López Vázquez²⁰¹, Andrés Rebolledo Martínez²⁰¹, Rosa Laura Rebolledo García²⁰¹,
Nain Peralta Antonio²⁰¹ y Laureano Rebolledo Martínez²⁰¹

Resumen

Las condiciones ambientales durante el invierno, principalmente el descenso de temperatura, estimulan la floración natural de la planta de piña. Esta característica genera dos problemas importantes: el primero, una sobre oferta de fruta durante el verano con una consecuente baja rentabilidad del cultivo y el segundo, la escasez de fruta durante el otoño, con incremento en el costo para los consumidores y mayor riesgo para exportadores que deben cumplir metas de producción. Las alternativas para el control de este problema incluyen el manejo del tamaño de la planta, fechas de plantación, uso de reguladores de crecimiento y poda de hojas. Dos prácticas agronómicas comunes en el cultivo son la malla sombra y el uso de acolchado plástico para cubrir la totalidad del suelo, estas prácticas se pueden asociar con la floración natural de la planta, sin embargo, esto ha sido poco estudiado. El objetivo fue evaluar el efecto del acolchado plástico y la malla sombra en la floración natural de la piña MD-2. En febrero del 2021, en la región del Bajo Papaloapan, Veracruz, se establecieron hijuelos de 800 g a una densidad de 45,000 plantas/ha. Se evaluó la combinación del uso de acolchado plástico y malla sombra. De enero a abril del 2023 se registró la temperatura y el porcentaje de floración natural. Independiente del tratamiento, el menor porcentaje de floración (entre 4 y 30%) se registró en enero y principios de febrero, época en la que le antecedieron temperaturas cercanas a los 25°C. El mayor porcentaje de floración se detectó en abril (alrededor del 95%), cuando le anticiparon las temperaturas más bajas < 17°C. En cuanto a los tratamientos, su principal efecto se detectó antes de abril, siendo el uso de acolchado plástico sin malla sombra el que indujo el menor porcentaje de floración natural (~13%).

Palabras clave: *Ananas comusus*, ambiente protegido, inhibición floral, cubierta plástica

²⁰¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Cotaxtla. *Autor por correspondencia: lopez.enriqueta@inifap.gob.mx



Introducción

México es el décimo productor mundial de piña [*Ananas comosus* (L.) Merrill], con una producción estimada de 1.27 millones de toneladas, lo que corresponde a una participación del 4.1% del total producido a nivel mundial (FAOSTAT, 2021). Veracruz, con una producción de 838 mil toneladas, es el principal estado productor de piña aportando el 67% de la fruta a nivel nacional, junto con los estados vecinos de Oaxaca y Tabasco se forma la principal área de producción con el 85.2% del total de la producción de México (SIAP, 2022).

La piña es de los pocos cultivos que responden al tratamiento de inducción artificial de la floración; se han realizado varios trabajos de investigación sobre este tema, y fue el primer cultivo en tener este tipo de manejo, lo que permite la programación de la cosecha durante el año (Rebolledo *et al.*, 1997; Bartholomew *et al.*, 2003; Cunha, 2005). Sin embargo, uno de los principales problemas de los productores en las zonas piñeras del mundo es la floración natural, que se presenta de manera espontánea y es provocada principalmente por días cortos, noches largas y bajas temperaturas durante el invierno. Otros factores que influyen en este proceso son la variedad, el estado fisiológico y nutricional de la planta, la edad de los vástagos al momento de la plantación y la fecha de establecimiento, peso de planta en el invierno; asimismo, la radiación solar y el estrés hídrico pueden desempeñar también un papel importante en este fenómeno (Kuan *et al.*, 2005; Rabie *et al.*, 2011).

México se encuentra en latitudes que hacen que la región piñera en invierno cumpla con varios de estos factores, impulsando la presencia de la indeseable floración natural. A partir de noviembre y hasta el mes de febrero, generalmente, el área productora presenta las temperaturas mínimas las cuales pueden ser de 17°C; esto ocasiona que el 25% de la producción se concentre en los meses de junio y julio. Ésta sobreproducción trae consigo una brecha en el mercado en donde baja significativamente el precio de la fruta, ocasionando una baja rentabilidad a los productores. Por otro lado, se observa un periodo de escasez de fruta durante los meses de septiembre y octubre, siendo esta una ventana de oportunidad para los productores al obtener los mejores precios de la fruta de piña (Rebolledo *et al.*, 1998; Rebolledo *et al.*, 2016; Uriza *et al.*, 2018).

Algunos productores de la zona piñera del estado de Veracruz, han venido adoptando la tecnología conocida como “ambiente protegido”, se refiere a la utilización tanto de acolchado plástico total como de malla sombra, con lo que se protege tanto el suelo como la planta (López. *et al.*, 2022). El uso de cubierta plástica o acolchado plástico es una práctica importante y ampliamente usada por diversos



productores mexicanos en la producción de piña. Esta se aplica posterior a la preparación del suelo y antes de la siembra; consiste en cubrir el cien por ciento del suelo, incluyendo camas de siembra y espacios entre camas, con plástico negro calibre 150 (Rebolledo *et al.* 2016; Hossain, 2016) el cual durará al menos todo el ciclo de producción. Con el uso de acolchado plástico es posible modificar el microclima edáfico, lo que permite reducir la evaporación del agua del suelo y mantener su humedad (D'Eeckenbrugge and Leal, 2003). Además de estas bondades, esta tecnología ayuda al control de maleza, el incremento en el rendimiento de la producción, la mejora de la calidad de la fruta de piña y a la disminución de la erosión del suelo (Rebolledo *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2014). Considerando que más del 90% de las plantaciones comerciales de piña en México se establecen en época de lluvias y en la mayoría de estas regiones, el 80% de la lluvia cae de junio a octubre (Rebolledo *et al.*, 2000) el uso del acolchado plástico es especialmente útil en las producciones de temporal por los beneficios en el manejo y la optimización del recurso agua (Rebolledo *et al.*, 2005, Joy, 2010).

El uso de la malla sombra es una práctica que se adoptó principalmente para mejorar la calidad de la fruta. Esta consiste en cubrir la totalidad del cultivo con malla sombra que permite la entrada del 50% de la luz después de la floración, y se retira hasta el momento de la cosecha. Su importancia radica en que durante la primavera y parte del verano la fruta puede verse dañada por la intensa radiación solar, provocando severas quemaduras y una disminución significativa de la calidad del fruto, al hacer uso de esta práctica, se mantiene la calidad comercial de la piña (Uriza *et al.*, 2018).

El acolchado plástico total en piña en combinación con la malla sombra genera mejores rendimientos y calidad de los frutos, ya que brinda al cultivo un ambiente protegido que beneficia al suelo y al fruto. Este sistema favorece la presencia de microorganismos benéficos y permite que se aproveche de manera más eficiente el agua, así como los fertilizantes, pesticidas y hormonas entre otros, lo que repercute en un ahorro económico para el productor (Uriza, *et al.*, 2018).

Desde el punto de vista comercial, el control de la floración en el cultivo de la piña es importante, ya que ofrece al productor, la posibilidad de tener cosechas de frutos fuera de temporada, cuando los precios de la fruta son más altos o bien producir fruta durante todo el año (Cunha, 2005, Uriza *et al.*, 2018).

La diferenciación floral en la piña depende del estado fisiológico y la reserva nutricional de la planta, la duración del día y la temperatura. El cultivar MD-2 es más sensible a las bajas temperaturas en comparación con Cayena Lisa (Uriza *et al.*, 2018), por lo que es más susceptible a floraciones naturales invernales. Bartholomew *et al.* (2003) observaron que las plantas de piña con un peso superior a 1.0 kg



y expuestas a un descenso súbito en la temperatura, son propensas a la inducción floral natural. Sin embargo, no se ha determinado el tamaño de las plantas de piña requerido para evitar la floración invernal; es por ello, que continúa siendo tema de estudio, encontrar técnicas seguras para su control (Lin *et al.*, 2015). Por otro lado, las investigaciones para el control de la floración natural se han desarrollado mayormente en el cultivar Cayena Lisa. Existen investigaciones con resultados favorables en el control y reducción de la floración natural, que incluyen, el manejo del tamaño de la planta, fechas de plantación, uso de reguladores de crecimiento, y en los últimos años se han tenido resultados positivos con la práctica de la poda de hojas; por otra parte, el efecto de la malla sombra y el acolchado plástico son dos componentes tecnológicos que han sido poco explorados en este tópico. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del acolchado plástico y la malla sombra en la floración natural de la planta de piña MD-2.

Materiales y Métodos

Se estableció un experimento en la zona piñera del Bajo Papaloapan, dentro de una plantación propiedad del productor cooperante Oscar Murillo Arcos, ubicada en el predio los Carriles de la localidad Ejido 5 de mayo, Municipio Juan Rodríguez Clara, Veracruz. El predio está localizado a 17°50'22.9" Lat N 95°22'50.6" Long W a 190 metros de altitud. El clima de la zona se clasifica como cálido subhúmedo (Aw_0) con una estación de lluvias entre los meses de junio a octubre y una estación seca de enero a mayo. El suelo de esta zona es de textura migajón-arenosa con pH de 5.2 (Rebolledo *et al.*, 2016).

Se utilizaron como material vegetativo, hijuelos de 800 g de la variedad MD-2 que se establecieron en febrero de 2021 en camas meloneras de 1.1 m a una densidad de 45,000 plantas/ha. La unidad experimental fue de 10 m², dispuestas en un diseño experimental factorial 2x2 en bloques al azar con cuatro repeticiones. El factor A correspondió a suelo desnudo (SD) y acolchado plástico (AP), mientras que el factor B se refirió a cielo abierto (CA) y malla sombra (MS). La plantación en suelo desnudo consistió en plantar los vástagos en las camas de cultivo directamente en el suelo, mientras que el tratamiento de acolchado plástico se aplicó de acuerdo con lo descrito por Rebolledo *et al.* (2016); se utilizó plástico de color negro calibre 150 y se cubrió totalmente el suelo antes de la plantación. El tratamiento de cielo abierto consistió en mantener el cultivo desde su plantación hasta floración sin



ninguna sombra ni cubierta, mientras que en el tratamiento de malla sombra, se colocó la malla un mes después del establecimiento sobre las plantas de piña, hasta la floración. La malla sombra utilizada fue del tipo híbrida al 50%.

La variable de respuesta determinada fue el porcentaje de floración natural en tres fechas: 19 de enero de 2023; 2 de febrero de 2023 y 19 de abril de 2023. Esta variable se determinó al dividir el número total de plantas con floración natural entre el número total de plantas por unidad experimental.

También se registraron datos de condiciones climáticas, para lo cual se instalaron dos medidores tipo HOBO Pro v2 marca Onset dentro y fuera de la malla sombra para el registro de la temperatura ambiente durante el periodo de junio de 2022 a marzo de 2023.

A los resultados, se les realizaron análisis de varianza ($\alpha=0.1$) y pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.1$).

Resultados y Discusión

Durante el invierno 2022-2023, el área de establecimiento del experimento, se caracterizó por presentar temperaturas promedio diarias de 33.3°C a 16.5°C, con diferencia entre 0.2°C a 0.5°C menos dentro de la malla sombra. El día más caluroso fue el 17 de marzo con una temperatura máxima de 50.9°C y el día más frío el 15 de enero con una temperatura mínima de 13.9°C, 3°C menos de lo necesario para el inicio de la floración en piña. Los meses de diciembre y enero mostraron picos de temperatura media menores a 17°C. Las temperaturas más bajas y más altas registradas dentro de la malla fueron de 11.3°C y 45.7°C, mientras que fuera de la malla fueron de 13.9°C y 50.9°C, respectivamente (Figura 1).

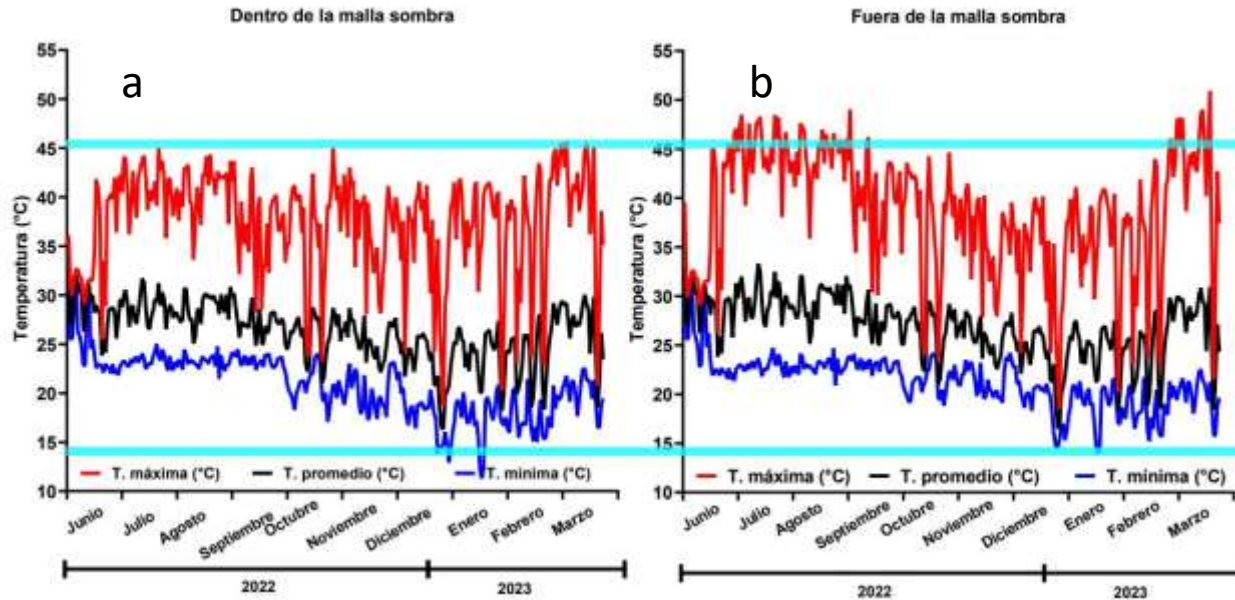


Figura 1. Temperaturas registradas de junio 2022 a marzo de 2023, en la localidad Ejido 5 de mayo, municipio Juan Rodríguez Clara, Veracruz, dentro de un sistema con malla sombra al 50% (a) y a cielo abierto (b).

La variable de respuesta, porcentaje de floración natural, durante la primera fecha de conteo (19-ene-2023) mostró que el tratamiento con acolchado plástico y sin malla sombra fue el más bajo con 13.1%, en contraste con los otros tratamientos (Figura 2).

En la segunda fecha (02-feb-2023), se destaca que el tratamiento con acolchado plástico a cielo abierto se mantuvo con la menor proporción de plantas florecidas (13.3%), mientras que el testigo presentó una floración natural de 31.1% (Figura 2). En esta fecha, todos los tratamientos mostraron un incremento en el porcentaje de floración natural, lo anterior difiere con Lin *et al.*, (2015) que evaluaron dos niveles de sombreado (malla 70% y malla 90%) con porcentaje de floración del 15% y 0%, respectivamente. Por otro lado, en los experimentos realizados en piña ‘Cayena Lisa’ por Araújo *et al.*, (2022) encontraron que con un sombreado al 80% es posible que baje la tasa fotosintética y con ello disminuyan las características productivas y cualitativas de los frutos, por lo que se infiere que el porcentaje de sombreado empleado en el presente estudio, no impidió lo suficiente este proceso metabólico como para disminuir la floración.

De acuerdo a los resultados de esta investigación, los porcentajes de floración natural fueron los más altos en los tratamientos con malla sombra en combinación con acolchado plástico y suelo desnudo al mostrar valores de 35.6% y 31.6%, respectivamente. Estos resultados son similares a los del estudio



realizado por Rebolledo *et al.*, (2021) con el cultivar MD-2, donde no se observaron resultados favorables en la reducción de floraciones naturales con el uso de malla sombra. Asimismo, difieren a lo mencionado por Uriza *et al.*, (2018) quienes indican que la producción de piña en un sistema de ambiente protegido, conformado por el uso de acolchado plástico y malla sombra, permite disminuir la intensidad de los factores de estrés que favorecen la floración natural, en comparación con un manejo a suelo desnudo y cielo abierto; para obtener este efecto, los autores plantean la combinación de otros componentes como el riego y una nutrición balanceada y oportuna.

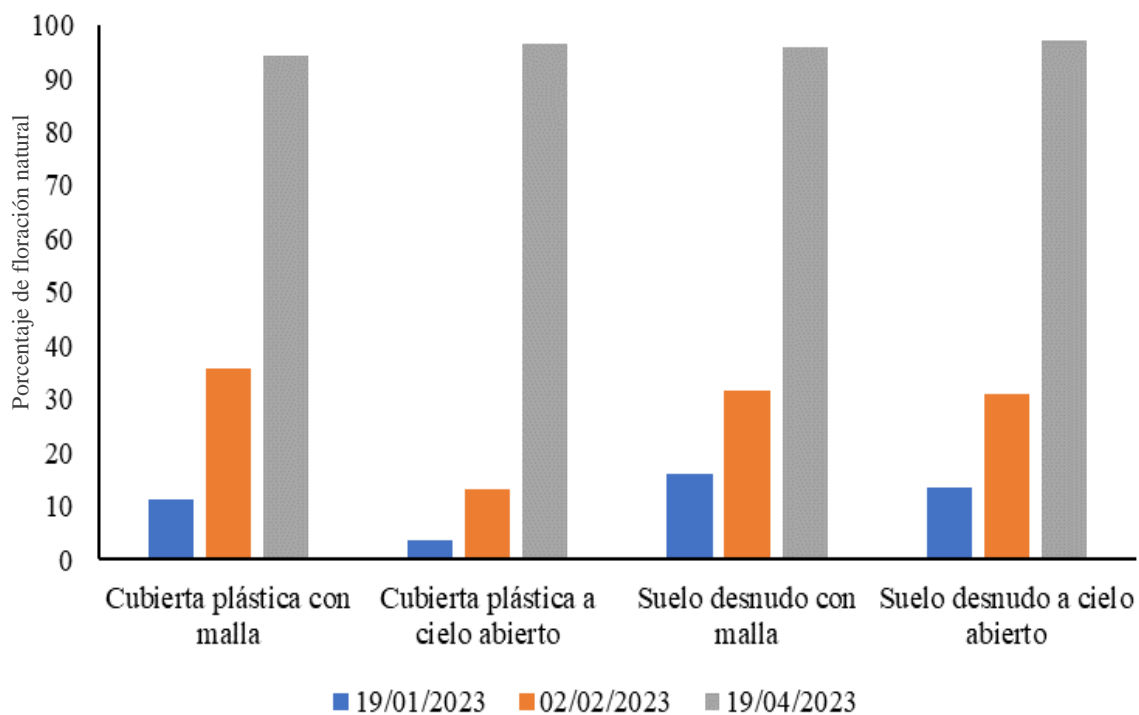


Figura 2. Porcentaje de floración natural en piña MD-2 con o sin acolchado plástico y con o sin malla sombra. Ciclo 2022-2023 en la localidad Ejido 5 de mayo, Mpio. Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

En la tercera fecha (19 de abril), a pesar de estar ya en primavera, todos los tratamientos presentaron porcentajes de floración natural altos de entre 94 a 97%. Esta situación se puede explicar con el proceso fenológico del cultivo. La floración en la piña se hace visible 45 días después de la diferenciación del meristemo apical, momento en el que las inflorescencias brotan en el centro de las plantas (Uriza, *et al.*, 2018), considerando que 45 días antes del último conteo, aún estaba presente el invierno, se considera que las bajas temperaturas y el fotoperiodo corto fueron los principales responsables del fenómeno



observado. También el estrés mecánico, por el golpeteo en la base del tallo ocasionado por los recorridos realizados dentro de la plantación, al momento de registrar variables tal como lo menciona Van de Poel, (2009), pudo haber sido otro factor que haya favorecido el incremento de la floración natural en todos los tratamientos durante la tercera fecha.

Conclusiones

El acolchado plástico es una práctica que ayuda a reducir el porcentaje de floración natural en piña MD-2. El incremento de las floraciones naturales se atribuye a las temperaturas por debajo de 17°C que ocurrieron durante el invierno 2022-2023. La complejidad de factores que inducen la diferenciación floral en el cultivo de la piña requiere mayor investigación en estas o en otras técnicas, que en combinación o por si solas, inhiban o reduzcan las floraciones naturales de invierno.

Agradecimientos

Los autores agradecen al productor cooperante Oscar Murillo Arcos. La investigación fue financiada por el INIFAP, a través del proyecto Inhibición de la floración natural en piña MD-02 en ambiente protegido para producir fruta en época de escasez, con número SIGI: 1444734880.

Literatura Citada

Araújo, H. S. D., S. A. D. Carmo, Santos, N. C. B. D. Freitas, P. G. N., and L.F.V. Purquerio. 2022. Effect of shading screens on the production and quality of 'Smooth Cayenne' pineapple. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 51, e69594.

Bartholomew, D. P, E. Malézieux, G. M. Sanewski, and E. Sinclair. 2003. Inflorescence and Fruit Development and Yield. (167-202). *In: The pineapple: botany, production and uses*. Eds. Bartholomew, D. P., Paull, R. E., & Rohrbach, K. G. (Eds.). Cabi Publishing.



Cunha, G.A.P.D. 2005. Aspectos aplicados de la floración de la piña. *Bragantia*, 64, 499-516

D'Eeckenbrugge GC and F Leal. 2003. Morphology, Anatomy and Taxonomy. In: Bartholomew, DP, Paull, RE and Rohrbach, KG (Eds). *The Pineapple: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing, Oxon, UK. 13-32.

FAOSTAT (Recurso electrónico-En línea). 2021. Bases de datos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 16 de julio de 2023.

Hossain MF. 2016. World Pineapple Production: An Overview. *AJFAND*, 16 (4): 11443-11456

Joy, P. P. 2010. Production technology for Vazhakulam Pineapple (Mauritius), Vol. 9 <http://www.kau.edu/prsvkm/Html/ProdnTechVkmPA.htm>. Accessed on July 2023.

Kuan, C. S., C. W. Yu, M. L. Lin, H. T. Hsu, D. P. Bartholomew, and C. H. Lin. 2005. Foliar application of aviglycine reduces natural flowering in pineapple. *HortScience*, 40(1), 123-126.

López Vázquez M. E., A. Rebolledo Martínez, N. Peralta Antonio, G. Montiel Vicencio, R. L. Rebolledo García, L. Rebolledo Martínez, R. Murillo Capetillo y C. A. Tinoco-Alfaro. 2022. Fruitone CPA, aviglycine y poda de hojas en piña MD-2 para evitar floraciones prematuras indeseables. In: Zetina Lezama, R., Tosquy Valle O. H., Vázquez Hernández M. V., Del Ángel Pérez A. L., Esqueda Esquivel V. A. y Perdomo Montes C. *Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la Seguridad Alimentaria Veracruz*. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México. pp. 432-443.

Lin, Meng-Tzu & Chen, Alfred & Lin, Tzong-Shyan & Kuan, Ching-San & Lee, Ching-Lung & Yang, Wen-Ju. 2015. Prevention of Natural Flowering in Pineapple (*Ananas comosus*) by Shading and Urea Application. *Hort. Environ. Biotechnol.* 56(1):9-16.



- Rabie, E.C., B. W. Mbatha, and H. A. Tustin. 2011. The effect of aviglycine application rate and frequency on the inhibition of natural flowering of 'queen' pineapple in South Africa. *Acta Hort.* 902 (1): 281-290.
- Rebolledo, M. A., D. Uriza A, and L. A. Aguirre G. 1997. Ethephon as pineapple flowering induction in Mexico's weather conditions. *Acta Hort.* 425:339 -346
- Rebolledo M A., D, Uriza A y L. Rebolledo M. 1998. Tecnología para la producción de piña en México. INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 20. Veracruz, México. 159 p.
- Rebolledo, M. A., D. Uriza. A., and L. Rebolledo M. 2000. Rates of fruitone CPA in different application number during day versus night to flowering inhibition in pineapple. *Acta Hort.* 529:185–190.
- Rebolledo- Martínez Andrés, Ana Lid Del Ángel-Pérez, Alberto E. Becerril-Román, and Laureano Rebolledo-Martínez. 2005. Growth analysis for three pineapple cultivars grown on plastic mulch and bare soil. *Interciencia*, 30(12), 758-763.
- Rebolledo, M. A., D. Uriza A., A. Del Ángel P., L Rebolledo M. y R. Zetina L. 2016. Piña y su cultivo en México: Cayena Lisa y MD2. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Medellín, Ver., 324 p.
- Rebolledo-Martínez A., M. E. López-Vázquez, L. Rebolledo-Martínez, G. Montiel-Vicencio, N. Peralta-Antonio, R. L. Rebolledo-García, y C. A. Tinoco-Alfaro. 2021. Poda de hojas y uso de malla sombra para evitar floraciones naturales en piña MD-2 y producir fuera de temporada. p. 387-398. In: Zetina Lezama. R., Tosquy Valle, O. H., Del Ángel Pérez, A. L., Ríos Utrera, A., Vázquez Hernández, M. V., Esqueda Esquivel, V. A. *Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y Oportunidades*. Paso del Toro, Medellín, Veracruz, México. pp. 387-398.



SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Producción agrícola. Consultado el 16 de julio de 2023.

Uriza-Ávila, D.E., A. Torres-Ávila, J. Aguilar-Ávila, V. H. Santoyo-Cortés, R. Zetina-Lezama, y A. Rebolledo-Martínez. 2018. La piña mexicana frente al reto de la innovación. Avances y retos en la gestión de la innovación. Colección Trópico Húmedo. Chapingo, Estado de México. México: UACH. 484 p.

Van de Poel B., J. Ceusters, M.P. De Proft, 2009. Determination of pineapple (*Ananas comosus*, MD-2 hybrid cultivar) plant maturity, the efficiency of flowering induction agents and the use of activated carbon, *Scientia Horticulturae*, 120 (1): 58-63.

Zhang, H. Y., Q. J. Liu, X. X. Yu, and L. Z. Wang. 2014. Influences of mulching durations on soil erosion and nutrient losses in a peanut (*Arachis hypogaea*)-cultivated land. *Natural Hazards* 72:1175-1187.



EFECTO DE FERMENTOS BACTERIANOS DE CAPARAZONES DE JAIBA EN EL DESARROLLO DE *Vanilla planifolia* Y LA FUSARIOSIS DE LA RAÍZ

Jessica Oliva González²⁰², Jorge González Preval²⁰² y Mauricio Luna Rodríguez^{202*}

Resumen

La vainilla es una de las plantas con mayor importancia en México debido a su uso en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética. Sin embargo, en los últimos años el principal patógeno y enemigo a combatir en este cultivo es el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*) que causa la fusariosis de la raíz, lo que ha llevado a buscar alternativas biotecnológicas que permitan agilizar el crecimiento vegetal y mejorar el rendimiento del fruto de la vainilla. En el presente estudio se evaluó el efecto de fermentos bacterianos a partir de caparazones de jaiba (*Callinectes* sp.). Para la preparación de los fermentos, se emplearon cuatro bacterias seleccionadas de una investigación previa: C3 de *Pseudomonas* sp., C5 de *Lysinibacillus fusiformis*, C7 de *L. fusiformis* y C8 de *L. fusiformis*. Para los bioensayos, se establecieron cuatro tratamientos (un fermento para cada bacteria) y el testigo (agua estéril) con cinco repeticiones por cada uno. Se evaluó el crecimiento de la longitud de raíz y el control de la fusariosis ante la inducción de la enfermedad ocasionada por *Fov*. Los resultados se analizaron estadísticamente con el programa InfoStat/L mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$). Se detectaron diferencias significativas entre los fermentos bacterianos y el testigo, siendo los tratamientos con las bacterias C5 y C8 de la especie *L. fusiformis* los que mostraron mejores resultados en cuanto al crecimiento de la longitud de raíz, lo que sugiere que hubo una respuesta fisiológica positiva en las raíces cuando se aplicaron los fermentos bacterianos. En aquellas raíces donde hubo presencia de *Fov*, se observó que el daño inició en las puntas de las raíces donde el fermento producido por la bacteria C8 de *L. fusiformis* logró inhibir por completo el desarrollo de la enfermedad, siendo este el mejor tratamiento.

Palabras clave: Vainilla, *Fusarium oxysporum*, control de enfermedades, resistencia

²⁰² Laboratorio de Genética e Interacciones Planta-Microorganismos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. *Autor por correspondencia: mluna@uv.mx



Introducción

La vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks.) es una planta perteneciente a la familia de las orquídeas, originaria de México, habita y crece bajo condiciones de luz y sombra en regiones tropicales y ambientes cálidos con temperaturas entre 20 y 30°C (Rodríguez & Martínez, 2019). A nivel mundial, el cultivo de vainilla en México ocupa el quinto lugar y representa el 4.97% del volumen neto global anual. De los estados con mayor producción se encuentra Veracruz, específicamente en la región de Totonacapan con más del 80% del total nacional (Santillán *et al.*, 2019).

El cultivo de vainilla representa una actividad agrícola con gran impacto económico, ecológico y social debido a que es la segunda especie vegetal más cara del mundo; contribuye a la conservación de los recursos naturales; además, no requiere grandes extensiones de terreno para su producción (Azofeita *et al.*, 2014; Bravo *et al.*, 2020). Sin embargo, en los últimos años, el principal problema que enfrenta el cultivo de vainilla es la susceptibilidad a enfermedades tales como pudriciones basales, marchitamientos vasculares, necrosis y manchas de frutos (Cardona *et al.*, 2012; Luna *et al.*, 2016). Se han detectado distintos microorganismos que infectan a la vainilla, siendo los hongos como *Fusarium* uno de los principales agentes que causan pérdidas productivas (Ramos e Iglesias, 2022). Se considera que dentro de este género la especie más común es *F. oxysporum*, que tiene la capacidad de crecer y sobrevivir en la materia orgánica del suelo y rizosfera de distintas plantas durante mucho tiempo (Fravel *et al.*, 2003). Este hongo, en su forma especial *vanillae* actúa como el principal agente causal más devastador, lo que genera un desarrollo limitado del cultivo de vainilla (Cardona *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2019).

Al no existir genotipos de vainilla resistentes al ataque por *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*), los agricultores se ven en la necesidad de utilizar principalmente el control químico; sin embargo, se ha demostrado que algunas cepas de *Fov* han generado alta resistencia a los fungicidas tiofanato metílico y clorotalonil utilizados principalmente contra la fusariosis en plantas de vainilla (González *et al.*, 2022). Hoy en día entre las alternativas propuestas para el control de fitopatógenos se encuentra la utilización de subproductos de la industria pesquera (Escobar *et al.*, 2013). El auge de la utilización de estos residuos se debe a que los caparazones de los crustáceos contienen en su estructura entre 14-35% de quitina con elevado potencial en la industria biotecnológica. La quitina es un biopolímero lineal insoluble en agua, después de la celulosa es la sustancia orgánica más abundante con características antimicrobianas (Mármol *et al.*, 2011). La quitina y su principal derivado quitosano, conocido como



una familia de biopolímeros que se obtienen mediante desacetilación parcial de la quitina, pueden emplearse como materiales bioestables y biodegradables dentro de diversas áreas (Escobar *et al.*, 2013). Además de la aplicación de métodos fisicoquímicos, estos compuestos pueden ser obtenidos a partir de fermentaciones por microorganismos permitiendo la recuperación de compuestos de valor agregado de manera más amigable (Pacheco, 2010).

Dentro de la agricultura, se ha demostrado que el quitosano posee actividad antimicrobiana al estimular mecanismos de defensa ante el ataque de microorganismos patógenos. Estos compuestos inducen, por ejemplo, en hongos, cambios morfológicos en la pared celular generando lisis, pérdida de compuestos proteicos e inhibición de enzimas (Rodríguez *et al.*, 2009; Ayala, 2015). Además, su adición en el suelo favorece el desarrollo, crecimiento y actividad de microorganismos benéficos que establecen relaciones simbióticas con las plantas como son las rizobacterias promotoras de crecimiento vegetal (RPCV) (Mármol *et al.*, 2011).

Las RPCV se describen como aquellos microorganismos que tienen la capacidad de favorecer el crecimiento y productividad de las plantas al sintetizar compuestos que facilitan la absorción de nutrientes y la prevención del ataque de microorganismos patógenos (Beneduzi *et al.*, 2012). El control de la fusariosis en vainilla es de la mayor importancia entre los agricultores que se dedican a la producción de este cultivo. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de fermentos bacterianos de caparzones de jaiba (*Callinectes* spp.) como alternativa de control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanillae*, para obtener un mejor desarrollo de raíz de *Vanilla planifolia*.

Materiales y Métodos

Enraizamiento de esquejes

Para el desarrollo de los bioensayos fue necesaria la inducción de raíces jóvenes, para ello se utilizaron esquejes de vainilla conformados por una sección de tallo que contenía un entrenudo y una hoja. Cada esqueje fue desinfectado mediante un lavado con solución detergente durante 10 min para eliminar el exceso de tierra. Posteriormente, se enjuagaron con agua estéril y se sumergieron dos veces en una solución con cloro (10 gotas por litro) durante 5 min, retirando el exceso de éste con abundante agua estéril y se mantuvieron en agua estéril hasta su utilización (Cantoral, 2017). Una vez desinfectados los esquejes de vainilla, se indujo el enraizamiento en cámaras húmedas mediante el corte de sus



entrenados con ayuda de un bisturí estéril. Cada esqueje fue colocado sobre una sanita humedecida con agua destilada estéril en charolas de unicel de 20.9 x 14.3 cm previamente expuestas a luz UV y desinfectadas con alcohol al 70%. Cada charola fue depositada dentro de una bolsa de plástico para mantener las condiciones de cámara húmeda y puestas en oscuridad dentro del cuarto de cultivo *in vitro* (Solano *et al.*, 2019).

Activación de las bacterias

Se utilizaron cuatro bacterias con características morfológicas diferentes (Cuadro 1) pertenecientes al cepario del Laboratorio de Genética e Interacciones Planta-Microorganismos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. Las bacterias fueron reactivadas y subcultivadas mediante agotamiento por estrías en medio con caldo nutritivo y agar bacteriológico a 28°C durante tres días en una incubadora microbiológica, hasta obtener cultivos puros (González, 2022).

Cuadro 1. Caracterización de cepas bacterianas utilizadas como tratamientos de control de *Fov.**

Bacteria	Nombre científico	Forma de la colonia	Color
C3	<i>Pseudomonas</i> sp.	Irregular	Beige
C5	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	Elevada	Blanco
C7	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	Filamentosa	Beige
C8	<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	Irregular	Beige

* *Fusarium oxysporum* f. sp. *Vanillae*.

Suspensión de esporas de *Fov*

Se indujo la esporulación de la cepa JAGH3 de *Fov* (Figura 1) perteneciente al cepario del Laboratorio de Genética e Interacciones Planta-Microorganismos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana.

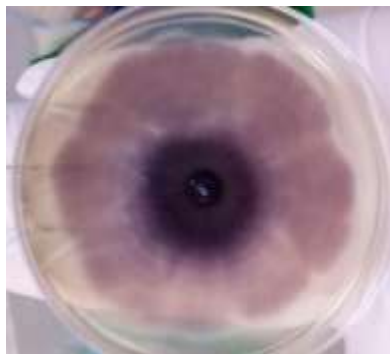


Figura 1. Caracterización morfológica de la cepa JAGH3 cuando es cultivada en PDA.



Para ello, se reactivó en PDA a 27°C por 10 días en una incubadora microbiológica (Adame *et al.*, 2015). Posteriormente, se prepararon suspensiones acuosas de 2.5×10^6 esporas/mL, apoyados con una cámara de Neubauer.

Preparación de fermentos bacterianos

Cada bacteria se inoculó con ayuda de un asa bacteriológica en un medio enriquecido con caldo nutritivo al 20% y 3% (p/v) del pulverizado de exoesqueleto de jaiba (proporcionado por el Laboratorio de Genética e Interacciones Planta-Microorganismos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana). Posteriormente, se colocaron en agitación a 80 rpm y se dejaron fermentar durante 6 días (González, 2022). Pasado este tiempo, los fermentos fueron centrifugados a 4500 rpm durante 10 min, filtrados con ayuda de una jeringa estéril de 10 ml a través de membranas de $0.45 \mu\text{m}$ y diluidos en agua destilada para obtener una concentración del 25% del extracto. Cada fermento fue etiquetado y refrigerado hasta su posterior utilización.

Diseño experimental

Los cinco tratamientos consistieron en:

- a) Testigo, agua destilada estéril.
- b) Tratamiento 1, fermento obtenido con la bacteria C3 de *Pseudomonas* sp.
- c) Tratamiento 2, fermento obtenido con la bacteria C5 de *L. fusiformis*.
- d) Tratamiento 3, fermento obtenido con la bacteria C7 de *L. fusiformis*.
- e) Tratamiento 4, fermento obtenido con la bacteria C8 de *L. fusiformis*.

Para cada tratamiento se utilizaron cinco repeticiones con raíces de al menos 1 cm de longitud seleccionadas completamente al azar.

Proceso de inoculación

Para los bioensayos se realizaron dos aplicaciones directamente sobre la raíz de 500 μL de los fermentos y 500 μL de agua destilada estéril para el tratamiento testigo. Posterior a la segunda aplicación de los fermentos, con ayuda de una micropipeta se indujo la infección de la enfermedad causada por *Fov* inoculando 30 μL de la suspensión de esporas fúngicas a lo largo de las raíces. Finalmente, se hizo una tercera aplicación directamente sobre la raíz de 500 μL de los fermentos y 500 μL de agua destilada estéril para el tratamiento testigo. Los esquejes se mantuvieron a la luz y la longitud de raíz fue la variable que se midió cada siete días a partir del primer día de aplicación.

En aquellos esquejes donde se observó la aparición de síntomas de la fusariosis, se registró el porcentaje de raíz dañada utilizando el software ImageMeter, se tomó una muestra del tejido y se



inoculó en medio PDA para observar el desarrollo de colonias con características similares a la cepa JAGH3 de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* (*Fov*).

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron utilizando el programa estadístico InfoStat/L; se realizó la prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov (P -valor ≤ 0.0001). Con base a dicho resultado, se realizó un análisis de varianza no paramétrico utilizando la prueba Kruskal-Wallis ($P \leq 0.05$) donde se compararon las medianas de los tratamientos, para determinar si existía una relación entre los tratamientos con los fermentos bacterianos y el testigo.

Resultados y Discusión

Evaluación del desarrollo de raíz ante la inoculación de los fermentos bacterianos

De acuerdo con el análisis estadístico Kruskal-Wallis, todos los tratamientos con los fermentos bacterianos fueron significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) respecto al testigo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación por pares entre los tratamientos aplicados.

Tratamiento	Nivel de significancia
Testigo-Tratamiento 1*	0.000
Testigo-Tratamiento 2	0.000
Testigo-Tratamiento 3	0.000
Testigo-Tratamiento 4	0.000
Tratamiento 1-Tratamiento 2	0.082
Tratamiento 1-Tratamiento 3	0.254
Tratamiento 1-Tratamiento 4	0.337
Tratamiento 3-Tratamiento 2	0.550
Tratamiento 3-Tratamiento 4	0.857
Tratamiento 4-Tratamiento 2	0.777

*Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones entre tratamientos son las mismas ($\alpha = 0.05$).



A su vez, se compararon las medianas de los tratamientos con los fermentos bacterianos y el testigo (Cuadro 3) donde se puede observar que efectivamente existen diferencias significativas con el testigo (Figura 2).

Cuadro 3. Comparación de las medianas de las longitudes de los tratamientos.

Tratamientos	Medianas*
Testigo	2.6 ^a
Tratamiento 1	6.2 ^b
Tratamiento 2	10.5 ^b
Tratamiento 3	8.5 ^b
Tratamiento 4	6.8 ^b

*Medianas con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0.5$).

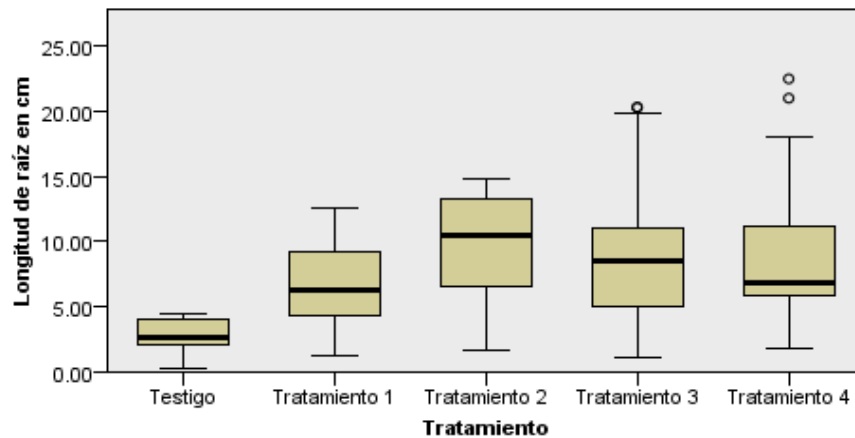


Figura 2. Relación entre los tratamientos y la longitud de raíz en cm. Donde: Testigo=Agua estéril, Tratamiento 1=Fermento de la bacteria C3 de *Pseudomonas sp.*, Tratamiento 2=Fermento de la bacteria C5 de *L. fusiformis*, Tratamiento 3=Fermento de la bacteria C7 de *L. fusiformis*, Tratamiento 4=Fermento de la bacteria C8 de *L. fusiformis*.

Para evaluar si existían diferencias en cuanto al crecimiento de la longitud de las raíces antes y después de inocular las esporas de *Fov*, los resultados estadísticos (Cuadro 4) demostraron que, para ambos casos, existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre el testigo y los tratamientos con los fermentos bacterianos (Figura 3), lo que indica que la aplicación de los fermentos bacterianos sí estimuló el desarrollo de las raíces.

Cuadro 4. Nivel de significancia entre tratamientos antes y después de la inoculación con esporas de *Fov*.

Tratamiento	Antes de <i>Fov</i>	Después de <i>Fov</i>
	Nivel de significancia	Nivel de significancia
Testigo-Tratamiento 1*	0.001	0.021
Testigo-Tratamiento 2	0.000	0.002
Testigo-Tratamiento 3	0.000	0.000
Testigo-Tratamiento 4	0.000	0.000
Tratamiento 1-Tratamiento 2	0.253	0.162
Tratamiento 1-Tratamiento 3	0.416	0.390
Tratamiento 1-Tratamiento 4	0.678	0.231
Tratamiento 3-Tratamiento 2	0.741	0.591
Tratamiento 3-Tratamiento 4	0.691	0.736
Tratamiento 4-Tratamiento 2	0.466	0.842

*Cada fila prueba la hipótesis nula de que las distribuciones entre tratamientos son las mismas ($\alpha=0.05$).

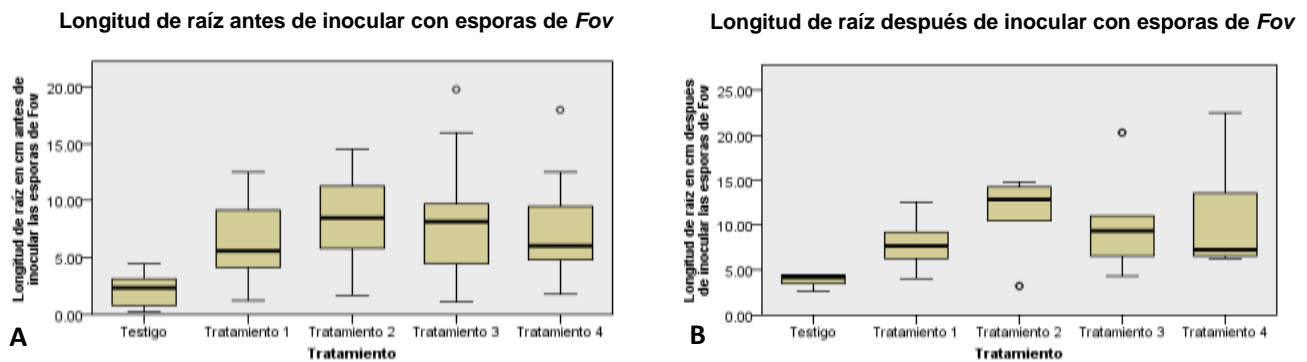


Figura 3. Relación entre los tratamientos y la longitud de raíz. A) Antes de inocular con esporas de *Fov*, B) Después de inocular con esporas de *Fov*. Donde: Testigo=Agua estéril, Tratamiento 1=Fermento de la bacteria C3 de *Pseudomonas sp.*, Tratamiento 2=Fermento de la bacteria C5 de *L. fusiformis*, Tratamiento 3=Fermento de la bacteria C7 de *L. fusiformis*, Tratamiento 4=Fermento de la bacteria C8 de *L. fusiformis*.

Si se comparan las medianas de las longitudes antes y después de *Fov* (Cuadro 5), se puede observar que se cumple el mismo resultado para los tratamientos con los fermentos bacterianos en relación con el testigo, donde existen diferencias significativas entre estos. Lo que indica que aún después de haber



sidio infectadas las raíces, estas mostraron una respuesta fisiológica positiva en la estimulación del crecimiento cuando se aplicaron los fermentos bacterianos.

Cuadro 5. Comparación de las medianas de la longitud de raíz antes y después de inocular con esporas de *Fov*.

Tratamientos	Antes de <i>Fov</i>	Después de <i>Fov</i>
	Medianas*	Medianas*
Testigo	2.3 ^a	4.10 ^a
Tratamiento 1	5.6 ^b	7.70 ^b
Tratamiento 2	8.5 ^b	12.90 ^b
Tratamiento 3	8.2 ^b	9.30 ^b
Tratamiento 4	6.0 ^b	7.25 ^b

*Medianas con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0.5$).

De todos los tratamiento aplicados, los que mostraron mejores resultados en cuanto al crecimiento de la longitud de raíces fueron los tratamientos 2 y 4 producidos por las bacterias C5 y C8 del género *L. fusiformis* (Figura 4).

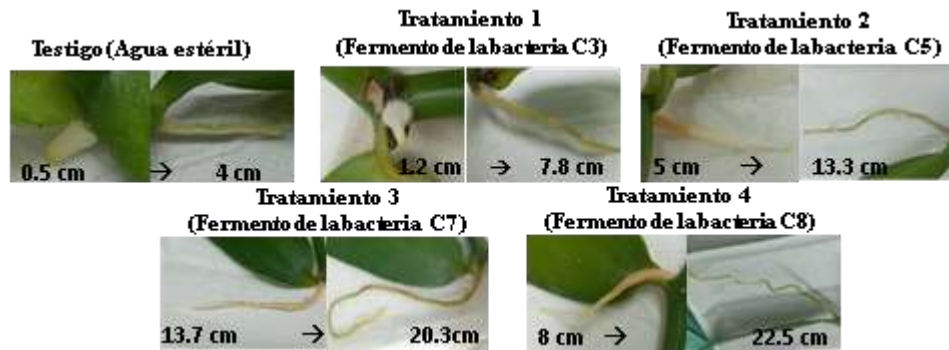


Figura 4. Comparación de la longitud de raíz antes de aplicar los tratamientos y después de la tercera aplicación de los tratamientos.

Sánchez *et al.* (2021) determinaron que la mayor tasa de germinación de semillas (49.45%) de plantas de nabo (*Brassica napus* L.) se obtuvo a los 45 días cuando estas fueron embebidas con quitosano de bajo peso molecular y la bacteria del género *Bradyrhizobium diazoefficiens*. Por otra parte, en un estudio realizado por López *et al.* (2019) la extracción y aplicación de quitosano a partir de

exoesqueletos de camarón en conjunto con la fitohormona ácido indol butírico promovió la longitud radicular en un 400% y el número de brotes en un 800% a los 60 días de inoculación en esquejes de *Salicornia bigelovii*. Este estudio confirmó lo que se ha demostrado en orquídeas, que la aplicación de quitosano permite la propagación de protocormos, así como la estimulación en el crecimiento de raíces y producción de flores (Nge *et al.*, 2006).

Comprobación de *Fov* en tejidos dañados

En cuanto al desarrollo de la evolución de pudrición de raíz causada por *Fov*, se observó que el daño inició desde la punta de la raíz hacia los demás tejidos de la planta con apariciones de lesiones color café a negro hasta lograr la pudrición del tejido. Se observó que donde se aplicaron los fermentos bacterianos, los tratamientos 1 y 2 presentaron un porcentaje de daño mínimo mientras que el del tratamiento 3 fue mayor (Figura 5). A su vez, se encontraron colonias fúngicas con características acordes a la cepa JAGH3 de *Fov* como se puede observar en la Figura 5. Respecto al tratamiento 4 de la bacteria C8 de *L. fusiformis*, este logró inhibir por completo el crecimiento de *Fov* en las raíces cuando se inocularon con las esporas de este patógeno.

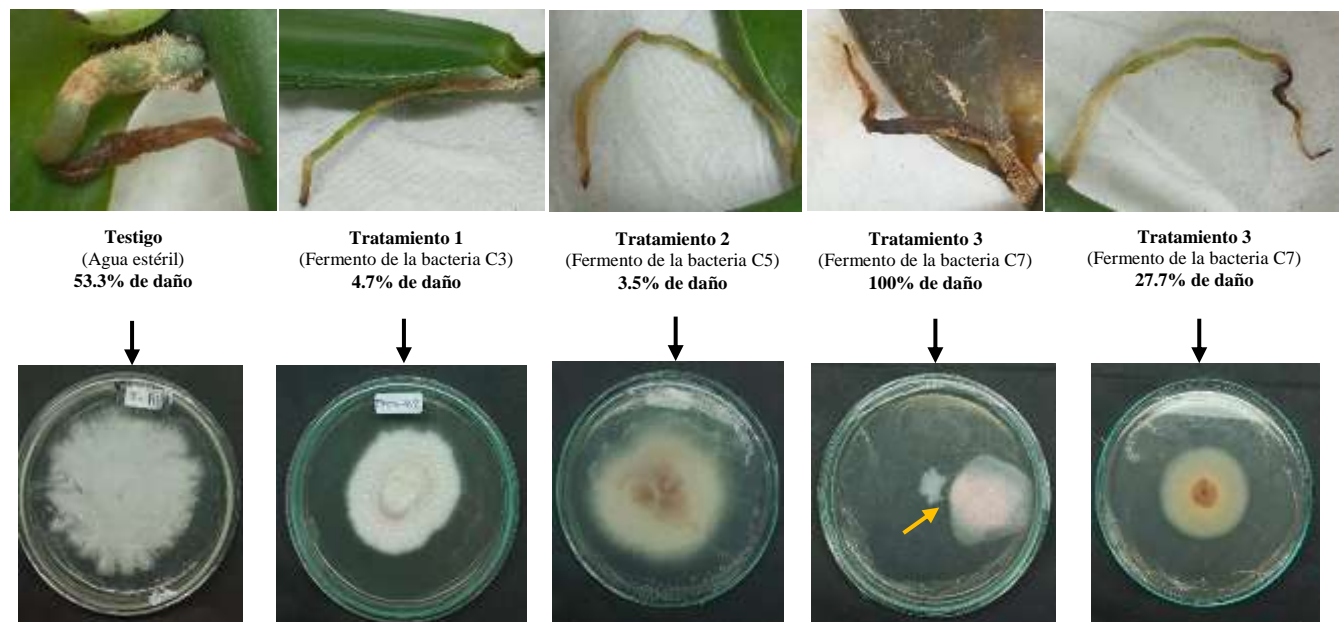


Figura 5. Presencia de daño causado por *Fov* y caracterización morfológica de los tejidos dañados sembrados en PDA.

Estos resultados coinciden con González (2022), donde en esquejes de vainilla se evaluó el porcentaje de daño al inocular esporas de *Fov* con fermentos bacterianos producidos por las mismas bacterias,



donde se logró observar que el fermento de la bacteria C5 de *L. fusiformis* al 6.25% no presentó daños en sus raíces mientras que en las plantas tratadas con los fermentos C3 de *Pseudomonas sp.* al 6.25% y C7 de *L. fusiformis* al 25% el daño en la raíz fue únicamente del 30%. Resultados que se confirmaron cuando en cultivos duales se tuvieron efectos antagónicos que lograron inhibir el crecimiento radial de *Fov* en un 45.3% (C3 *Pseudomonas sp.*), 48.87% (C5 *L. fusiformis*), 44.64% (C7 *L. fusiformis*) y 47.02% (C8 *L. fusiformis*).

Otras especies dentro del género *Fusarium* donde se ha comprobado que el quitosano produce efectos inhibitorios son: *F. solani*, *F. oxysporum*, *F. oxysporum* f. sp. *albedinis* y *F. acuminatum* (Rodríguez *et al.*, 2009). Otros autores como Hernández *et al.*, (2005) indican que cepas de *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici* aisladas de papaya presentaron una inhibición del crecimiento micelial superior al 50% cuando se aplicaron concentraciones de quitosano al 1.5%. Por otra parte, en un estudio realizado por Álvarez *et al.*, (2020) se demostró que nanopartículas de plata (AgNp) estabilizadas con quitosano fueron significativamente efectivas para reducir la gravedad de la enfermedad e inhibir el crecimiento micelial de *F. oxysporum* en plántulas de tomate hasta en más del 70%.

Conclusiones

1. Se detectaron diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos con los fermentos bacterianos, antes y después de inocular las esporas de *Fov*, lo que indica que aún después de haber sido infectadas las raíces, estas mostraron una respuesta fisiológica positiva en la estimulación del crecimiento.
2. En relación con el crecimiento en la longitud de raíces, de los cuatro tratamientos aplicados los que mostraron una mejor respuesta fueron los tratamientos 2 y 4 producidos por las bacterias C5 y C8 de *L. fusiformis*.
3. En al menos un esqueje utilizado en los tratamientos 1, 2 y 3 se observó desarrollo de la pudrición de raíz ocasionada por *Fov*, donde el tratamiento 2 (bacteria C5 de *L. fusiformis*) fue el que mostró un menor porcentaje de daño con un 3.5%, le siguió el tratamiento 1 (bacteria C3 de *Pseudomonas sp.*) con un 4.7% y el tratamiento 3 (bacteria C7 de *L. fusiformis*) con un 27.7% y 100%.
4. El tratamiento 4 (fermento producido por la bacteria C8 de la especie *L. fusiformis*), además de estimular en gran medida el crecimiento de las raíces, fue el único que inhibió por completo el



desarrollo de la pudrición de raíz ocasionada por *Fov*, lo que lo convierte en una opción potencial para investigaciones futuras que permitan la validación de los resultados.

Agradecimientos

Al CONAHCYT proyecto 297484.

Literatura Citada

Adame, J., R. Rodríguez, L.G. Iglesias, J.M. Ramos, and M. Luna 2015. Molecular identification and pathogenic variation of *Fusarium* species isolated from *Vanilla planifolia* in Papantla Mexico. *Botanical Sciences* 93(3):669-678.

Álvarez, F., A. Armenta, T. E. Gonzalez, E. Esquer, J. Juarez, R. Méndez *et al.* 2020. Silver nanoparticles coated with chitosan against *Fusarium oxysporum* causing the tomato wilt. *Biocencia* 22(3):73-80.

Ayala, G. 2015. Efecto antimicrobiano del quitosano: una revisión de la literatura. *Scientia Agroalimentaria* 2:32-38.

Beneduzi, A., A. Ambrosini, and L.M. Passaglia. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*. 4:1044-1051.

Bravo, G., V. Gómez y J. S. Bonilla. 2020. Vainillina. *Revista ReCiTeIA* 18:19-36.

Cantoral, M. 2017. Influencia de la fuente de nitrógeno en el desarrollo y patogenicidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. Tesis de Maestría. Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 60 p.



- Cardona, C., M. Marín y M. C. Díez. 2012. Identificación del agente causal de la pudrición basal del tallo de vainilla en cultivos bajo cobertizos en Colombia. *Rev. Mex. Micol.* 35:23-34.
- Escobar, D. M., C. P. Ossa, M. A. Quintana, y W.A. Ospina 2013. Optimización de un protocolo de extracción de quitina y quitosano desde caparazones de crustáceos. *Scientia et Technica* 18(1):260-266.
- Fravel, D., C. Olivain, and C. Alabouvette. 2003. *Fusarium oxysporum* and its biocontrol. *New Phytologist*. 157:493–502.
- González, N. A., L.G. Iglesias, F.R. Flores, A. Rivera, and M. Luna. 2022. Genetic analysis of the fungicide resistance in *Fusarium oxysporum* associated to *Vanilla planifolia*. *Mexican Journal of Phytopathology* 40(3):1-19.
- González, J. (2022). Quitosano y fermentos bacterianos de exoesqueletos de jaibas como alternativas de control para *Fusarium oxysporum* patógeno de *Vanilla planifolia* Jacks. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. Campus Xalapa. Xalapa, Veracruz, México. 50 p.
- Hernández, A. N., S. Bautista, M.G. Velázquez, S.L. Rodríguez, M.L. Corona, A. Solano. 2005. Potencial del quitosano en el control de las enfermedades postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología* 23(2):198–205.
- López, B. E., I. Mondaca, P. Gortáres, M.M. Meza, J.D. Balderas, C. Ruiz. 2019. Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino. *Terra Latinoamericana*. 37:361-369.
- Luna, J., H. Ruiz, E. Herrera, A. Navarro, A. Delgado, y M. Luna. 2016. Variedad de microflora presente en vainilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) relacionados con procesos de beneficiado. *Agroproductividad* 9(1):3-9.



- Mármol, Z., G. Páez, M. Rincón, K. Araujo, C. Aiello y C. Chandler. 2011. Quitina y quitosano, polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones. *Revista Tecnocientífica URU*. 1:53-58.
- Nge, K. L., N. Nwe, S. Chandrkrachang, and W.F. Stevens. 2006. Chitosan as a growth stimulator in orchid tissue culture. *Plant Science* 170(6):1185-1190.
- Pacheco, N. A. 2010. Extracción biotecnológica de quitina para la producción de quitosanos: caracterización y aplicación. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana. Campus Iztapalapa. Iztapalapa, Edo. de Méx., México. 125 p.
- Ramírez, M. A., L.G. Iglesias, J.A. Teixeira, M. Luna, J.C. Noa and J. Bautista. 2019. *In vitro* selection of vanilla plants resistant to *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *Acta Physiologiae Plantarum* 41(3):1-8.
- Ramos, A. L., y L.G. Iglesias. 2022. Avances y tendencias en mejoramiento genético de vainilla. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 23(2):1-20.
- Rodríguez, T., y J. Martínez. 2019. Exploración actual sobre el conocimiento y uso de la vainilla (*Vanilla planifolia* Andrews) en las tierras bajas mayas del norte, Yucatán, México. *Polibotánica*. 48:169–184.
- Rodríguez, A., M.A. Ramírez, D. Rivero, E. Bosquez, L.L. Barrera, y S. Bautista. 2009. Propiedades químico-estructurales y actividad biológica de la quitosana en microorganismos fitopatógenos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3):307-317.
- Sánchez, A. R., E.M. Castillo, J.J. Reyes, A.R. Batista, M.F. Monge, y M.B. Culcay. 2021. Crecimiento, producción y estado fitosanitario de plantas de nabo (*Brassica napus* L.) a la aplicación de quitosano y bacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 5(6):1-15.



Santillán, A., M. Trejo, A. Martínez, L. Martínez y N. Vásquez, N. 2019. Potencial productivo de *Vanilla planifolia* Jacks en el Totonacapan, México, mediante técnicas geográficas. REMEXCA 10(4):789-802.

Solano, M. T., J. Adame, J. Gregorio, V. Jiménez, L. Vega and L. Iglesias. 2019. Functional categorization of de novo transcriptome assembly of *Vanilla planifolia* Jacks. potentially points to a translational regulation during early stages of infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. BMC Genomics 20(1):1-15.



DETECCIÓN MOLECULAR DE CLas CAUSANTE DEL HLB EN LIMÓN PERSA, EN VERACRUZ

Cynthia Gpe. Rodríguez Quibrera^{203*}, Luis E. Peña Melgarejo²⁰⁴, Santiago Domínguez Monge²⁰⁵,
Ariadna Uribe Bustamante²⁰⁶, Perla Minely Santos Francisco²⁰⁷ y Sergio Alberto Curti Díaz²⁰⁸

Resumen

El HLB es la enfermedad más devastadora de los cítricos a nivel mundial causados por la bacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), la detección oportuna de este fitopatógeno permitirá tomar las medidas de manejo adecuadas. El método de detección oficial es la QT-PCR, sin embargo, la baja concentración y diversa distribución de la bacteria en el árbol hace que los resultados puedan parecer como falsos negativos. Es por ello que el objetivo de este trabajo es detectar a CLas en árboles de limón Persa mediante QT-PCR y PCR punto final en las cuatro épocas del año y poder determinar cuál es la temporada más adecuada para la detección con mayor eficiencia y sensibilidad de CLas. Se tomaron muestras de brotes proximales y distales de 10 árboles sintomáticos del HLB de 6 años de edad. La QT-PCR se realizó en muestras proximales (p) y distales (d) permitiendo la detección de la bacteria en un 95% y 80%, respectivamente. Mientras que la PCR punto final detecto a CLas en primavera y verano en 55%, en otoño 66% e invierno de 85% de las muestras, obteniendo mayor detección en muestra proximales (84%) y menor en muestras distales (48%). Los resultados indicaron un 20% de mayor sensibilidad para la detección con QT-PCR que para PCR punto final, debido a la concentración bacteriana las épocas con mayor detección fue invierno y la menor detección otoño y verano, estimado concentraciones más elevadas de la CLas en invierno, lo cual se puede demostrar con la intensidad de los productos de PCR obtenidos.

Palabras clave: *Candidatus Liberibacter as*, fitopatógeno, PCR

²⁰³ Centro de Investigación Golfo Centro INIFAP-Campo Experimental Ixtacuaco.

²⁰⁴ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

²⁰⁵ Centro de Investigación Golfo Centro INIFAP-Campo Experimental Ixtacuaco.

²⁰⁶ CITROFRUT C.A. de C.V.

²⁰⁷ Centro de Investigación Golfo Centro INIFAP-Campo Experimental Ixtacuaco.

²⁰⁸ Centro de Investigación Golfo Centro INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla.



Introducción

A nivel mundial los cítricos se cultivan en más de cien países de los cinco continentes, por lo que constituyen el grupo de frutales más importante, incluye las especies de naranjas, limones, mandarinas y limas (Fernández Rivera, 2015). La producción de cítricos se encuentra en riesgo por la enfermedad llamada Huanglongbing (HLB), palabra de origen chino que significa enfermedad del brote amarillo. Esta enfermedad es la más destructiva de los cítricos a nivel mundial, y actualmente no tiene cura (Reyes García, 2012). El HLB es causada por la bacteria del género *Candidatus Liberibacter* spp., del cual se conocen tres especies: “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” reportada por primera vez en los países asiáticos y presente también en Brasil, Estados Unidos (Florida) y México, “*Candidatus Liberibacter africanus*” presente en los países africanos, y “*Candidatus Liberibacter americanus*” presente en Brasil (Reyes García, 2012). En México, la enfermedad fue reportada por primera vez en el Municipio de Tizimín, Yucatán, en plantas de limón mexicano de traspatio en 2009 (Hernández-Fuentes, *et al.*, 2014). Las bacterias responsables del HLB son transmitidas de un árbol a otro por los insectos psilidos vectores *Diaphorina citri* (Kuwayamaa) en Asia y América, y *Trioza erytrae* en África. *Diaphorina citri* está establecido en México desde 1996 (Reyes García, 2012). Las estrategias para mitigar el daño causado por el HLB se basan en el control del psilido y la detección oportuna de la bacteria (NAPPO, 2012). Los primeros síntomas de la enfermedad del HLB aparecen como pequeños puntos amarillentos en las hojas cuando los brotes tienen entre 45 y 60 días de edad. Después de los 60 o 70 días se puede apreciar el moteado difuso asimétrico, característico del HLB (Robles-González, *et al.*, 2013). Los métodos para detectar a CLas se limitan a la inspección visual de los síntomas, seguidas por una corroboración mediante el método molecular Reacción en Cadena de la Polimerasa en tiempo real (QT-PCR) (OIRSA, 2013), que es el método oficial. Sin embargo, la baja concentración y la distribución irregular del patógeno en las plantas hospedantes han dificultado la detección. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue detectar a CLas en árboles de limón Persa mediante QT-PCR y PCR punto final en diferentes épocas del año y determinar cuál es la temporada más adecuada para la detección de CLas con mayor eficiencia y sensibilidad.



Materiales y Métodos

Periodo de estudio, materiales evaluados y descripción del área

El siguiente trabajo se realizó en el año 2021. Se utilizaron nervaduras centrales de 10 hojas proximales y distales de limón Persa provenientes de 10 árboles de 6 años de edad infectados con HLB, establecidos en la huerta del Campo Experimental Ixtacuaco (CEIXTA) ubicada en las coordenadas 20° 2'44.08"N y 97° 5'45.56"O, a una altitud de 105 msnm, con un tipo de suelo profundo, franco arenoso y ligeramente alcalino (pH 7.2), temperatura media anual de 24°C, con precipitación pluvial anual de 1765.9 mm. El CEIXTA se localiza en el Mpio. de Tlapacoyan, Veracruz, México. Los mismos árboles fueron muestreados en diferentes épocas de año.

Extracción de ADN

La extracción del DNA se realizó utilizando el método del CTAB optimizado por Rodríguez *et al.*, (2010) que consiste en lo siguiente: (1) Con una navaja estéril se cortaron en trozos muy pequeños los peciolo y nervaduras centrales de las hojas de 100 muestras conformadas por 10 hojas de limón mexicano cada una, (2) se colocaron 500 mg del material vegetal en tubos eppendorf de 2 mL y (3) se adicionaron 1.5 mL de solución de extracción 2-ME/CTAB precalentada a 65°C (2% de 2-mercaptoethanol + 2% p/v CTAB, 1 M Tris-HCl pH 8, 0.5 M EDTA pH 8, 1.4 M NaCl, 1% p/v polivinylpyrrolidona), (4) se incubó a 65°C por 120 min y se homogenizó con vórtex cada 30 min, (5) posteriormente, se transfirieron 800 µl de sobrenadante a un tubo eppendorf estéril de 2 mL, adicionando 800 µl de SEVAG (cloroformo-alcohol isoamílico 24:1) y homogenizando la muestra por inversión. (6) Se centrifugó a 13000 rpm durante 10 min a temperatura ambiente y se recuperó 500 µl de sobrenadante en un tubo nuevo estéril de 1.5 mL, adicionando 250 µl de acetato de amonio (7.5 M) y 300 µl de isopropanol, dejando precipitar 24 h a -20°C, (7) posteriormente se centrifugó a 13,000 rpm durante 20 min a 4°C, y se desechó el sobrenadante evitando el desprendimiento de la pastilla. (8) Finalmente se realizarón dos lavados con 1 mL de etanol frío al 70%, centrifugando a 13,000 rpm durante 10 min a 4°C, (9) se dejó secar la pastilla a temperatura ambiente, y se hidrató con 50 µl de agua MQ estéril almacenando a -20°C hasta su uso.

Determinación de la integridad y calidad del ADN

Para visualizar el DNA obtenido se realizó una electroforesis en gel de agarosa al 0.8% en TAE 0.5 X, a 90 volts durante 40 minutos en cámara de electroforesis horizontal (Bio-Rad), en un fotodocumentador BioRad, mediante el software ImageLab versión 6.0.1.



Detección de CLas mediante QT-PCR (PCR-Tiempo Real)

La detección de CLas mediante QT-PCR, se realizó siguiendo la metodología descrita por Li *et al.*, (2006) que consiste en utilizar una sonda Taqman y primers específicos basados en la región 16S rADN. Se prepararon reacciones de QT-PCR de 25 µL conteniendo: 100 ng de ADN genómico, 250 nM de cada primer (HLBas/HLBr), 150 nM de sonda (HLBp) y enzima Taq-Man® master mixture (ABI, Foster City, CA). El protocolo de amplificación fue de 50°C durante 2 min y 95°C durante 10 min seguido de 95°C por 20 s posteriormente 50 ciclos a 95°C por 1 s y 58°C por 40 s, se utilizó un termociclador C6FX96 BioRad.

Detección de CLas mediante PCR punto final

Para la PCR punto final, se emplearon los iniciadores OI1 (5'-GCG CGT ATG CAA TAC GAG CGG CA-3') y OI2c (5'-GCC TCG CGA CTT CGC AAC CCA T-3') diseñados sobre la secuencia del gen ribosomal 16S de *Candidatus Liberibacter asiaticus*, que amplifican un fragmento de un tamaño aproximado de 1160 pares de bases (pb), (Jagoueix *et al.*, 1994). Las reacciones de PCR fueron realizadas en un volumen final de 12 µL, utilizando 1.25 U de GoTaq® Flexi ADN Polymerase (Promega), 1X Buffer, 0.2 mM dntp's, 1.5 mM MgCl₂, iniciadores 20 pM cada uno, y 200 ng ADN. Las condiciones utilizadas para la amplificación fueron 94°C a 3 min, 35 ciclos de 94°C-62°C-72°C a 30 s-30 s-60 s, y una extensión final de 72°C por 10 mn. La reacción se llevó a cabo en un termociclador (MiniAmpPlus, Appliedbiosystems).

Electroforesis

Los productos de PCR fueron separados en geles de agarosa al 1.5% en TAE 0.5 X, teñido con 5 µg/mL de una solución de bromuro de etidio a 90 volts durante 40 minutos en cámara de electroforesis horizontal (Bio-Rad), analizados en un fotodocumentador BioRad, mediante el software ImageLab versión 6.0.1.

Resultados y Discusiones

Las muestras de hojas de ramas proximales y distales, se presentaron como sintomáticas al HLB (moteados difusos, asimétricos) y las asintomáticas, respectivamente (Figura 1). Como lo describe Robles *et al.* (2013), los árboles diagnosticados positivos para HLB presentaron brotes vegetativos maduros (brotes proximales) cuyas hojas tenían manchas amarillentas a manera de moteados con

distribución asimétrica, típicas del HLB. Los brotes vegetativos inmaduros (brotes distales), a pesar de haberse originado en ramas sintomáticas, presentaron aspecto vigoroso, y coloración verde.

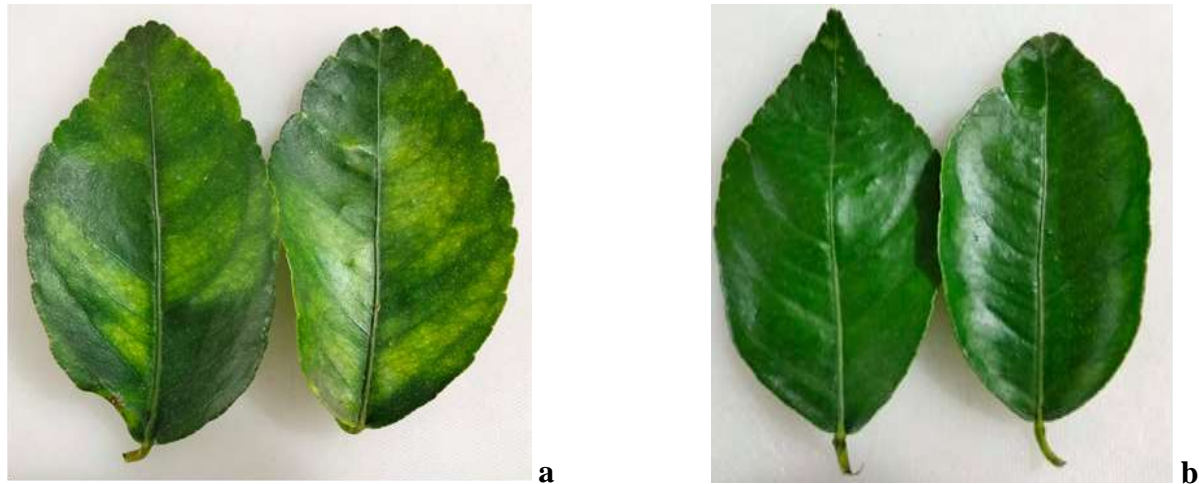


Figura 1. Muestras proximales (a) y distales (b) en limón Persa.

Los resultados del diagnóstico mediante QT-PCR, indicó la presencia de CLAs en el rango de Ct (Cycle Threshold) de 18 a 32, en los meses analizados (septiembre, noviembre, enero). En las muestras proximales la detección fue en un 95%, mientras que para las distales un 80% (Cuadro 1, Figura 2).

Los resultados por QT-PCR indicaron que la muestra 8 y 10, de septiembre y noviembre respectivamente fueron negativas, en enero y junio se presentaron positivas, en muestras distales no se identificó la presencia de CLAs en la muestra 18 en los meses septiembre y junio, y en las muestras 19 y 20 analizadas en septiembre. Teixeira *et al.* (2008), señalaron que aun con el método oficial de PCR tiempo real y la técnica de PCR convencional usando los iniciadores basados en la región 16S las detecciones solo se obtienen positivos en muestras con síntomas muy evidentes del HLB y se ha observado que, en algunas muestras previamente analizadas dan como resultado meses después como falsos negativos o falsos positivos, ya que la distribución y movimiento irregular de la bacteria en el árbol probablemente se deba a las condiciones climáticas de cada época.



Cuadro1. Detección mediante QT-PCR de CLAs en muestras de limón Persa proximales y distales.

	Proximales										Distales									
MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SEP	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
NOV	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-										
ENE	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	No se realizó									
JUN	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+

+ = positivos, - = negativo.

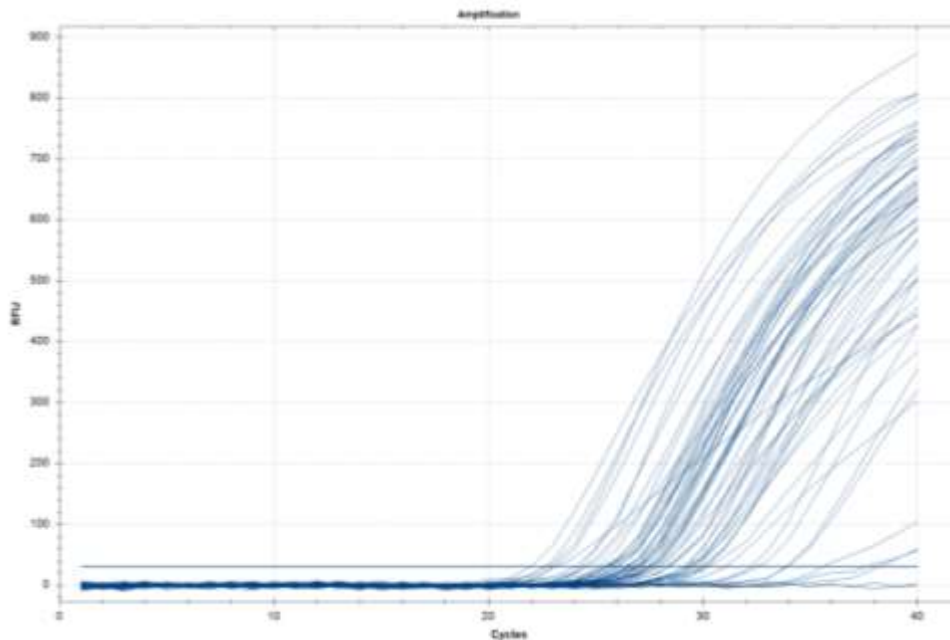


Figura 2. QT-PCR. Se utilizó una sonda Taqman y primers específicos basados en la región 16S rADN, un control positivo y control negativo. El producto de amplificación se muestra en tiempo real a medida que transcurren los ciclos térmicos (Ct), aumentando exponencialmente el nivel de fluorescencia registrada (ΔRn). El Ct es el número de ciclos en el que la fluorescencia empieza a ser detectada. Cuanto menor es el valor Ct, mayor es la concentración inicial del parámetro estudiado en la muestra.

Los resultados de PCR punto final mostraron un porcentaje de identificación de 84% para muestras proximales, y un 48% para distales (Figura 3, Cuadro 2), presentando una diferencia en la detección de aproximadamente un 20% en comparación con QT-PCR. Asfaram *et al.* (2017) señalaron que la PCR

en tiempo real, presenta una mayor sensibilidad y una alta especificidad que las PCRs convencionales, lo que corrobora nuestros resultados.

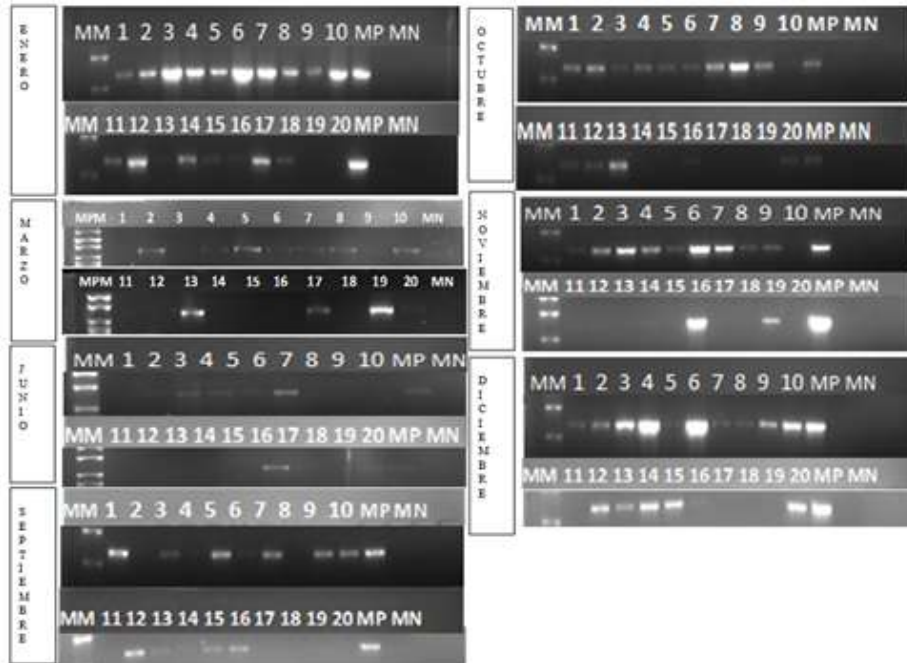


Figura 3. Electroforesis para la detección de CLAs mediante el uso de iniciadores OI1/OI2c, que amplifican un fragmento del gen 16S, de aproximadamente 1160 pb. Las muestras fueron analizadas en un gel de agarosa al 2% en TAE 0.5 X, teñido con SYBR Green (Invitrogen). MM) Marcador molecular 100 pb (Promega), Carril 1- 10). Muestras de árboles de limón Persa proximales, Carril 11-20). Muestras de árboles de limón Persa distales, MP) Control positivo y MN) Control negativo.

Cuadro 2. Detección en diferentes épocas del año de CLAs.

Mes	Época	Positivas proximales	Positivas distales
SEP	otoño	7	4
OCT	otoño	10	5
NOV	otoño	9	2
DIC	invierno	10	6
ENE	invierno	10	8
MAR	primavera	7	4
JUN	verano	6	5
Porcentaje Total		84%	48%



López (2017) señala que cuando se realizan detecciones de CLas existen periodos donde hay mayores concentraciones de la bacteria que coinciden con los meses en los cuales la temperatura promedio disminuye y con los meses donde las plantas tuvieron brotaciones nuevas, principalmente destacándose repuntes en los meses de julio, diciembre y enero. En los resultados obtenidos se puede observar que el rango de detección aumenta en invierno.

Conclusiones

1. Los resultados indicaron un 20% de mayor sensibilidad con QT-PCR que para PCR punto final.
2. Para la detección de CLas causante del HLB, como era de esperarse la detección fue más alta en las muestras proximales (muestras con síntomas típicos de HLB), que en las muestras distales (asintomáticas).
3. La época con mayor detección fue en invierno y la menor detección en otoño y verano.

Agradecimientos

Recursos fiscales INIFAP.

Literatura Citada

Asfaram S, M. Fakhar, N. Mirani, M. Derakhshani-niya, R. Valadan, H. Ziaei Hezarjaribi. 2017. HRM-PCR is an accurate and sensitive technique for the diagnosis of cutaneous leishmaniasis as compared with conventional PCR. *Acta Parasitol.* 2019;65(2):310-6.

Fernández Rivera E. 2015. Uso de silicio e inductores de resistencia en relación a Huanglongbing (HLB) en limón Persa (*Citrus latifolia*) y limón mexicano (*Citrus aurantifolia*), Tesis de maestría, Universidad de Guadalajara Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Zapopan, Jalisco.



Jagoueix S, J. M. Bove, M. Garnier. 1994. The phloem-limited bacterium of greening disease of citrus is a member of the alpha subdivision of the Proteobacteria. *Int J Syst Bacteriol.* 44(3):379-86. doi: 10.1099/00207713-44-3-379. PMID: 7520729.

Hernández Fuentes L., M. Urías López, R. Gómez Jaimes, J. I. López Arroyo, J. Velázquez Monreal, y M. Orozco Santos. 2014. El Huanglongbing y su vector *diaphorina citri* en limón Persa en Nayarit: recomendaciones para su manejo. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Libro Técnico Núm. 3. ISBN: 978-607-37-0283-6

López Buenfil José Abel. 2017. Tesis de doctorado Análisis de la dinámica de poblaciones de “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” en limón mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle). <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/1378?show=full>

Li W, J. Hartung, L. Levy. 2006. Quantitative real-time PCR for detection and identification of *Candidatus Liberibacter* species associated with citrus Huanglongbing, *Journal of Microbiological Methods* 66: 104-115.

OIRSA. 2013. Protocolo de diagnóstico de Huanglongbing en hojas de cítricos. F&G Editores. San Salvador, El Salvador. https://www.oirsa.org/contenido/2018/Sanidad_Vegetal/WEB%20-%20DRSV-UCom%20-HLB/HLB/Protocolos%20HLB/Diagnostico%20HLB_2015_05_29.pdf

Reyes García J., 2012. Detección de los agentes causales de la enfermedad huanglongbing de los cítricos, “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” y “*Ca. L. americanus*” en plantas del Noreste de México. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Escobedo, N.L.



Rodríguez Quibrera C.G., E. I. Alanís Martínez, J. Velázquez Monrreal, I. H. Almeyda León. 2010. Optimización de la Técnica de Extracción del DNA de plantas de cítricos para el diagnóstico del HLB. En Memoria electrónica del 1er Simposio Nacional sobre Investigación sobre el Manejo del Psílido asiático de los cítricos y el Huanglongbing en México, Monterrey, Nuevo León. Diciembre 2010.

Robles-González, M., M. Velázquez-Monreal, J. J. Manzanilla-Ramirez, M. A. Orozco-Santos, M. Medina-Urrutia, J. I. López-Arroyo, y R. Flores-Virgen. 2013. Síntomas del Huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. Revista Chapingo. Serie horticultura, 19(1):15-31. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.005>



IDENTIFICACIÓN *in silico* DE FACTORES DE TRANSCRIPCIÓN WRKY EN LIMÓN PERSA (*Citrus latifolia*)

Berenice Preza Murrieta²⁰⁹, Felipe Roberto Flores de la Rosa^{210*}, Juan Carlos Noa Carrazana²⁰⁹, Norma Flores Estévez²⁰⁹, Ricardo Santillán Mendoza²¹⁰, Humberto Estrella Maldonado²¹⁰ y Cristian Matilde Hernández²¹⁰

Resumen

El HLB (Huanglongbing) es una seria limitante que amenaza la producción citrícola mundial; sin embargo, existen especies que presentan un alto nivel de tolerancia a la enfermedad, tal como el limón persa. Por tanto, identificar genes relacionados con la defensa a la infección por el agente causal, *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLAs), podría establecer estrategias para el mejoramiento genético de especies altamente susceptibles a esta enfermedad. La familia de factores de transcripción WRKY ha demostrado estar relacionada con la respuesta de defensa contra CLAs en otras especies citricolas tolerantes a la enfermedad; sin embargo, esta familia no ha sido estudiada en el limón persa. El objetivo del presente trabajo fue identificar y caracterizar miembros de la familia WRKY en el transcriptoma del limón persa. Se utilizó la base de datos previamente publicada del transcriptoma de limón persa infectado con CLAs. Con los transcritos recuperados se utilizó un enfoque de cadenas ocultas de Markov, para determinar todos los transcritos que contuvieran al menos un dominio WRKY conservado. Posteriormente, se realizó la caracterización de los genes encontrados, se identificó cada gen y se determinaron sus relaciones filogenéticas, motivos conservados, ontología génica (GO) y redes de co-expresión, mediante diversas herramientas bioinformáticas. Se determinó que existen al menos 32 genes que contienen por lo menos un dominio conservado WRKY que se distribuyen en los tres grupos previamente descritos para esta familia; además, la caracterización *in silico* de los 32 genes identificados corrobora su papel en la respuesta ante estímulos externos como estrés biótico y abiótico. Se determinó que existe homología filogenética entre los genes WRKY identificados en limón persa y otros cítricos. Además, se determinó mediante la OG que todos los genes identificados están relacionados con respuestas a estímulos externos y tienen función de factores de expresión. Esta

²⁰⁹ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada. Universidad Veracruzana.

²¹⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRGOC. C.E. Ixtacuaco. *Autor para correspondencia: flores.felipe@inifap.gob.mx



investigación sienta las bases para el estudio de la tolerancia del limón persa al HLB a través de la expresión de los genes *WRKY*.

Palabra clave: regulación génica, tolerancia al HLB, bioinformática

Introducción

México es uno de los principales productores de limas y limones a nivel mundial. El cultivo de limón es de gran importancia para el consumo a nivel nacional y por ser uno de los frutos de mayor exportación. En México, las principales variedades cultivadas son limón persa o sin semilla (*Citrus x latifolia* Tanaka), limón mexicano (*Citrus aurantifolia*) y limón amarillo o italiano (*Citrus lemon*) con una producción total de 2,851,426 t anuales en el 2020; los mayores productores de dichas variedades son Veracruz, Oaxaca, Jalisco, Tabasco y Yucatán (SIAP, 2021). Veracruz es el principal estado productor de limón en sus diferentes variedades, con una producción anual en el 2020 de 788,554 t, de dicha producción 787,842 t corresponden a la producción de limón persa. En este estado destaca el municipio de Martínez de la Torre que es el mayor productor de limón persa con una producción anual de 272,931 t anuales (SIAP, 2021).

A pesar de que México cuenta con una buena producción de limón persa, esta se ve afectada por diferentes factores, entre los que podemos encontrar plagas y diferentes enfermedades como el Huanglongbing (HLB), causada por la α -proteobacteria *Candidatus Liberibacter asiaticus* (Huang *et al.*, 2022). El HLB es considerada una de las enfermedades más devastadoras en los huertos donde se presenta, pues algunos de los efectos son la baja producción, menor calidad en el fruto, enanismo de los árboles, acumulación de almidón, clorosis asimétrica, entre otras (Robles-González *et al.*, 2017). Sin embargo, el limón persa ha demostrado tener un alto nivel de tolerancia a la enfermedad (Sivager *et al.*, 2021).

Las enfermedades causadas por agentes patógenos, en este caso la bacteria CLas, afectan la salud de las plantas, que deben desarrollar mecanismos de defensa para combatir el ataque de patógenos. Las células afectadas deben llevar un proceso adaptativo constante debido a los cambios ambientales, y deben modificar los patrones de expresión génica. Tal es el caso de los factores de transcripción, que son proteínas que se unen al ADN para controlar la expresión de genes y se encargan de regular,



estimular o reprimir la tasa transcripcional de genes al unirse a regiones promotoras específicas, y con esto ayuda a activar o desactivar cascadas de señalización de genes en plantas (Gómez-Merino *et al.*, 2009).

Entre los factores de transcripción se encuentra la familia *WRKY*, estos tienen un papel importante en la regulación positiva y negativa de la inmunidad innata de las plantas, causada por microbios o patógenos (Eulgem *et al.*, 2000). Los factores de transcripción *WRKY* también están relacionados a procesos como la germinación, senescencia y la respuesta al estrés abiótico como la sequía y el frío (Eulgem & Somssich, 2007). Además, forman parte integral de las redes de señalización que modulan muchos procesos de las plantas (Eulgem *et al.*, 2000).

Como no se puede aislar al patógeno *CLas* es necesario comprender a nivel molecular la interacción entre planta – patógeno para poder entender la alteración que la enfermedad provoca en la planta, ya que no existe evidencia concreta respecto a la respuesta molecular del limón persa al HLB. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue identificar factores de transcripción de la familia *WRKY* en el transcriptoma de limón persa.

Materiales y Métodos

Obtención de base de datos transcritos

Se utilizó la base de datos del transcriptoma de *C. latifolia* infectado con *CLas* publicada por Estrella-Maldonado *et al.*, (2023) la cual cuenta con un total de 247,494 transcritos.

Notación funcional

Para la identificación de las proteínas codificadas por los transcritos que se obtuvieron, se identificaron los ORFs más largos utilizando el programa Transdecoder v5.5.0 (git-hub, 2018). Posteriormente se ejecutó Blastx y Blasp (Altschul *et al.*, 1990) frente a la base de datos de Uniprot, utilizando el programa BLAST+ standalone 2.12.0 por medio de una línea de comandos, limitando a una coincidencia por transcritos y ORF con un valor $\leq 1e-5$ para los dos casos. También se identificaron los dominios conservados de los ORFs encontrados por medio del programa HMMER v3.3.2 (Wheeler & Eddy, 2013) frente a la base de datos de Pfam (Finn *et al.*, 2014).



Identificación del dominio WRKY en limón Persa

Para identificar los factores de transcripción de la familia *WRKY*, se recuperaron todas las secuencias de los transcritos que presentaban el dominio *WRKY*. Una vez obtenidas se realizó un análisis BLASTn (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&BLAST_SPEC=GeoBlast&PAGE_TYPE=BlastSearch), para identificar transcritos homólogos de algunas especies de cítricos que contenían el dominio *WRKY*. Por último, se recuperaron secuencias representativas de los distintos *WRKY* de *Arabidopsis thaliana* de la base de datos TAIR (<https://www.arabidopsis.org/>). Una vez que se obtuvieron todas las secuencias homologas se alinearon con ClustalW mediante el programa BioEdit 7.2 con parámetros por default.

Las secuencias alineadas fueron ingresadas con formato nexus obtenido por Mesquite 3.70 al programa T.N.T. (Tree analysis using New Technology) para la obtención de árboles filogenéticos bajo parámetros por default. Todos los árboles que se recuperaron se agruparon en un árbol consenso donde los clados se agruparon de acuerdo con los miembros de la familia *WRKY* de *Arabidopsis thaliana*.

Análisis de coexpresión y ontología génica de WRKY

Para las posibles interacciones y los grupos entre las proteínas *WRKY*, se realizó un análisis de coexpresión mediante el software STRING, tomando como referencia las interacciones de *Arabidopsis thaliana* frente a *C. latifolia*. Así mismo, por medio de dicho software se realizó un análisis de ontología génica (OG) de cada uno de los *WRKY* que se encuentran en el transcriptoma de *C. latifolia*.

Identificación de motivos conservados

La búsqueda de motivos conservados a partir de proteínas se realizó mediante el programa en línea MEME Suite versión 5.4.1 (<https://meme-suite.org/meme/>), utilizando las condiciones ofrecidas por default y limitando la búsqueda a 10 motivos conservados por secuencia.

Resultados y Discusión

Identificación de secuencias WRKY en el transcriptoma de C. latifolia

El transcriptoma de limón persa cuenta con un total de 247,494 transcritos (Estrella *et al.*, 2023) del cual se partió para la búsqueda del dominio *WRKY*, habiéndose identificado un total de 177 transcritos que contienen al menos un dominio *WRKY*, incluyendo todas las isoformas.



Análisis bioinformáticos

De acuerdo con el análisis BLASTn que se realizó con cada uno de los transcritos de *C. latifolia* se identificaron homólogos de genes *WRKY* en otras especies de cítricos como *Citrus sinensis*, *C. clementina* y *C. japónica*. Se tomaron en cuenta el porcentaje de cobertura, porcentaje de identidad y el número de accesión. Para este análisis se eliminaron las isoformas que se encontraban repetidas debido a que el BLASTn proporcionó la misma información, por lo que se optó por tomar las más representativas en cuanto al valor más alto del porcentaje de cobertura o del porcentaje de identidad; por lo que, sólo se analizaron 96 elementos con dicho dominio.

Con los números de accesión se realizó una búsqueda en el NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) donde se obtuvieron las secuencias de nucleótidos de cada uno de los diferentes *WRKY* de las especies de cítricos que se identificaron con el BLASTn; además, se agregaron secuencias con dominio *WRKY* de *Arabidopsis thaliana* que ya se encuentran bien clasificados y que se recuperaron de la base de datos especializada The *Arabidopsis* Information Resource (TAIR) (<https://www.arabidopsis.org/index.jsp>).

Análisis filogenético

De acuerdo con las secuencias recuperadas se procedió a realizar un alineamiento y con ello la construcción de un árbol filogenético con un bootstrapping/Jackknife de 1000 réplicas. Se obtuvieron un total de tres árboles filogenéticos igualmente parsimoniosos, con los cuales se construyó el árbol consenso estricto (Figura 1), donde se puede observar cómo se encuentran distribuidos los factores de transcripción *WRKY* de *C. latifolia*, *C. sinensis*, *C. clementina*, *C. japónica* de acuerdo con *Arabidopsis thaliana*.

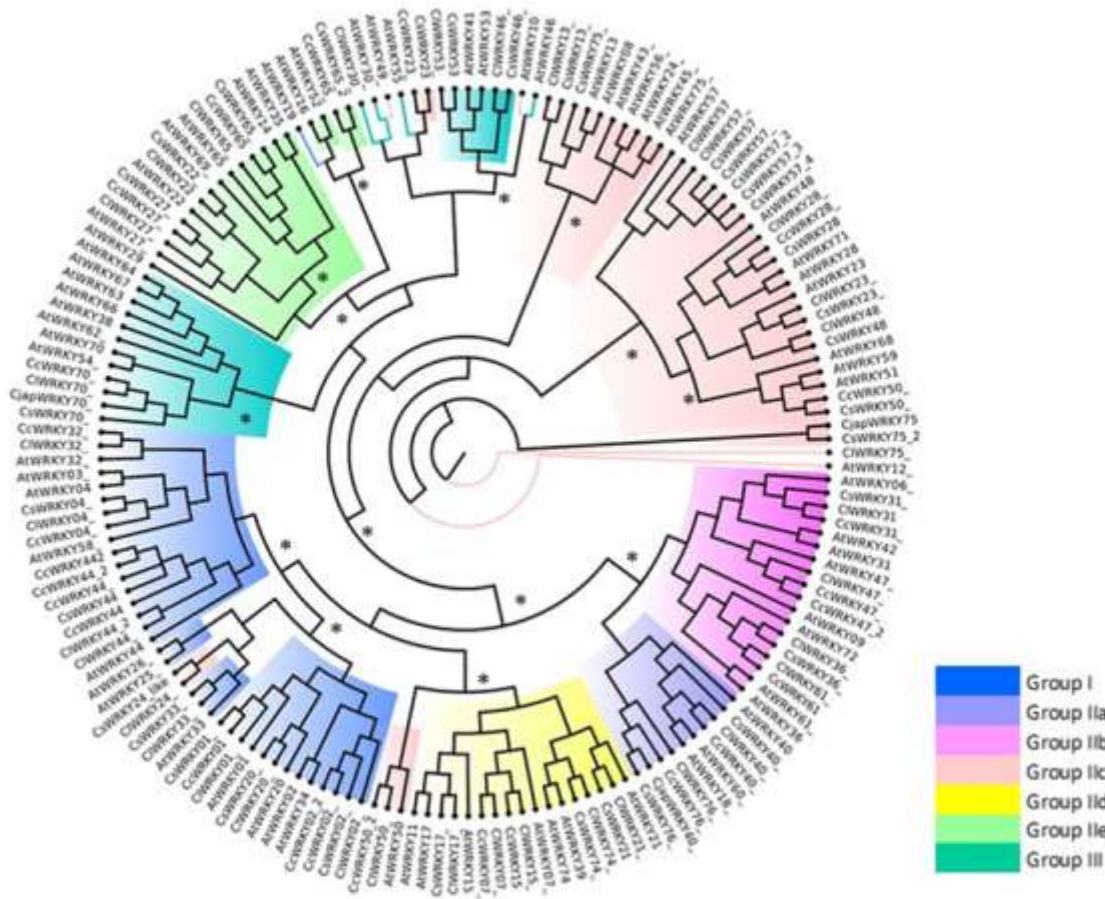


Figura 1. Filogenia por máxima parsimonia de los factores de transcripción. Árbol consenso estricto, con un remuestreo mediante 1000 Bootstrap/Jackknife; *indica el número de clados obtenidos. Los colores indican los diferentes grupos de factores de transcripción WRKY obtenidos con base a *Arabidopsis thaliana*, *Citrus sinensis*, *C. japonica*, *C. clementina* y *C. latifolia*.

Clasificación de grupos WRKY en el transcriptoma de *C. latifolia*

Para la clasificación de los grupos característicos de los factores de transcripción WRKY se tomó como referencia la clasificación de Dai *et al.*, (2023) en el cual clasifica los factores de transcripción WRKY de *Arabidopsis thaliana*. Por lo que el transcriptoma de *C. latifolia* se cuenta con un total de 32 elementos de la familia WRKY que se encuentra distribuidos en los diferentes grupos característicos de dicha familia (Cuadro 1).



Cuadro 1. Clasificación de grupos de factores de transcripción *WRKY* identificados en el transcriptoma de *C. latifolia*.

I	IIa	IIb	IIc	IIId	IIe	III
<i>CIWRKY01</i>	<i>CIWRKY40</i>	<i>CIWRKY31</i>	<i>CIWRKY13</i>	<i>CIWRKY07</i>	<i>CIWRKY22</i>	<i>CIWRKY46</i>
<i>CIWRKY02</i>	<i>CIWRKY76</i>	<i>CIWRKY36</i>	<i>CIWRKY23</i>	<i>CIWRKY15</i>	<i>CIWRKY27</i>	<i>CIWRKY53</i>
<i>CIWRKY04</i>		<i>CIWRKY47</i>	<i>CIWRKY24</i>	<i>CIWRKY17</i>	<i>CIWRKY65</i>	<i>CIWRKY70</i>
<i>CIWRKY20</i>		<i>CIWRKY61</i>	<i>CIWRKY28</i>	<i>CIWRKY21</i>		
<i>CIWRKY32</i>			<i>CIWRKY48</i>	<i>CIWRKY74</i>		
<i>CIWRKY33</i>			<i>CIWRKY50</i>			
<i>CIWRKY44</i>			<i>CIWRKY57</i>			
			<i>CIWRKY75</i>			

Ontología génica de factores de transcripción *WRKY*

La ontología génica que se obtuvo, muestra las funciones moleculares con las que se relacionan los factores de transcripción *WRKY* (Figura 2), de acuerdo con esto todos los genes *WRKY* presentes en el transcriptoma de *C. latifolia* se encuentran en el núcleo cumpliendo así su función como factores de transcripción, al menos 30 *WRKY* están relacionados a procesos biológicos de gran importancia como la respuesta a estímulos, respuesta a algún tipo de estrés, respuesta química, y las principales funciones moleculares son la secuencia específica de unión al ADN y actividad de factor de transcripción con unión al ADN.

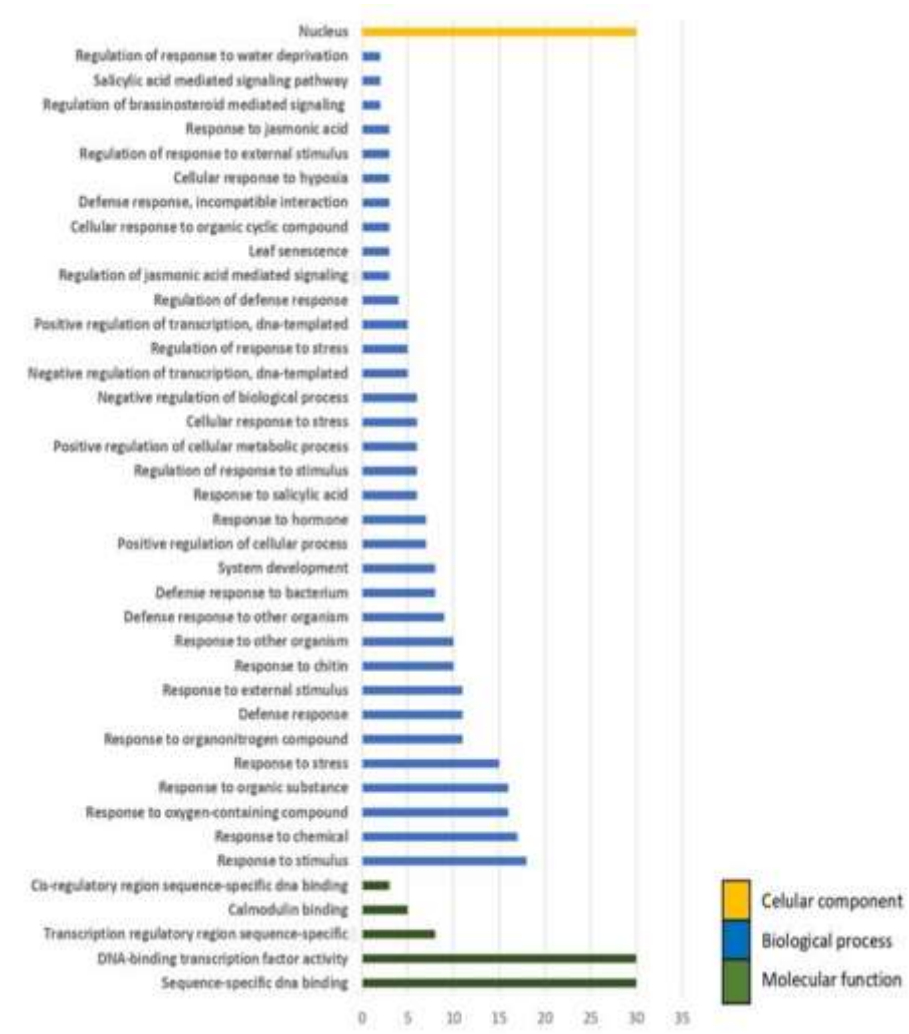


Figura 2. Ontología de genes *WRKY* identificados en el transcriptoma de *C. latifolia*. Muestra tres principales componentes que son el proceso celular que indica donde trabaja, los procesos biológicos en los que interviene y finalmente la función molecular en los que esta relacionados.

Análisis de coexpresión de genes *WRKY*

El análisis de coexpresión clasificó a los genes *WRKY* en tres grupos diferentes (Figura 3), donde el grupo verde presenta más coexpresión entre los genes y el grupo de color rojo es el que no presenta ningún tipo de interacción. Cabe destacar que los genes *WRKY* que se expresan diferencialmente en el transcriptoma de *C. latifolia* se encuentran distribuidos en estos tres grupos, pero no existe coexpresión con algún otro gen.

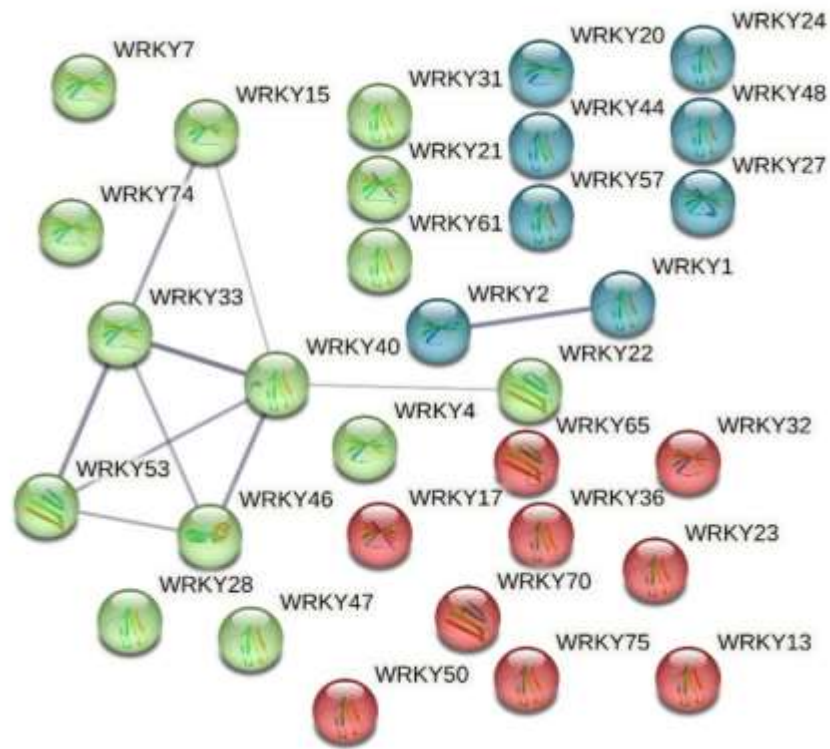


Figura 3. Red de coexpresión de genes *WRKY* de *C. latifolia*. La intensidad de las líneas indica el nivel de correlación que hay entre los genes, el color indica el nivel de interacción entre las proteínas.

Análisis de motivos conservados

De acuerdo con los resultados obtenidos de MEME Suite v5.4.1, se identificaron 10 motivos conservados con una longitud de nueve a 43 aminoácidos (Figura 4), donde cada secuencia presentó de dos a seis motivos conservados. El motivo uno, donde se encuentra el dominio *WRKY*, se encuentran dentro de las 32 proteínas analizadas, el motivo dos solo en el *CIWRKY 07* no se encuentra presente y el motivo tres solo se observa en 25 de las proteínas.

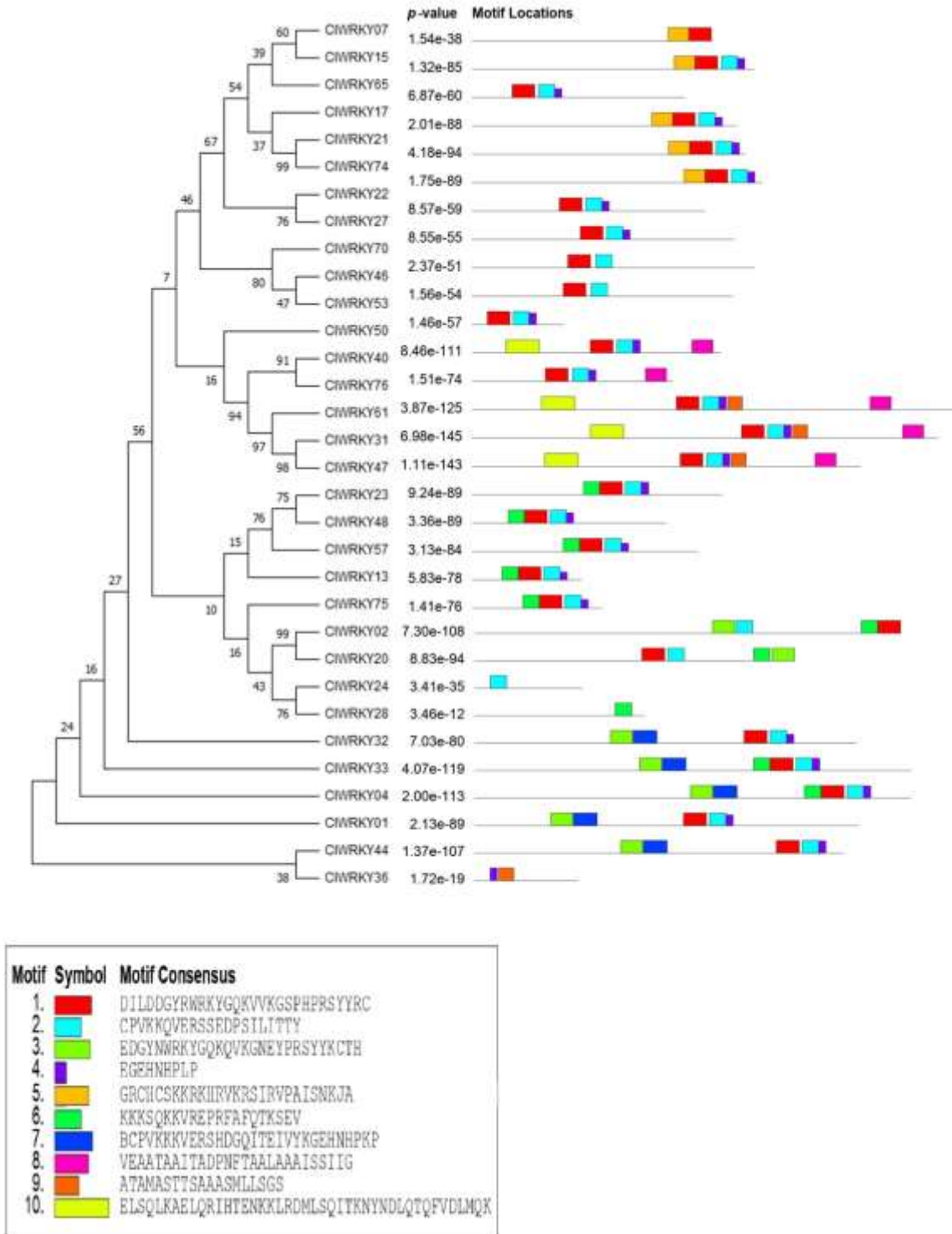


Figura 4. Identificación de motivos conservados de genes WRKY.



La familia de genes *WRKY* es considerada una de las más importantes de los factores de transcripción en plantas, por ser ubicuas en todos los grupos y estar estrechamente relacionada con la respuesta a estrés biótico y abiótico (Wang *et al.*, 2023). Por lo cual, son de especial interés para entender la tolerancia que algunas especies muestran a enfermedades de importancia económica, tal es el caso de *C. latifolia* y el HLB (Estrella-Maldonado *et al.*, 2023; Flores-de la Rosa *et al.*, 2023; Sivager *et al.*, 2021). El presente trabajo representa el primer estudio de los factores de transcripción de la familia *WRKY* en este cítrico y su posible rol en la respuesta a la infección por CLas.

En el género *Citrus*, se ha estudiado previamente la presencia de genes *WRKY* en diferentes especies y su respuesta ante diferentes fuentes de estrés, esto como una fuente de genes candidatos para mejoramiento genético (Ayadi *et al.*, 2016). Por ejemplo, en la especie *C. sinensis*, uno de los cítricos más importantes a nivel mundial, se han hecho diversos estudios para identificar genes *CsWRKY*, el número de estos varía en dichos estudios: 51 (Ayadi *et al.*, 2016), 77 (Silva *et al.*, 2017), 50 (Vives-Peris *et al.*, 2018), 47 (Xi *et al.*, 2023) y 52 (Dai *et al.*, 2023) genes *CsWRKY* en genomas de diferentes genotipos. Asimismo, en la especie *C. clementina* han sido reportados 48 genes *CcWRKY* (Ayadi *et al.*, 2016). Por otro lado, en la especie *C. unshiu* se han cuantificado 51 genes *CuWRKY* (Ayadi *et al.*, 2019). Aunado a lo anterior, en el genoma del pariente cercanos de los cítricos, *Poncirus trifoliata*, se han identificado al menos 51 genes *PtWRKY* (Dai *et al.*, 2023). En el presente estudio se reporta la presencia de al menos 32 genes *ClWRKY*, lo que sugeriría un menor número de estos genes en *C. latifolia* que en otras especies; sin embargo, es importante destacar que el haber realizado la búsqueda desde el transcriptoma podría resultar en la no detección de genes *ClWRKY* presentes en el genoma, pero sin expresión basal o sin participación en respuesta a la infección por HLB, lo que indica la necesidad de realizar la búsqueda desde un genoma. Sin embargo, nuestros resultados son una primera aproximación a esta importante familia de factores de transcripción en este cítrico.

De los 32 genes *ClWRKY* descritos en este estudio, 31 tiene un homólogo en *A. thaliana*, exceptuando al gen *ClWRKY76*. Este gen ha sido previamente reportado en el género *Citrus* (da Silva *et al.*, 2017). El gen *WRKY76* se ha descrito, principalmente, en arroz como un represor transcripcional de respuesta inmune que, al sobre expresarse, incrementa la susceptibilidad a *Magnaporthe oryzae* y *Xanthomonas oryzae*, pero induce tolerancia al frío (Liu *et al.*, 2016). Sin embargo, los resultados del transcriptoma reportado por Estrella-Maldonado *et al.*, (2023) no sugieren cambio en la expresión de este represor por HLB. Recientemente se ha sugerido que inhibir la exacerbada reacción inmune de los cítricos ante CLas podría ser una estrategia del HLB (Ma *et al.*, 2022), por lo cual, resulta interesante estudiar este



gen en el patosistema *C. latifolia*-CLas con miras a inducción de incremento de tolerancia a la enfermedad.

Conclusiones

En el presente estudio se demuestra que, en *C. latifolia*, cítrico tolerante al HLB, se identifican al menos 32 genes *WRKY* en su transcriptoma durante la infección por CLas; sin embargo, podrían existir algunos más no identificados en este estudio. Los resultados del presente trabajo sientan la base para el estudio del mejoramiento genético de cítricos utilizando genes *WRKY* de esta especie tolerante al HLB.

Agradecimientos

B.P.M. Agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para sus estudios de maestría. Se agradece al Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICyDET) por el financiamiento al proyecto “Transcriptómica del limón persa infectado con HLB y caracterización genómica del agente causal, *Candidatus Liberibacter asiaticus*” (15 1906/2021).

Literatura Citada

Ayadi M., M. Hanana, N. Kharrat, H. Merchaoui, R.B. Marzoug, V. Lauvergeat, A. Rebaï and R. Mzid. 2016. The *WRKY* transcription factor family in Citrus: valuable and useful candidate genes for Citrus breeding. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 180: 516 – 543.

Ayadi, M., R. Mzid, R. Ayed, N. Kharrat, H. Merchaoui, A. Rebai, and M. Hanana. 2019. Genome-wide identification and molecular characterization of *Citrus unshiu* *WRKY* transcription factors in Satsuma mandarin: Clues for putative involvement in cell growth, fruit ripening, and stress response. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 43(2), 209-231.



- da Silva E.G., T. M. Ito, and de Souza 2017. «In silico» genome-wide identification and phylogenetic analysis of the WRKY transcription factor family in sweet orange (*Citrus sinensis*). Australian Journal of Crop Science. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.045457207905470>
- Dai, W.S., T. Peng, M. Wang, and J.H. Liu. 2023. Genome-wide identification and comparative expression profiling of the WRKY transcription factor family in two Citrus species with different *Candidatus Liberibacter asiaticus* susceptibility. BMC Plant Biology, 23(1), 159.
- Estrella-Maldonado H., C. González-Cruz, C. Matilde-Hernández, J. Adame-García, J.M. Santamaría, R. Santillán-Mendoza, and F.R. Flores-de la Rosa. 2023. Insights into the Molecular Basis of Huanglongbing Tolerance in Persian Lime (*Citrus latifolia* Tan.) through a Transcriptomic Approach. International Journal of Molecular Sciences, 24(8):8.
- Eulgem, T., and I.E. Somssich. 2007. Networks of WRKY transcription factors in defense signaling. Current Opinion in Plant Biology, 10(4), 366-371.
- Eulgem, T., P.J. Rushton, S. Robatzek and I.E. Somssich. 2000. The WRKY superfamily of plant transcription factors. Trends in Plant Science 5(5): 199-206.
- Finn R.D., A. Bateman, J. Clements, P. Coggill, R. Eberhardt, S.R. Eddy. 2014. Pfam: The protein families database. Nucleic Acids Research, 42(D1), D222-D230.
- Flores-de la Rosa F.R., C. González-Cruz, J. Adame-García, A.C. Chan-León, R. Santillán-Mendoza, J.M. Santamaría and H. Estrella-Maldonado. 2023. Transcriptome-wide identification of CDR family in *Citrus latifolia* and its expression during HLB disease. Tropical Plant Biol. <https://doi.org/10.1007/s12042-023-09328-y>
- Gómez-Merino, F., Trejo-Téllez, L. I., & Tiessen, A. (2009). Factores de transcripción (pp. 153-188).



- Huang J.I., L. Alanís-Martínez, L. Kumagai, Z. Dai, Z. Zheng, A. Pérez-de León, J. Chen and X. Deng. 2022. Machine learning and analysis of genomic diversity of “*Candidatus Liberibacter asiaticus*” strains from 20 citrus production states in Mexico. *Front. Plant Sci.* 133: 1052680.
- Liu J., X. Chen, X. Liang, X. Zhou, F. Yang, J. Liu, S. He, and Z. Guo. 2016. Alternative splicing of rice *WRKY62* and *WRKY76* transcription factor genes in pathogen defense. *Plant Physiology*, pp.01921.2015.
- Ma W., Z. Pang, X. Huang, J. Xu, S.S. Pandey, J. Li, D.S. Achor, F.N.C. Vasconcelos, C. Hendrich, Y. Huang, W. Wang, D. Lee, D. Stanton, and N. Wang. 2022. Citrus Huanglongbing is a pathogen-triggered immune disease that can be mitigated with antioxidants and gibberellin. *Nature Communications*, 13(1):1.
- Robles-González, M. M., M. Orozco-Santos, M.A. Manzanilla-Ramírez, J.J. Velázquez-Monreal, S. Carrillo-Medrano. 2017. Efecto del HLB sobre el rendimiento de limón mexicano en Colima, México. *REMEXCA* 8(5): 1101-1111.
- Da Silva E.G., T.M. Ito, and S.G.H. Souza. 2017. In silico genome-wide identification and phylogenetic analysis of the WRKY transcription factor family in sweet orange (*Citrus sinensis*). *Australian Journal of Crop Science* 11(6): 716-726.
- Sivager, G., L. Calvez, S. Bruyere, R. Boisne-Noc, P. Brat, O. Gros, P. Ollitrault and R. Morillon, R. 2021. Specific physiological and anatomical traits associated with polyploidy and better detoxification processes contribute to improved huanglongbing tolerance of the Persian lime compared with the Mexican lime. *Frontiers in Plant Science* 12: 685679.
- Vives-Peris V., D. Marmaneu, A. Gómez-Cadenas, and R.M. Pérez-Clemente. 2018. Characterization of Citrus WRKY transcription factors and their responses to phytohormones and abiotic stresses. *Biologia plantarum*, 62(1): 33-44.



Wang H, X. Cheng, D. Yin, D. Chen, C. Luo, H. Liu, C. Huang. 2023. Advances in the research on plant WRKY transcription factors responsive to external stresses. *Curr. Issues Mol. Biol.* 45: 2861–2880.

Wheeler, T.J., and S.R. Eddy. 2013. nhmmer: DNA homology search with profile HMMs. *Bioinformatics* 29(19): 2487-2489.

Xi, D., T. Yin, P. Han, X. Yang, M. Zhang, C. Du, H. Zhang, H., and X. Liu. 2023. Genome-wide identification of sweet orange *WRKY* transcription factors and analysis of their expression in response to infection by *Penicillium digitatum*. *Current Issues in Molecular Biology* 45(2):2



IDENTIFICACIÓN DE GENES *SIX* Y EFECTORES DE PATOGENICIDAD POTENCIALES EN EL GENOMA DE *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*

Felipe Roberto Flores de la Rosa^{211*}, Maritza Marcelo de los Santos²¹², Cristian Matilde Hernández²¹¹, Humberto Estrella Maldonado²¹¹, Jacel Adame García²¹² y Ricardo Santillán Mendoza^{211*}

Resumen

La vainilla es un cultivo con mucha importancia sociocultural para Veracruz. Sin embargo, su producción se ve amenazada por diferentes enfermedades fúngicas, entre la que destaca la pudrición de raíz y tallo, causada por el hongo *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*. Esta especie se caracteriza por la presencia de genes de la familia *SIX*, los cuales otorgan la especificidad al hospedante y, por tanto, generan las diferentes formas especiales. Sin embargo, a la fecha no se han realizado estudios genómicos que demuestren cuáles genes *SIX* se encuentran presentes en *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*, así como qué otros efectores podrían estar presentes en el genoma de esta forma especial. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue determinar la presencia de los genes *SIX* y otros efectores potenciales en el genoma de tres hongos asociados a la pudrición de raíz y tallo, dos patogénicas y una no patogénica, mediante diferentes herramientas bioinformáticas. Se utilizaron los genomas previamente secuenciados y ensamblados por nuestro equipo de trabajo, los cuales contienen el proteoma *in silico* de los genes condificantes de proteínas. Mediante un análisis BLASTp se determinó la presencia de los 14 genes *SIX*. Posteriormente, se utilizó el software SignalP 6.0 para determinar cuáles de estas proteínas contienen un péptido señal, las proteínas seleccionadas fueron analizadas para determinar si contienen las características de efectores de patogenicidad mediante el software EffectorP 3.0. Las proteínas que resultaron ser potenciales efectores de patogenicidad fueron comparadas contra la base de datos del NCBI para determinar si han sido reportadas en otras especies fúngicas. Se determinó que en los tres genomas en estudio presentaron solo la secuencia del gen *SIX9*, el cual no presenta ningún tipo de variación entre las cepas, es decir, en el nivel de virulencia en la vainilla. Los otros 13 genes *SIX* no fueron identificados en ninguno de los genomas, lo cual se discute con base en el nivel de

²¹¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRGOC. C.E. Ixtacuaco. *Autor para correspondencia: flores.felipe@inifap.gob.mx; santillan.ricardo@inifap.gob.mx

²¹² TecNM campus Ursulo Galván extensión Tlapacoyan.



domesticación de la vainilla. Además, se identificaron al menos 30 proteínas en el proteoma *in silico* de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41 que cumplen con las características para fungir como efectores de patogenicidad.

Palabras clave: susceptibilidad activada por efectores, fusariosis, pudrición de raíz

Introducción

La vainilla es una orquídea hemiepífita de la cual se obtiene la vainillina, extracto aromático, saborizante y fármaco de alto valor comercial a nivel mundial (Arya *et al.*, 2021). Sin embargo, su producción a nivel global se ve seriamente amenazada por enfermedades fúngicas, entre las que destaca la pudrición de tallo y raíz, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* (Pinaría *et al.*, 2010; Adame-García *et al.*, 2015). Esta enfermedad se presenta en zonas con exceso de sombra y humedad (Hernández-Hernández, 2019).

Esta forma especial (*forma specialis*) es una de las menos estudiadas de las más de 100 formas especiales actualmente reconocidas para el hongo fitopatógeno *F. oxysporum* (Edel-Hermann y Lecomte, 2019). Sin embargo, se ha determinado que, durante la infección en las raíces de la vainilla, el hongo no logra traspasar las primeras capas de la misma, por lo cual se ha propuesto que el nombre de la forma especial sea *F. oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae*, como indicativo de que es un patógeno restringido a la raíz y no al sistema vascular de la planta (Koyyappurath *et al.*, 2015), mientras que reportes más recientes sugieren que hay cepas que sí pueden penetrar el sistema vascular (Quirino-Vaillarreal *et al.*, 2023). Además, se ha documentado que la infección produce una reprogramación de la regulación transcripcional en etapas tempranas (Solano-de la Cruz *et al.*, 2019).

Lo antes mencionado demuestra que la infección por *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* altera el funcionamiento celular de la vainilla, lo cual podría estar mediado por efectores de patogenicidad (Zuriegat *et al.*, 2021). Estos péptidos o proteínas interfieren con los mecanismos de defensa de la planta, rompiendo la inmunidad y generando susceptibilidad que permite el establecimiento de la enfermedad (Todd *et al.*, 2023). En *F. oxysporum* se han identificado a la familia de los genes *SIX* (*Secreted In Xylem*) como los principales efectores de patogenicidad que permiten el establecimiento



de fusariosis en más de 100 cultivos agrícolas (Edel-Hermann y Lecomte, 2019), además de que generan una alta especificidad hacia el hospedante (Jangir *et al.*, 2021).

A pesar de la importancia que los efectores de patogenicidad tienen en el establecimiento de la enfermedad, a la fecha no se ha descrito la presencia de genes *SIX* u otros efectores en *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar la presencia de los genes *SIX* descritos para otras formas especiales, así como identificar otros genes potenciales efectores de patogenicidad en el genoma de tres cepas de *F. oxysporum* con diferentes niveles de virulencia hacia la vainilla.

Materiales y Métodos

Genomas de *F. oxysporum* asociados a la pudrición de raíz en vainilla

Se utilizaron los genomas de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* cepas IXF41 y IXF50, así como la cepa endófito no patógena *F. oxysporum* IXF53 secuenciadas y ensambladas previamente por nuestro equipo de trabajo (Santillán-Mendoza *et al.*, 2023).

Búsqueda de genes *SIX* en los genomas IXF41, IXF50 y IXF53

Se recuperaron las secuencias de los genes *SIX1* al *SIX14* provenientes de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* 4287, con las cuales se realizó una búsqueda mediante BLAST local en cada uno de los genomas en estudio. Se recuperó la secuencia obtenida y se realizó un alineamiento para determinar el nivel de similitud entre las secuencias. Asimismo, se realizó una matriz de presencia/ausencia de cada gen para cada una de las cepas.

Determinación de potenciales efectores de patogenicidad en el genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41

Se utilizó el proteoma anotado para cada uno de los genomas en estudio. En primer lugar, se identificaron proteínas que contuviera un péptido señal, para lo cual se utilizó el software SignalP 6.0 (<https://services.healthtech.dtu.dk/services/SignalP-6.0/>) (Teufel *et al.*, 2022). Se determinó la probabilidad de que las proteínas que mostraron un péptido señal tengan el potencial de actuar como un efector de patogenicidad, esto se determinó mediante el software EffectorP 3.0 (<https://effectorp.csiro.au/>) (Sperschneider y Dodds, 2022).



Caracterización de los efectores de patogenicidad identificados

Se determinó la identidad de las proteínas identificadas como efectores de patogenicidad mediante un análisis BLASTp (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PAGE=Proteins>). Se corroboró el porcentaje de similitud y cobertura, así como la especie de referencia con la que se comparó el efector de patogenicidad, se seleccionaron aquellos resultados que tuvieran un E-value $\leq 1e \times 10^{-5}$.

Resultados y Discusión

Identificación de genes *SIX* en el genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae*

Se obtuvieron las secuencias de los 14 genes *SIX* descritos para las diferentes formas especiales de *F. oxysporum*, sin embargo, el análisis BLAST solo permitió identificar el gen *SIX9* en los tres genomas en estudio. El nivel de conservación de este gen es alto, lo que sugiere que la variabilidad de este gen no es la responsable de la diferencia de virulencia de las cepas en estudio, el alineamiento muestra este nivel de conservación (Figura 1). La alta conservación del gen *SIX9* entre cepas de la misma forma especial ha sido reportado previamente (Farah *et al.*, 2021; Jenkins *et al.*, 2021), donde se ha asociado su alta expresión al establecimiento de la enfermedad. Por lo tanto, es necesario analizar la expresión de este gen durante el establecimiento de la pudrición de raíz de vainilla. Además, la presencia de este gen ha sido previamente reportada en cepas habitantes de suelos nunca cultivados (Rocha *et al.*, 2016), lo que coincide con la presencia de este gen en la cepa *F. oxysporum* IXF53, la cual es un endófito no patogénico en vainilla. Estudios futuros ayudarán a determinar si este gen tiene un rol en el establecimiento de la enfermedad de la raíz en vainilla.

El análisis BLAST no permitió detectar ninguno de los otros genes *SIX* reportados para otras formas especiales de *F. oxysporum*. Este resultado es muy relevante ya que, actualmente se considera que son estos genes los que generan la capacidad de infectar a los diferentes cultivos, siendo relacionados directamente con la patogenicidad de las cepas (Batson *et al.*, 2021; Jenkins *et al.*, 2021), incluso se han asociado con la patogenicidad de otras especies de *Fusarium* (Gamboa-Becerra *et al.*, 2021). Por tanto, es inesperado que cepas de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* altamente virulentas como IXF41 o IXF50 no contengan ninguna copia de los genes *SIX1-8* y *SIX10-14*, sumado a la presencia del gen *SIX9* en una cepa endófito no patogénica, la cual no presenta variación a nivel nucleotídico con las cepas virulentas.



Figura 1. Alineamiento múltiple de la secuencia del gen *SIX9* recuperado de las tres cepas en estudio.

La ausencia de los genes *SIX* en cepas de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* podría obedecer a que la vainilla no es un cultivo con un nivel de domesticación alto, es decir, aún no ha pasado por procesos de selección agrícola y mejoramiento tan extensos como otros cultivos tales como el tomate (Klee y Resende, 2020) o el banano (Sardos *et al.*, 2022), para los cuales sus respectivas formas especiales de *F. oxysporum* cuentan con un complejo número y variabilidad de genes *SIX* (Adhikari *et al.*, 2020; Leiva *et al.*, 2022).

Identificación de efectores de patogenicidad potenciales en el genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41

Utilizando la base de datos del proteoma *in silico* de la cepa *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41, cepa altamente virulenta hacia la vainilla (Santillán-Mendoza *et al.*, 2023), se determinó, en primer lugar, el número de proteínas que contienen un péptido señal, análisis que arrojó que al menos 4,037 proteínas presentan un péptido señal Sec/SPI (Teufel *et al.*, 2022). De esas proteínas, 1541 son potenciales efectores, de las cuales 976 son efectores citoplásmicos y 565 son efectores apoplásticos. Sin embargo,



de estos 1541 se comparten 1511 con la cepa *F. oxysporum* IXF53, por lo cual se establece la hipótesis de que estas proteínas no están asociadas a la patogenicidad.

Las 30 proteínas exclusivas de la cepa *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41 fueron sometidas a un análisis BLASTp, esto permitió determinar que solo tres de estas proteínas han sido identificadas y caracterizadas en otros hongos, especialmente especies del género *Fusarium* (Cuadro 1). Por tanto, al menos 27 fueron anotadas como proteínas hipotéticas o proteínas no caracterizadas.

Cuadro 1. Potenciales efectores de patogenicidad identificados en el genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41.

Clave	Anotación	Especie de referencia	Identidad	E-value	Tipo de efector: probabilidad
031028573	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vasinfectum</i>	100%	7ex10 ⁻⁹	Citoplásmico: 0.866
031028110	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i>	94.12%	5ex10 ⁻⁰⁷	Citoplásmico:0845
031028133	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> Fo47	96.59%	9ex10 ⁻⁴⁸	Citoplásmico: 0.843
031028235	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> fo47	100%	4ex10 ⁻¹¹	Citoplásmico:0.723
031028385	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>albendinis</i>	98.35%	5ex10 ⁻¹²⁶	Citoplásmico: 0.733
031028511	Alcohol deshidrogenasa	<i>F. agapanthi</i>	99.37%	5ex10 ⁻¹¹³	Citoplásmico: 0.866
031028573	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vasinfectum</i> 25433	100%	7ex10 ⁻⁰⁹	Citoplásmico: 0.866
031028652	ATPasa tipo P	<i>F. albosuccineum</i>	100%	2ex10 ⁻¹⁴	Apoplásmico: 0.863
031028679	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> fo47	100%	4ex10 ⁻¹⁰²	Citoplásmico: 0.588
031028705	Histone-lysine n-methyltransferase H3 lysine-36 specific	<i>F. pseudocircinatum</i>	100%	4ex10 ⁻⁰⁴	Citoplásmico: 0.696
031028717	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i>	100%	3ex10 ⁻⁰⁶	Citoplásmico: 0.703
031028764	Proteina no caracterizada	<i>F. oxysporum</i> NRRL 32931	94.12%	2Eex10 ⁻⁰⁷	Citoplásmico: 0.823
031028815	Proteina no caracterizada	<i>F. oxysporum</i> NRRL 32931	98.45%	2ex10 ⁻⁸⁶	Citoplásmico: 0.864



Clave	Anotación	Especie de referencia	Identidad	E-value	Tipo de efector: probabilidad
031029844	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i>	100%	6ex10 ⁻¹²	Citoplásmico: 0.796
031029891	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>albendinis</i>	100%	5ex10 ⁻¹⁹	Citoplásmico: 0.799
031030838	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i> 26406	100%	9ex10 ⁻⁰⁹	Citoplásmico: 0.715
031030969	Proteína no caracterizada	<i>F. oxysporum</i> NRRL 32931	100%	7ex10 ⁻²⁵	Citoplásmico: 0.668
031031338	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	100%	2ex10 ⁻¹⁵²	Citoplásmico: 0.803
031031339	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>albedinis</i>	100%	0	Citoplásmico: 0.514
031031355	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i>	100%	6ex10 ⁻⁵¹	Citoplásmico: 0.801
031031367	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-cucumenrium</i>	99.20%	0	Citoplásmico: 0.632
031031373	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i>	100%	0	Citoplásmico: 0.517
031031381	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	99.40%	1ex10 ⁻¹¹⁷	Citoplásmico: 0.641
031031386	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-lycopersici</i>	100%	6ex10 ⁻¹³⁸	Apoplásmico: 0.505
031033296	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> Fo47	100%	7ex10 ⁻⁸⁶	Citoplásmico: 0.643
031036360	Proteína Hipotética	<i>F. xylarioides</i>	100%	2ex10 ⁻⁰⁴	Citoplásmico: 0.724
031038895	Proteína no caracterizada	<i>F. oxysporum</i> NRRL 32931	100%	4eX10 ⁻¹¹	Citoplásmico: 0.551
031043855	Proteína no caracterizada	<i>F. odoratissium</i> NRRL 54006	100%	2eX10 ⁻⁰⁸	Citoplásmico: 0.89
031046407	Proteína no caracterizada	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>albendinis</i>	100%	8ex10 ⁻¹⁰	Citoplásmico: 0.794
031050248	Proteína Hipotética	<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cepae</i>	100%	0	Apoplásmico: 0.735

Los resultados del presente trabajo son el primer análisis realizado en cepas de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* relacionado con la identificación de efectores de patogenicidad, lo cual sienta las bases para



futuros estudios que permitan identificar las bases moleculares de la patogenicidad de esta forma especial en la vainilla y, por ende, comenzar a diseñar estrategias de control genético de la enfermedad.

Conclusiones

El análisis genómico demostró que de los 14 genes *SIX* reportados en la literatura para las diferentes formas especiales de *F. oxysporum*, solo se identificó al gen *SIX9* en las tres cepas en estudio, dos *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* y uno *F. oxysporum* endófito no patogénico, entre los cuales no existe variación en la secuencia de nucleótidos, por lo cual se hipotetiza que no tiene una función en la virulencia de las cepas. Además, se identificaron al menos 30 proteínas en el genoma de *F. oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41 que cumplen con las características para ser efectores de patogenicidad, las cuales requieren ser caracterizadas y evaluadas para comprender su papel en el establecimiento de la pudrición de la raíz de la vainilla.

Agradecimientos

M.M.dlS. agradece la beca otorgada por el Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICyDET) para la realización de su tesis de licenciatura. Se agradece al COVEICyDET por el financiamiento para la realización del proyecto de investigación 15 1755/2021 “Diseño y validación de marcadores moleculares para la detección del agente causal de la Fusariosis en vainilla mediante genómica comparativa”.

Literatura Citada

Adame-García J., R. Rodríguez-Guerra, L.G. Iglesias-Andreu, J.M. Ramos-Prado and M. Luna-Rodríguez. 2015. Molecular identification and pathogenic variation of *Fusarium* species isolated from *Vanilla planifolia* in Papantla Mexico. *Botanical Sciences* 93(3): 669-678.



- Adhikari T.B., A. Gao, T. Ingram and F.J. Louws. 2020. Pathogenomics Characterization of an Emerging Fungal Pathogen, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in Greenhouse Tomato Production Systems. *Frontiers in Microbiology* 27(11): 1995.
- Arya, S.S., J.E. Rookes, D.M. Cahill and S.K. Lenka. 2021. Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Advances in Traditional Medicine* 21: 415-431.
- Batson A.M., L. Fokkens, M. Rep and L.J. du Toit. 2021. Putative Effector Genes Distinguish Two Pathogenicity Groups of *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*. *Molecular Plant Microbe Interactions* 34(2): 141-156.
- Edel-Hermann V. and C. Lecomte. 2019. Current Status of *Fusarium oxysporum* Formae Speciales and Races. *Phytopathology* 109(4): 512-530.
- Farah N., M. Bahrelfi Belaffif, I.N.P. Aryantha and R.R. Esyanti. 2021. *SIX6* Shows High Divergence in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* TR4. *International Journal of Agriculture and Biology* 25: 1331-1338.
- Gamboa-Becerra R., D. López-Lima, L. Villain, J.C. Breitler, G. Carrión and D. Desgarennes. 2021. Molecular and Environmental Triggering Factors of Pathogenicity of *Fusarium oxysporum* and *F. solani* Isolates Involved in the Coffee Corky-Root Disease. *Journal of Fungi* 7(4): 253.
- Hernández-Hernández, J. 2019. Vanilla Diseases. In *Handbook of Vanilla Science and Technology*, 2nd ed.; Havkin-Frenkel, D., Belanger, F.C., Eds.; Wiley-Blackwell Publishing: Oxford, UK; pp. 27-29
- Jangir P., N. Mehra, K. Sharma, N. Singh, M. Rani and R. Kapoor. 2021. Secreted in Xylem Genes: Drivers of Host Adaptation in *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Plant Sciences* 12:628611.



- Jenkins, S., A. Taylor, A.C. Jackson, A.D. Armitage, H.J. Bates, A. Mead, et al. 2021. Identification and expression of secreted in xylem pathogenicity genes in *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. *Frontiers in Microbiology* 12: 593140.
- Klee H.J. and M.F.R. Resende Jr. 2020. Plant Domestication: Reconstructing the Route to Modern Tomatoes. *Current Biology* 30(8): 359-361.
- Koyyappurath S., T. Atuahiva, R. Le Guen, H. Batina, S. Le Squin, N. Gautheron, V. Edel Hermann, J. Peribe, M. Jahiel, C. Steinberg, E. C. Y. Liew, C. Alabouvette, P. Besse, M. Dron, I. Sache, V. Laval, M. Grisoni. 2015. *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-vanillae* is the causal agent of root and stem rot of vanilla. *Plant Pathology* 65(4): 612-625.
- Leiva A.M., M. Rouard, D. López-Álvarez, A. Cenci, C. Breton, R. Acuña, J.C. Rojas, M. Dita and W.J. Cuellar. 2022. Draft genome sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 from Peru, obtained by nanopore and illumina hybrid assembly. *Microbiology* 11(9): 1-4.
- Pinaria A.G., E.C.Y. Liew and Burgess L.W. 2010. *Fusarium* species associated with vanilla stem rot in Indonesia. *Australasian Plant Pathology* 39: 176-183.
- Quirino-Villarreal A., M. Ramírez-Vázquez, O.E. Velázquez-López, A. Rivera-Fernández, M. Luna-Rodríguez. 2023. Protocol for histological analysis of the interaction *Vanilla planifolia*-*Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *Revista Bionatura* 8(1): 9.
- Rocha L.O., M. H. Laurence, V. A. Ludowici, V. I. Puno, C. C. Lim, L. A. Tesoriero, B. A. Summerell and E.C.Y. Liew. 2016. Putative effector genes detected in *Fusarium oxysporum* from natural ecosystems of Australia. *Plant Pathology* 65(6): 914-929.
- Santillán-Mendoza R., H. J. Estrella-Maldonado, C. Matilde-Hernández, M. Luna-Rodríguez, C. G. Rodríguez-Quibrera, C. González-Cruz, M. Torres-Olaya and F. R. Flores-de la Rosa. 2023. Genome sequencer resource of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae* IXF41 and IXF50 alongside the endophyte *F. oxysporum* IXF53, isolated from vanilla root rot. *Plant Disease* 107: 899-902.



- Sardos J., C. Breton, X. Perrier, I. Van den Houwe, S. Carpentier, J. Paofa, *et al.* 2022. Hybridization, missing wild ancestors and the domestication of cultivated diploid bananas. *Frontiers in Plant Sciences* 13: 969220.
- Solano-De la Cruz M.T., J. Adame-García, J. Gregorio-Jorge, V. Jiménez-Jacinto, L. Vega-Alvarado, L. Georgina Iglesias-Andreu, E. E. Escobar-Hernández and M. Luna-Rodríguez. 2019. Functional categorization of de novo transcriptome assembly of *Vanilla planifolia* Jacks. potentially points to a translational regulation during early stages of infection by *Fusarium oxysporum* f. sp. *vanillae*. *BMC Genomics* 20: 826.
- Sperschneider J. and P.N. Dodds. 2022. EffectorP 3.0: Prediction of Apoplastic and Cytoplasmic Effectors in Fungi and Oomycetes. *Molecular Plant Microbe Interactions* 35(2): 146-156.
- Teufel F., J. J. Almagro-Armenteros, A. Rosenberg-Johansen, M. Halldór-Gíslason, S. I. Pihl, K. D. Tsirigos, O. Winther, S. Brunak, G. von Heijne and H. Nielsen. 2022. SignalP 6.0 predicts all five types of signal peptides using protein language models. *Nature Biotechnology* 40: 1023-1025.
- Todd J.N.A., K. G. Carreón-Anguiano, O. J. Couoh-Dzul, C. de los Santos-Briones y B. Canto-Canché. 2023. Efectores: actores claves en la fitopatología. *Revista Mexicana de Fitopatología* 41(2): 203 – 228.
- Zuriegat Q., Y. Zheng, H.Liu, Z. Wang and Y. Yun. 2021. Current progress on pathogenicity-related transcription factors in *Fusarium oxysporum*. *Molecular Plant Pathology* 22(7): 882-895.



EFFECTO DEL CERIO Y SU POLÍMERO DE COORDINACIÓN EN LA MICROPROPAGACIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

Karla Yunuen Trueba Sánchez²¹³, Rodolfo Peña Rodríguez²¹³, Raúl Colorado Peralta²¹³, María Teresa González Arnao²¹³, Rosalía Núñez Pastrana²¹⁴ y Carlos Alberto Cruz Cruz^{213*}

Resumen

El cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) posee una gran importancia en la industria a nivel mundial. México es uno de los países principales en producción de caña de azúcar y de forma interna su mayor proveedor es el estado de Veracruz. Los bioestimulantes son sustancias utilizadas para promover el crecimiento y mejorar la absorción de nutrientes en las plantas, en la clasificación de bioestimulantes inorgánicos encontramos a los lantánidos, los cuales presentan un efecto hormético. Una herramienta prometedora para su aplicación son los polímeros de coordinación (CP), de los cuales se ha reportado su uso en cultivos de invernadero. Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del cloruro de cerio heptahidratado ($\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y su polímero de coordinación de cerio (Ce-CP) en el cultivo *in vitro* de caña de azúcar sobre parámetros morfológicos (número de brotes, capacidad formadora de brotes, elongación de los brotes y elongación radical) y bioquímicos (contenido de clorofilas). La estrategia de trabajo consistió en la propagación *in vitro* de *S. officinarum* L. con la adición de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y del Ce-CP en diferentes concentraciones (0, 12.5, 25, 50 y 100 μM). Los datos obtenidos se procesaron en el software estadístico Minitab mediante un análisis de varianza y la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey $p \leq 0.5$. Los resultados de la adición de 50 y 100 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP mostraron ser tóxicos en las plántulas *in vitro* de *S. officinarum* L. Mientras que la adición del Ce-CP a la concentración de 25 μM mostró el mayor número de nuevos brotes, la mayor capacidad formadora de brotes, el mayor crecimiento longitudinal y el mayor contenido de clorofila a. Por su parte, el tratamiento a 12.5 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ presentó la mayor cantidad de clorofilas b y totales. Finalmente, la adición del $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en el cultivo *in vitro* de *S. officinarum* L. mostrará un efecto hormético.

²¹³ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Prolongación de Oriente 6 # 1009, Orizaba 94340, Veracruz, México.

²¹⁴ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Amatlán de los Reyes 94945, Veracruz, México. *Autor por correspondencia: calcruz@uv.mx



Palabras clave: *Saccharum officinarum* L., cultivo de tejidos vegetales, lantánidos

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), perteneciente a la familia de las gramíneas, es uno de los cultivos de la industria alimentaria más importantes económicamente a nivel mundial y también ha adquirido un valor particular para la producción de biocombustibles como el bioetanol. México ocupa el sexto lugar en producción de caña a nivel mundial, y de forma interna su principal productor es el estado de Veracruz, contando con 18 de los 51 ingenios nacionales y siendo este el segundo cultivo más importante después del maíz, ocupando hasta un 70% de la siembra en cultivos mexicanos (Carrillo *et al.*, 2018; CONADESUCA, 2019; Reyes, 2021). Los bioestimulantes vegetales son implementados para promover el crecimiento y mejor aprovechamiento de nutrientes en las plantas, así como fomentar la tolerancia al estrés abiótico y la calidad del cultivo, su aplicación puede ser de forma foliar o a su rizosfera, clasificándose por las reacciones que producen, algunos de estos son polímeros orgánicos siendo los principales la quitina y su derivado el quitosano. Así mismo, se encuentran bioestimulantes de origen inorgánico, como el aluminio, cobalto, sodio, selenio, silicio y algunos lantánidos (Du Jardin, 2015; EBIC, 2019). Al ser un cultivo de alto interés se buscan nuevas estrategias y materiales para obtener mejores resultados aumentando su productividad y disminuyendo costos de producción. Un lantánido prometedor es el cerio (Ce), el cual manifiesta un efecto hormético, el cual se refiere al estímulo del crecimiento y desarrollo de las plantas a dosis bajas mientras que a dosis elevadas resulta dañino (Castañeda *et al.*, 2014; Bityutskyy *et al.*, 2017; Ramírez *et al.*, 2018). Adicionalmente, el uso de polímeros de coordinación en plantas de manera *ex vitro* ha sido reportado, los cuales se utilizan como transportadores conteniendo a los nutrientes en el centro y liberándolos dentro del organismo (Richardson & Liang, 2017; Liang *et al.*, 2020; Zhou *et al.*, 2022). Estas estructuras pueden ser diseñadas y adaptadas según las necesidades específicas del uso para el cual se requieran (Gauna *et al.*, 2014; Usman *et al.*, 2018). Considerando que el cultivo de tejidos vegetales es una herramienta que permite la obtención de plántulas clones de una planta madre y que se cuenta con técnicas de micropropagación en condiciones óptimas, se pueden evaluar materiales novedosos que favorecen el desarrollo del cultivo logrando mejorías, reduciendo tiempos de prueba y espacios (Bhojwani y Dantu, 2013). Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo la evaluación del



efecto del cerio y su polímero de coordinación en el cultivo *in vitro* de caña de azúcar (*S. officinarum* L.).

Materiales y Métodos

Lugar de trabajo

El proyecto se llevó a cabo en los Laboratorios de Docencia, Investigación y Servicios (LADISER) sede del UV-CA-249 de la Facultad de Ciencias Químicas.

Material vegetal

Las vitroplantas de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) cv. Mx 69-290 que se utilizaron forman parte de la colección de LADISER proveniente de Biotecnología y Criobiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, Ver. Este material se propagó masivamente para ser utilizado en los ensayos a diversas concentraciones de cloruro de cerio heptahidratado ($\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y el polímero de coordinación de cerio (Ce-CP).

Estructura Metal-Orgánica: Polímeros de coordinación

El polímero metal orgánico fue sintetizado en el laboratorio 103 LADISER Química Orgánica y Biotecnología. La síntesis del polímero de coordinación de cerio se realizó con pequeñas modificaciones de la técnica publicada por Daiguebonne *et al.*, (2008) el cual consiste en una reacción estequiométrica del cloruro de cerio en agua con la sal de tereftalato de sodio. La metodología consiste en la preparación de la sal de ácido tereftálico adicionando dos equivalentes de hidróxido de sodio (NaOH) al 97% a una suspensión de ácido tereftálico en agua tridestilada dejándose agitar por una hora y se lleva a evaporación a 80°C. Se dejó la mezcla en metanol al 100% por 24 horas, se filtró el precipitado y se recolectó para obtener la sal de tereftalato, posteriormente se tomaron 0.2013 g de sal de tereftalato y 0.3571 g de cloruro de cerio y se disolvieron por separado. Una vez disueltos cada uno de los componentes se mezclaron las soluciones y se dejaron en agitación por 1.5 h. Finalmente, se filtró el precipitado y se recolectó para obtener el polímero de coordinación de cerio. Con la obtención del polímero de coordinación se realizó su análisis cualitativo espectrofotométrico de infrarrojo con transformada de Fourier en el equipo PerkinElmer® Spectrum 100 FT-IR Spectrometer.



Medio de cultivo

Las plántulas de *S. officinarum* L. cv. MX 69-290 fueron micropropagados *in vitro* en medio de cultivo Murashige y Skoog (1962) semisólido, suplementado con 0.1 mg/L de 6-bencil amino purina (BAP), 1 mg/L de kinetina (KIN), 0.5 mg/L de ácido indolacético (AIA), 20 g/L de sacarosa. El pH se ajustó a 5.7, posterior a esto se utilizaron frascos de 500 mL con 18 mL del medio y se llevó a esterilización a 121°C durante 15 min en autoclave.

Las plántulas de *S. officinarum* L. cv. MX 69-290 fueron propagados *in vitro* con diferentes concentraciones de cerio, siendo estas 0, 12.5, 25, 50 y 100 µM/L, esto con base al cloruro de cerio y su polímero de coordinación, de cada uno de los tratamientos utilizando tres réplicas del experimento completo.

Al término de 30 días posteriores a la incubación de las plántulas de *S. officinarum* L. en los diferentes tratamientos de cerio se procedió a la evaluación de los parámetros morfológicos: número de brotes, Capacidad Formadora de Brotes (CFB), longitud apical y elongación radial.

Evaluación de la Capacidad Formadora de Brotes (CFB)

Para la CFB se utilizó la ecuación 1, tomando como valores el promedio de brotes por explante y el porcentaje de explantes con presencia de brotes, esto con el fin de determinar la eficiencia de la técnica de micropropagación en medio MS inmersión parcial (medio líquido).

$$CFB = \frac{(\text{Promedio de brotes por explante})(\% \text{ de explantes con brotes})}{100} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Cuantificación de las clorofilas

Para la cuantificación de clorofilas se determinó siguiendo la metodología propuesta por Harborne (1973) por lo que, para cada muestra se maceró 100 mg de materia fresca con acetona al 80% y se colocaron en un frasco ámbar aforado a 10 mL y se dejó reposar por 24 horas a 4°C. Pasadas las 24 horas las muestras se filtraron con papel filtro Whatman No. 1 ajustando el volumen final a 20 mL con acetona al 80%. Se utilizaron 2.5 mL para la muestra de absorbancia en el espectrofotómetro Genesys™ 10S UV-Vis Spectrophotometer, midiendo la absorbancia en 663 y 645 nm que corresponde a clorofila a y b, respectivamente, utilizando acetona al 80% como nuestro blanco. La cuantificación se realizó haciendo uso de las ecuaciones 2 a 4.

$$\text{Clorofila a} = \frac{[(12.7)(A_{663}) - (2.69)(A_{645})]V}{1000W} \quad \text{Ecuación 2.}$$



Ecuación 3.

$$\text{Clorofila b} = \frac{[(22.9)(A_{645}) - (4.68)(A_{663})]V}{1000W}$$

Ecuación 4.

$$\text{Clorofila total} = \frac{[(20.2)(A_{645}) - (8.2)(A_{663})]V}{1000W}$$

Dónde:

A_{663} y A_{645} = Absorbancia en nm, V = Volumen final del extracto en mL, W = Peso fresco de muestra en gramos, 1000 = Factor de conversión.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software (Minitab versión 21). Los resultados se presentan como medias (\pm DS) y para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó un análisis de varianza y para la comparación de medias se utilizó la prueba Tukey $p \leq 0.05$. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento.

Resultados y Discusión

Síntesis del polímero de coordinación de cerio

Se obtuvo un rendimiento del 73.4% de la sal de tereftalato de disodio y 0.2411 g del Ce-CP. Daiguebonne *et al.*, (2008) reportan un rendimiento del 100%, esto se puede deber a la manipulación con la que se llevó a cabo la recolección, además de que el polímero obtenido puede tener alteraciones en su estructura, ya que, aunque se utilicen las mismas soluciones de partida, los cambios en la técnica como dejar una reacción por más tiempo, modificar la temperatura o llevar el proceso a una escala mayor, las interacciones moleculares producidas dan como resultado diferentes estructuras; así mismo los lantánidos poseen un alto número de coordinación y una geometría flexible lo que dificulta el control en la preparación de sus polímeros (Stock y Biswas, 2012; Muniz *et al.*, 2017).

El análisis espectrofotométrico de infrarrojo por transformada de Fourier del Ce-CP (Figura 1), mostró ausencia de la banda ancha entre 3200-3000/cm, característica de los ligantes protonados derivados de los ácidos carboxílicos (ácido tereftálico). Adicionalmente, se observaron las bandas entre 1610-1500/cm, características de los dobles enlaces C=C de los anillos aromáticos, así como la presencia de la banda C=O entre 1715-1680/cm correspondientes a los enlaces carbonilos. Lo anterior, es característicos de la coordinación del grupo carboxilato con el centro metálico de Ce^{3+} .

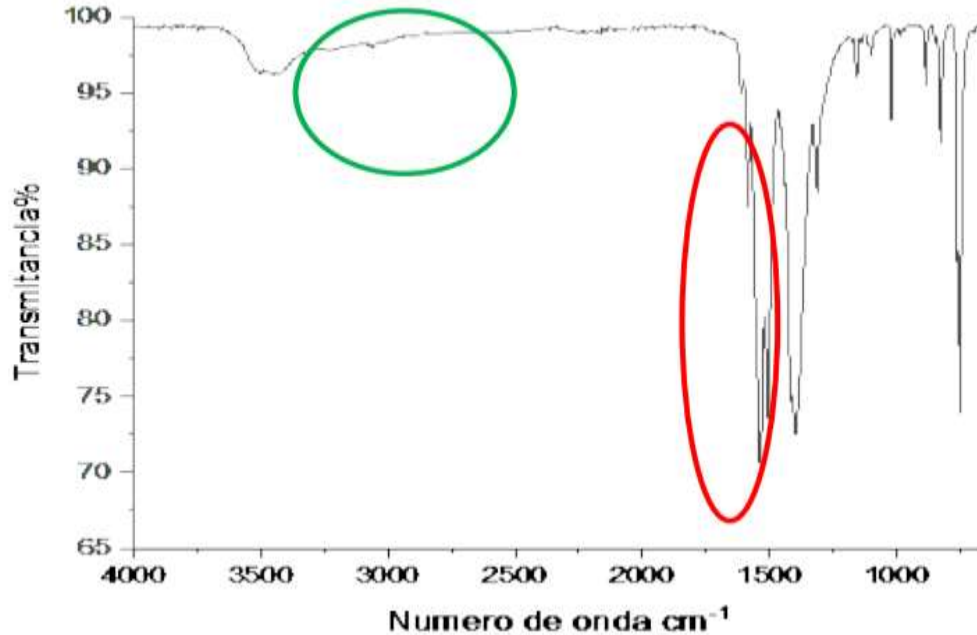


Figura 9. Espectrofotometría FT-IR del Ce-CP mostrando bandas correspondientes a dobles enlaces aromáticos entre 1600-1500/cm, en color rojo, y la ausencia de bandas entre 3200-3000/cm, mostrado en verde, características de ligantes ácidos protonados y la presencia de carbonilos entre 1715-1680/cm

Efecto del cerio y su polímero de coordinación en la supervivencia de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

En las Figura 2, se observa el efecto que tienen el $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y el Ce-CP sobre las plántulas de caña de azúcar *in vitro* a los 30 días de su incubación. Las concentraciones de 12.5 μM de Ce-CP y $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mostraron un 100% de supervivencia, mientras que con la concentración de 25 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ se observaron síntomas de toxicidad lo que no ocurrió a la misma concentración del Ce-CP, esto debido a la mayor disponibilidad de Ce en el cloruro, la cual al ser ligado con el polímero este disminuye. Las concentraciones de 50 y 100 μM evaluadas tanto en $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP fueron tóxicas. Las concentraciones de 12.5 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP, así como la concentración de 25 μM de Ce-CP no fueron similares al testigo, mientras que la concentración de 25 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ fue diferente a este (Figura 2).

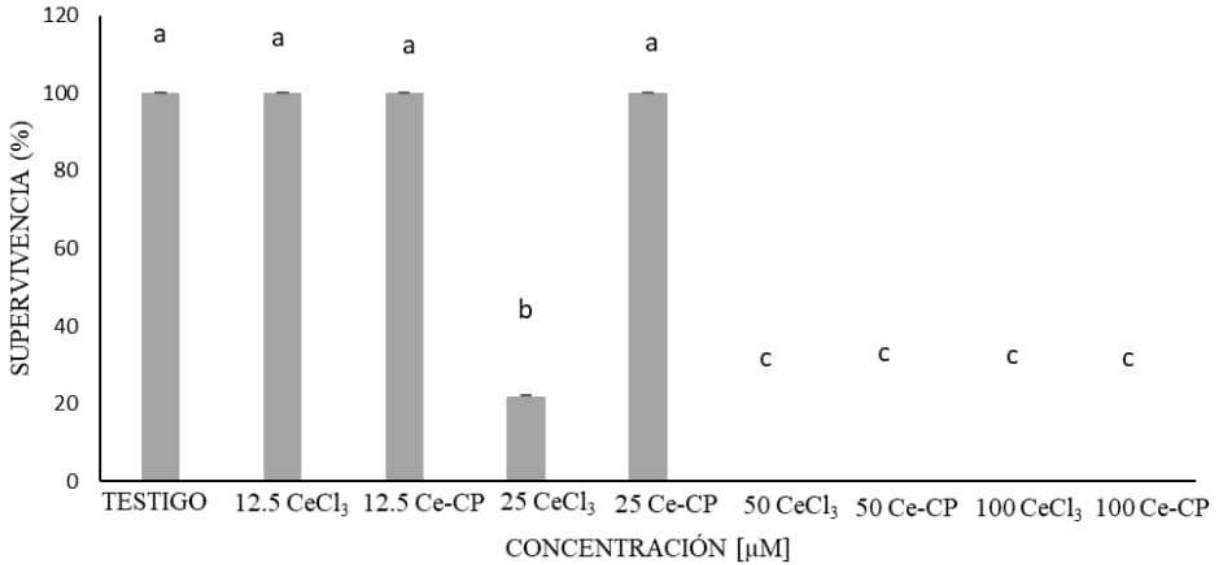


Figura 10. Efecto de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en la supervivencia de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) a 30 días de tratamiento. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Efecto del cerio y su polímero de coordinación en el número de brotes de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

El mayor número de brotes, 6.667 ± 0.553 , se observó a la concentración de a 25 µM del Ce-CP similar al testigo con 5.11 ± 0.351 . Adicionalmente, se observó el efecto negativo a la concentración de 25 µM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, siendo estadísticamente diferente al resto de los tratamientos (Figura 3).

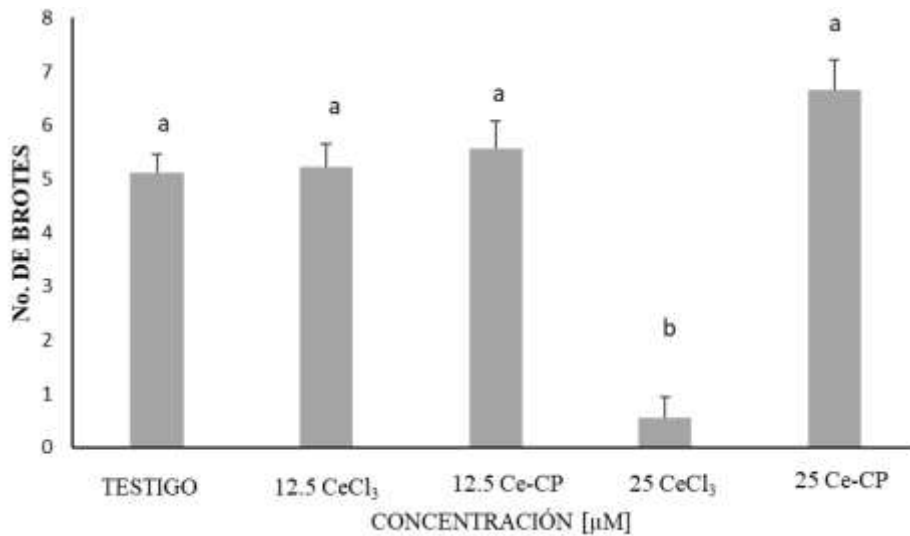


Figura 11. Efecto de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en el número de brotes de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) a 30 días de tratamiento. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).



Efecto del cerio y su polímero de coordinación en la Capacidad Formadora de Brotes (CFB) de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

La mayor Capacidad Formadora de Brotes (3.33 ± 0.276) se observó a la concentración de $25 \mu\text{M}$ del Ce-CP (Cuadro 1) similar a lo observado con los tratamientos de $12.5 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y de Ce-CP con 2.611 ± 0.217 y 2.778 ± 0.265 , respectivamente y el testigo (2.556 ± 0.176). El tratamiento de $25 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mostró los valores más bajos de CFB de 0.278 ± 0.188 . Lo anterior, coincide con lo reportado en plantas de arroz donde concentraciones de entre 8 y $12 \mu\text{M}$ Ce presentan un efecto estimulante, incrementando la germinación *in vitro* de las semillas, así como su crecimiento y producción de biomasa en etapas tempranas (Ramírez *et al.*, 2018). Adicionalmente, en plantas de maíz la aplicación de Ce en suelo a una concentración de 57.39 mg/dm mostró un efecto benéfico sobre los brotes de la misma con un 38% más de peso seco de estos en contraste con el testigo (Ferreira *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Efecto del $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y su polímero de coordinación (Ce-CP) en la capacidad formadora de brotes (CFB) de *S. officinarum* L.

Tratamiento	CFB
Testigo	2.556 ± 0.176 a*
$\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $12.5 \mu\text{M}$	2.611 ± 0.217 a
Ce-CP $12.5 \mu\text{M}$	2.778 ± 0.265 a
$\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $25 \mu\text{M}$	0.278 ± 0.188 b
Ce-CP $25 \mu\text{M}$	3.333 ± 0.276 a

*Valores con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Efecto del cerio y su polímero de coordinación en la longitud apical de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

El tratamiento de $25 \mu\text{M}$ del Ce-CP tuvo la mayor longitud observada de 17.44 ± 3.02 cm, la cual fue superior al testigo (7.678 ± 0.581 cm), mientras que la menor longitud se observó a la concentración de $25 \mu\text{M}$ $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ con 1.66 ± 1.11 cm (Figura 4), esto nuevamente debido a la mayor disponibilidad de Ce en el cloruro, la cual al ser ligado con el polímero este disminuye. El efecto bioestimulante observado a la concentración de $25 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ difiere con lo reportado por Gómez-Navor



(2020), en donde la adición de CeCl_3 ($5 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en condiciones de invernadero, mostró tener efectos positivos en parámetros de crecimiento, así como en la estimulación de la brotación y floración temprana de *Tulipa gesneriana* L. Sin embargo, este efecto es dependiente de la etapa de crecimiento en que se encuentre la planta, ya que al utilizar esta misma concentración 40 d después de la plantación no mostró beneficios. Este efecto también fue reportado en plantas de arroz en un sistema hidropónico, Ramírez *et al.*, 2018 indicaron que los brotes presentaban su mayor altura con la concentración de $25 \mu\text{M}$ similar al testigo.

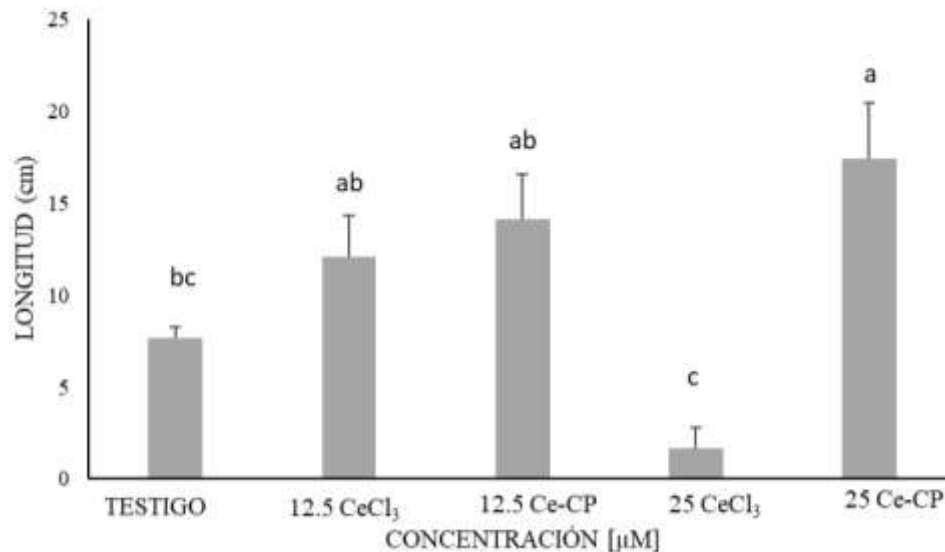


Figura 12. Efecto de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en la longitud apical de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) a 30 días de tratamiento. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

Efecto del cerio y su polímero de coordinación en la elongación radical de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

Los tratamientos de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP no mostraron efectos en la elongación radical de plántulas de caña de azúcar. En Xu *et al.*, (2016) reportan que para las plantas de ajo (*Allium sativum*) el Ce en concentraciones $\geq 100 \mu\text{M}$ inhiben el crecimiento de raíz y causa aberraciones cromosómicas en las puntas de estas. Similares resultados fueron reportados por Wang y Liu (2017) donde la evaluación con $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$ a las concentraciones de 10, 20, 40, 80 y $160 \mu\text{M}$ promovieron una inhibición significativa del crecimiento de las raíces en arroz en comparación al testigo.



Efecto del cerio y su polímero de coordinación en el contenido de clorofilas de plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.)

La Figura 5 muestra que el mayor contenido de clorofila a (1.11 ± 0.082 mg/g PF) se obtuvo en las plántulas que recibieron $25 \mu\text{M}$ de Ce-CP el cual fue mayor que el testigo (0.6175 ± 0.064 mg/g PF). Las concentraciones de $12.5 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP tuvieron un contenido de clorofila similar entre ellos y al testigo con valores de 0.781 ± 0.128 mg/g PF y 0.882 ± 0.151 mg/g PF, respectivamente. El menor contenido de clorofila (0.0841 ± 0.0824 mg/g PF) a se observó en la concentración de $25 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Por su parte, el mayor contenido de clorofila b (0.704 ± 0.14 mg/g PF) se observó con la concentración $12.5 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, el cual similar al control (0.3567 ± 0.0437 mg/g PF) y a los tratamientos del Ce-CP a las concentraciones de 12.5 y $25 \mu\text{M}$ que presentaron valores de 0.649 ± 0.125 y 0.5783 ± 0.0512 mg/g PF, respectivamente. El mayor contenido de clorofilas totales (0.332 ± 0.117 mg/g PF) se observó con el tratamiento de $12.5 \mu\text{M}$ de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ similar al control (0.0937 ± 0.0172 mg/g PF) y al resto de los tratamientos (Figura 5).

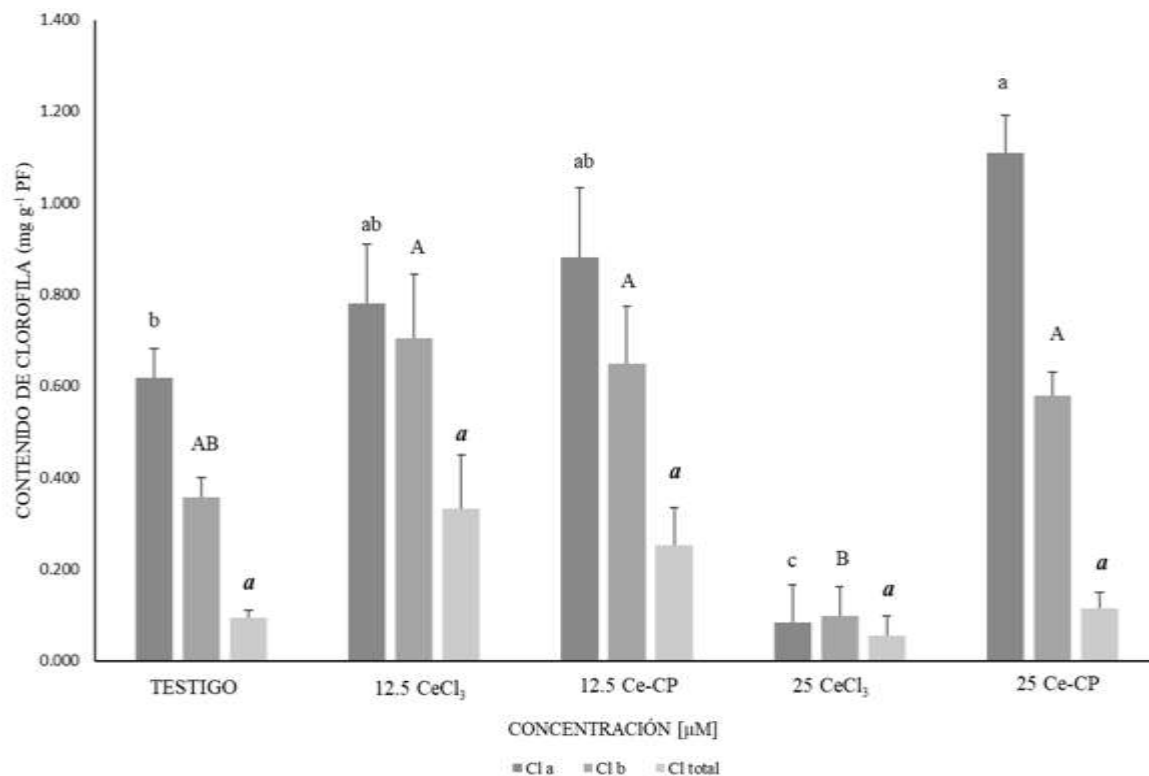


Figura 5. Efecto de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en el contenido de clorofila a, b y total en plántulas de caña de azúcar (*S. officinarum* L.) a 30 días de tratamiento. Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).



Las clorofilas forman parte importante en el proceso de fotosíntesis y su análisis son imperativos para determinar la correlación entre los tratamientos evaluados y los procesos bioquímicos de la planta. Shyam y Avery (2012) reportaron que la aplicación de 17.841 μM de Ce en condiciones de invernadero genera un aumento de clorofilas a, b y totales en *Vigna unguiculata* L. De igual manera, Gómez-Navor (2020), obtuvo aumentos significativos en la planta de tulipán con dosis de 5 y 25 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, lo cual coincide con lo observado en el presente estudio, ya que la concentración de 12.5 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ mostró el mayor contenido de clorofilas b y totales.

Conclusiones

1. El FT-IR del Ce-CP sugiere la formación del polímero de coordinación de cerio. La adición de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP mostró un efecto tóxico a las concentraciones de 50 y 100 μM en plántulas *in vitro* de caña de azúcar.
2. El tratamiento con 25 μM de Ce-CP mostró el mayor número de brotes, la mayor Capacidad Formadora de Brotes, el mayor crecimiento longitudinal y el mayor contenido de clorofila a en las plántulas *in vitro* de caña de azúcar.
3. El tratamiento 12.5 μM de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ presentó la mayor cantidad de clorofilas b y totales.
4. Adicionalmente, la aplicación de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en el cultivo *in vitro* de caña de azúcar mostraron un efecto hormético, es decir, bioestimulante a bajas concentraciones (12.5 y 25 μM) y efecto tóxico a dosis altas (50 y 100 μM). Este trabajo representa el primer reporte de la aplicación de $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y Ce-CP en caña de azúcar (*S. officinarum* L.) en condiciones *in vitro* dando pauta a la optimización en los protocolos utilizados.

Agradecimientos

Al personal del Laboratorio de Docencia, Investigación y Servicios (LADISER) de la Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, de la Universidad Veracruzana.



Literatura Citada

- Bhojwani, S.S. and P.K. Dantu. 2013. Plant tissue culture: an introductory text. Springer. First edition.
- Bityutskyy, V. S., O. S. Tsekhmistrenko, S. I. Tsekhmistrenko, M. Y. Spyvack, y U. M. Shadura. 2017. Perspective of cerium nanoparticle use in agricultura. *The Animal Biology*. 19:9-17.
- Carrillo, B. E. A., M.A. Herrera A., V.M. González M., A. Pereira S., M.A. Keb L., E. Castaño, M.L. Robert and L.C. Rodríguez Z. 2018. Comparison of two different micropropagation systems of *Saccharum officinarum* L. and expression analysis of PIP2 and EIN3 genes as efficiency system indicators. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 136. 10.1007/s11240-018-1508-4.
- Castañeda C. O., F.C. Gómez M., L.I. Trejo T., V. Morales R., M.T. González A., Y.M. Martínez O. 2014. Aplicaciones del cultivo de tejidos vegetales en caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agro productividad* 7:16-21.
- CONADESUCA (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar). 2019. Avance de la producción de caña y azúcar (infocaña) - Información estadística de los principales indicadores de producción de la zafra 2018-2019.
- Daguebonne, C., N. Kerbellec, O. Guillou, J. Bunzil, G. Gummy, L. Catala. 2008. Structural and luminescent properties of micro and nanosized particles of lanthanide terephthalate coordination polymers. *Inorganic Chemist*, 47, 3700-3708.
- Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196 (2015) 3-14.
- EBIC (European Biostimulants Industry Council). 2019. Secure & develop a single market in EU for biostimulants.



- Ferreira V. L. A., S. J. Ramos, M. A. Carbone C., V. Faquin, L. R. Guimães G, and J. O. Siquiera. 2018. Cerium (Ce) and Lanthanum (La) promoted plant growth and mycorrhizal colonization of maize in tropical soil. *Australian Journal of Crop Science*. 12 (05): 704-710.
- Gauna, P.S., M. L. Kim, I. O. Fábregas, y E. H. Otal. 2014. Síntesis de metal organic frameworks para aplicaciones tecnológicas. *In: Congreso Argentino de Ingeniería Industrial*. Puerto Madryn, Argentina.
- Gómez N. T. 2020. Cerio en la producción y calidad poscosecha de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Edo. de México.
- Harborne, J. B. 1973. Phenolic compounds. In *Phytochemical methods*. Springer Netherlands. pp. 33-80.
- Muniz, C.N., H. Patel, D. B. Fast, E. W. Rohwer, E. S. Lauren, M. C. Reinheimer. 2017. Rare Earth Niobate Coordination Polymers. *Journal of Solid State Chemistry* 2017.12.034.
- Ramírez O. S. M., L. I. Trejo T., S. García M., J. A Pérez S. y F. C. Gómez M. 2018. Cerium enhances germination, shoot growth, and alters mineral nutrient concentration in rice. *PloS one*, 13(3), e0194691.
- Reyes, E. J. 2021. Micropropagación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.): Revisión de literatura.
- Shyam, R., and N. C. Aery. 2012. Effect of cerium on growth, dry matter production, biochemical constituents and enzymatic activities of cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*.12 (1), 1-14.
- Stock, N. and S. Biswas. 2012. Synthesis of metal-organic frameworks (MOFs): routes to various MOF topologies, morphologies, and composites. *Chemical Reviews*, 933-965.



Usman, K. A. S., S.C. Buenviaje Jr., Y. de G. Edañol, M. T. Conato, and L. M. Payawan Jr. 2018. Facile Fabrication of a Potential Slow-Release Fertilizer Based on Oxalate-Phosphate-Amine Metal-Organic Frameworks (OPA-MOFs). *Materials Science Forum*, 936, 14-19.

Wang, X., and D. Liu. 2017. Integration of cerium chemical forms and subcellular distribution to understand cerium tolerance mechanism in the rice seedlings. *Environ Sci Pollut Res* 24.

Xu, Q.M., Y. Z. Wang, H. Liu, and J. S. Cheng. 2016. Physiological responses and chromosomal aberration in root tip cells of *Allium savitum* L. to cerium treatments. *Plant and Soil*.



SELECCION MASAL VISUAL ESTRATIFICADA EN UNA POBLACIÓN DE MAÍZ NATIVO BAJO MANEJO DE TRANSICIÓN AGROECOLÓGICO

Enedina Sánchez González²¹⁵, Isaac Meneses Márquez^{216*}, Eloy Meneses Márquez²¹⁵, Juan Manuel García Toral²¹⁵, Santiago Domínguez Monge²¹⁷ y Rosi Edith Santes Olmedo²¹⁵

Resumen

El objetivo de este trabajo es determinar la ganancia genética en características de mazorca y semilla al realizar la selección masal visual estratificada en una población de maíz nativo, Este trabajo se llevó a cabo en la Escuela de Campo (ECA) No. 02 de la localidad de Ojite de Matamoros, del municipio de Coxquihui, Veracruz, durante los ciclos otoño-invierno 2021/22, primavera-verano 2022 y otoño-invierno 2022/23, en la parcela del productor innovador participante en el Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura (SADER) en el marco de la Estrategia de Acompañamiento Técnico. Actualmente se han realizado tres ciclos de selección masal visual estratificada bajo un manejo del cultivo que consistió en un paquete de transición agroecológico. La información que se presenta integra conjuntamente todos los componentes tecnológicos y la implementación del proceso de mejoramiento genético mediante la selección masal visual estratificada en la población de maíz nativo de amplia base genética, dando resultados favorables en los caracteres de mayor impacto en el rendimiento del cultivo. Producto del mejoramiento genético se han presentado cambios favorables para la longitud y diámetro de mazorca, esto se demuestra cuando la ecuación de regresión reporta el valor de ganancia de la selección por cada ciclo de 1.06 y 0.69, respectivamente. La ganancia genética por cada ciclo de selección para la variable semilla útil por mazorca ha sido de 8.61 unidades, se inició con 158 g de semilla en cada mazorca en la población sin mejoramiento, actualmente se logran hasta 192 g. Así mismo, la selección permitió disminuir el peso de semilla de los extremos de la mazorca en aproximadamente 11.3 g por cada ciclo de selección, ya que de iniciar con 82 g de grano que no es apto para semilla, ahora solo se obtienen cerca de 50 g, lo que implica una mejora de 32 g.

²¹⁵ Técnico del Programa Producción para el Bienestar-Región 18. SADER. Correo: sage_011@hotmail.com

²¹⁶ Investigador del Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. *Autor por correspondencia: meneses.isaac@inifap.gob.mx

²¹⁷ Investigador del Campo Experimental Ixtacuaco-INIFAP.



Palabras clave: diversidad genética, maíz criollo, avance genético, agricultura ecológica

Introducción

En México el cultivo de maíz es el más importante por la superficie sembrada, el valor de la producción, por ser el alimento de consumo principal de la población y por emplear el 20% de la población económicamente activa; aporta el 59% de la energía y el 39% de la proteína que se consume en nuestro país (Aragón y Espinoza, 2008). Durante el periodo del 2018 al 2021, la producción nacional de maíz equivale a un total de 27.5 millones, con un crecimiento de 1.2% (FAOSTAT, 2023). En la región Golfo Centro del INIFAP que comprende los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco el rendimiento medio es de 1.84 t/ha. Del total de la superficie sembrada, el 80% se siembra durante el ciclo primavera-verano en condiciones de temporal y 20% en el ciclo otoño-invierno en condiciones de tonalmil, que se logra con la humedad residual del temporal y las lluvias ocasionadas por los vientos denominados “nortes”, sobre todo en las regiones norte y sur de Veracruz, oriente de Puebla y todo el estado de Tabasco (Sierra *et al.*, 2012). Estos rendimientos de maíz generalmente se ven afectados por varios factores, entre ellos es el tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo; se ha reportado en la evaluación de materiales maíz que en suelos de la región centro de Veracruz, se logra tener rendimientos de hasta 7 t/ha, mientras que en el sur del estado esto se disminuye hasta 2.7 t/ha (Sierra *et al.*, 2009). No obstante, la media potencial de rendimiento para el estado de Veracruz es de 4.0 t/ha (Cumpian, 2009).

González *et al.*, 2020, señalan que, para mitigar el impacto de la agricultura en el ambiente, se requiere de la aplicación de técnicas agroecológicas, que desarrollen una explotación amigable con el ambiente y donde el proceso de producción de maíz sea estable evitando no ser opuesto al desarrollo sustentable de la producción agrícola; es decir, se busca la optimización del sistema mediante las interacciones de los componentes bióticos y abióticos (Altieri, 1994).

En ese sentido, hay un campo fértil, tanto para implementar estrategias de producción con enfoque de bajo impacto ambiental como la mejora de las poblaciones de maíz nativo, y es en ese sentido que con el mejoramiento genético se busca aprovechar la amplia diversidad genética que está presente en las poblaciones nativas de maíz. Por lo que, considerando que los productores han venido realizando



selección masal de generación en generación, se determinó implementar la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE) de acuerdo a lo propuesto por Reyes (1985) y Molina (1992).

Con la implementación de la SMVE se persiguen los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto de la SMVE en algunas características de la mazorca.
2. Determinar el efecto de la SMVE en las características de olote del maíz.
3. Determinar el efecto de la SMVE en algunas características de la semilla de maíz.
4. Determinar la ganancia genética en dichas características de mazorca y semilla al implementar la SMVE en una población de maíz nativo.

Materiales y Métodos

Este trabajo se llevó a cabo en la Escuela de Campo (ECA) No. 02 de la localidad de Ojite de Matamoros, del municipio de Coxquihui, Veracruz, durante los ciclos otoño-invierno 2021/22, primavera-verano 2022 y otoño-invierno 2022/23, en la parcela del productor innovador y participante en el Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura (SADER) en el marco de la Estrategia de Acompañamiento Técnico. Esta localidad está ubicada en la Sierra del Totonacapan a una altitud de 73 m y presenta un clima cálido húmedo, con lluvias en verano y una precipitación anual de 1650 mm (García, 1988; INIFAP, 2006).

Antes de iniciar los trabajos de siembra en el ciclo primavera-verano del 2022 se llevó a cabo un diagnóstico productivo, mediante el cual se generó la línea base. Mediante la recolección y análisis de la información se implementó un Plan de Transición Agroecológica (PTA) específico para cada Escuela de Campo (ECA). En este sistema de manejo se incorporó como un componente tecnológico la Selección Masal Visual Estratificada (SMVE), con el fin de preservar y aprovechar las variedades nativas existentes en la sierra del Totonacapan (Pérez *et al.*, 2009).

Para este trabajo se utilizó maíces nativos de la sierra del Totonacapan, los cuales, por su naturaleza de cómo se obtiene la semilla ciclo tras ciclo, se considera que son poblaciones heterogéneas, homo-heterocigóticas, desarrolladas y conservadas por los agricultores a través de múltiples generaciones de selección empírica, para caracteres específicos como textura de grano, color, forma de mazorca, sanidad, ciclo vegetativo, entre otros (Aragón *et al.*, 2006).



Manejo agroecológico del cultivo

La siembra se llevó a cabo el día 15 de noviembre del 2022, con una densidad de siembra de 37,037 plantas por hectárea. El periodo de germinación fue a los 5 días aproximadamente. Cabe mencionar que el manejo del cultivo es en transición agroecológica, para lo cual desde inicio se realizó la preparación del terreno con la mezcla de 200 L de lixiviado de composta y 20 L de microorganismos de montaña activados, para los cuales se verificaron los parámetros de calidad de estos bioinsumos cuyos valores fueron: 6 de pH, 14 de conductividad eléctrica y 42 de oxidación reducción.

Se inoculó la semilla con micorriza INIFAP para colonizar las raíces y promover mayor absorción de nutrientes y agua del suelo. La dosis utilizada fue de un kilogramo de micorriza para 12 kg de semilla; además, se utilizó Semevin (200 ml) como tratamiento de semilla para proteger al cultivo desde su germinación y durante su primera etapa de desarrollo contra plagas como el gusano trozador y gusano cogollero (Duran *et al.*, 2015)

A los 20 días después de la siembra se aplicó la mezcla de 200 L de lixiviado de composta y 12 kg de urea en forma de drench dirigido a la base de las plantas con parámetros de 6.5 de pH y 14 de conductividad eléctrica. Al mismo tiempo, se aplicó como fertilizante vía foliar la combinación de 20 L de microorganismos mezclado con 1 kg de Grow Green en 120 L de agua. Para control de gusano cogollero se utilizó el insecticida comercial Palgus a una dosis de 100 ml en 200 L de agua.

Treinta días después de la siembra se elaboró y aplicó citrato de cobre, producto orgánico para el control de la chamusquina, nombre coloquial utilizado en la región para nombrar un grupo de enfermedades foliares del maíz causado por hongos: roya del maíz, tizón foliar y mancha de la hoja. La dosis utilizada fue de 500 ml en 200 L de agua.

Continuando con la aplicación de bioinsumos orgánicos, a los 28 días después de la siembra se aplicó caldo sulfocalcico a una dosis de 3 L disueltos en 200 L de agua, para control de acaro y araña roja, además de contribuir a la nutrición del cultivo con microelementos como calcio y azufre.

A los 50 días se llevó a cabo una segunda fertilización en drench al suelo con una mezcla de 200 L de lixiviado y 12 kg de urea. De manera foliar se aplicó una mezcla de 20 L de microorganismos y Grow Green en 200 L de agua. Posterior a esto, a los 60 días después de la siembra se aplicaron directamente al suelo 50 kilos de harina de roca.

Selección Masal Visual Estratificada (SMVE)

Con el fin de tener semilla seleccionada desde el momento en que se implementó la estrategia de acompañamiento técnico en la región del Totonacapan, se inició con el proceso de mejoramiento



genético mediante el esquema de selección masal desde el otoño-invierno 2021/22, la cual se ha llevado a cabo de manera ininterrumpida y actualmente la población de maíz nativo se encuentra en el tercer ciclo de selección. Esto se ha venido haciendo en la parcela demostrativa del productor innovador, en la cual se delimitó un lote de 20 m de ancho por 50 m de largo. Este lote se estratificó en 20 sublotes, en la que cada uno estuvo integrado con cinco surcos de 10 m de longitud (Aragón y Espinoza, 2008).

En la etapa de preselección se seleccionaron y marcaron en campo un total de 400 plantas, considerando la altura de planta y de mazorca, aspectos de sanidad y con competencia completa. Se marcaron las plantas sujetando en el tallo un listón de color rojo para su fácil localización al momento de la cosecha y en cada sublote se seleccionaron 20 plantas.

Posterior a la cosecha de las 400 muestras preseleccionadas en campo, estas se llevaron a la troja y en ese sitio se hizo la selección final de las mazorcas que tuvieron las características que busca el productor como; sanidad de mazorca, llenado de mazorca, aspecto visual de la mazorca y cobertura total del totomoxtle (Aragón y Espinoza, 2008; Aragón *et al.*, 2008). En esta etapa se seleccionaron 191 mazorcas a las cuales se les realizó la medición y registro de 13 características cuantitativas y cualitativas.

El segundo ciclo de selección masal verano 2022, se llevó a cabo en la misma parcela del productor innovador antes descrito. En esta ocasión con manejo agroecológico, ya que para entonces se contaba con un plan de transición agroecológica (PTA), que fue elaborado para esta escuela de campo. Se llevaron a cabo las mismas prácticas de colecta de muestras, se marcaron 150 plantas en campo, y al final se caracterizaron un total de 38 muestras,

Para el tercer ciclo de selección masal (otoño-invierno 2022/23) se marcaron un total de 160 plantas en campo, de las cuales en la troja solo se seleccionaron 40 de ellas, las cuales cumplían con las características deseadas por el productor.

Resultados y Discusión

Con la implementación de la selección masal visual estratificada (SMVE) en la población de maíz nativo de amplia base genética, se obtuvieron resultados favorables en los caracteres de mayor impacto



en el rendimiento del cultivo; por lo que, el peso de mazorca en general se ha mantenido como producto de los tres ciclos de selección, tal como se aprecia en la Figura 1.

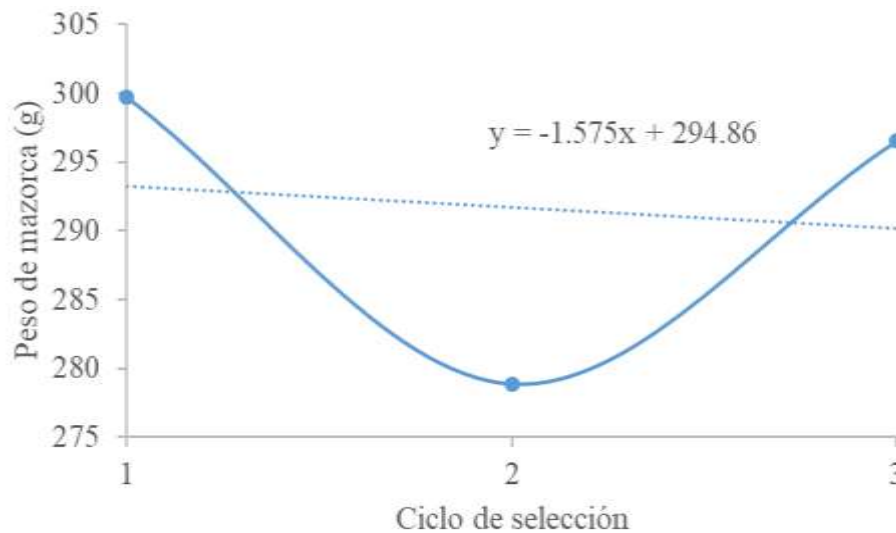


Figura 1. Peso promedio de mazorca en una población de maíz nativo en la región del Totonacapan.

Para el peso de mazorca, con base en la recta de regresión el valor de B_1 fue de -1.575 unidades. Por su parte, la variable longitud de mazorca también se ha visto ampliamente favorecida por el proceso de mejoramiento, con incrementos muy sobresalientes en promedio de los tres ciclos de selección masal visual estratificada. El valor del coeficiente de variación alcanzado la unidad (Figura 2).

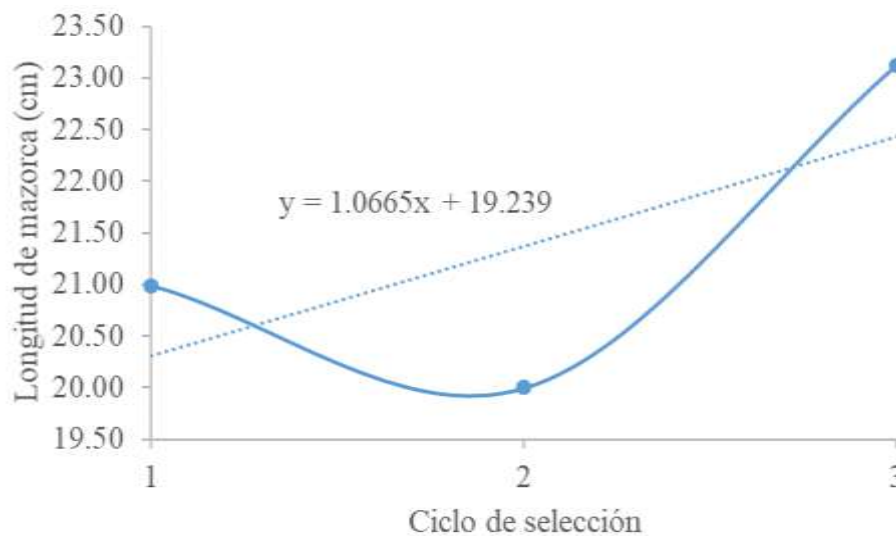


Figura 2. Longitud de mazorca en una población de maíz nativo en la región del Totonacapan.



La variable diámetro de mazorca también ha tenido un cambio positivo como resultado de la SMVE, ya que de acuerdo con la ecuación de regresión el valor de ganancia de la selección es de 0.69 por cada ciclo (Figura 3).

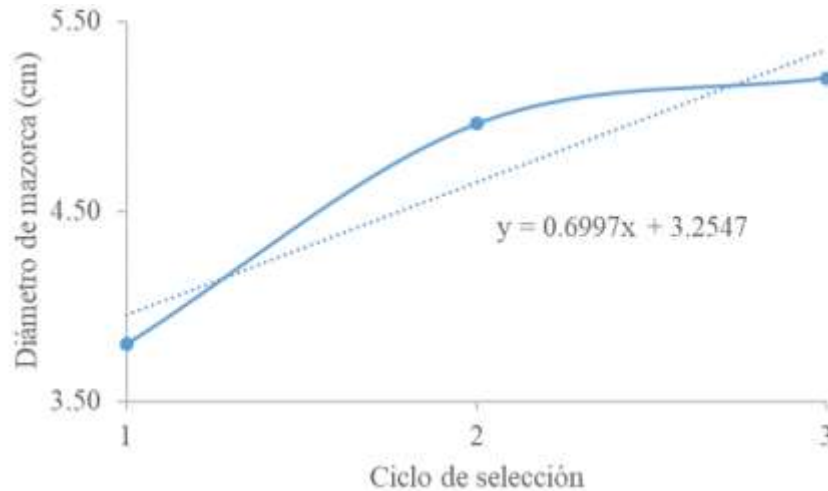


Figura 3. Diámetro de mazorca en una población de maíz nativo en la región del Totonacapan.

Un aspecto muy importante durante el proceso de mejoramiento y que más llama la atención se refiere a los rendimientos propiamente del producto de interés, es decir, la semilla o el grano, que para este trabajo es la selección de la semilla/mazorca. Los resultados indican que la SMVE fue sumamente favorable en este carácter, ya que la ganancia genética ha sido de 8.61 unidades por cada ciclo de selección; sin selección se inició con 158 g de semilla/mazorca en la población sin mejoramiento, actualmente se logra hasta 192 g de semilla/mazorca (Figura 4).

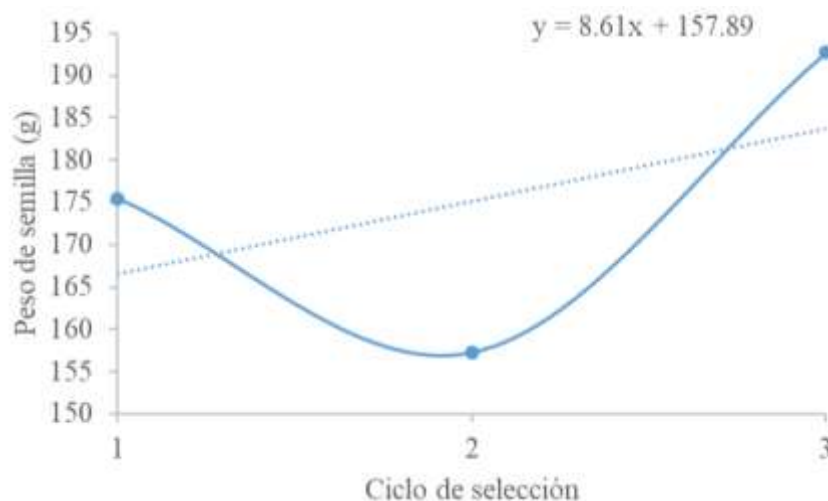


Figura 4. Peso de semilla/mazorca en una población de maíz nativo en la región del Totonacapan.



Aunado a lo anterior, una característica importante es el peso de semilla útil/mazorca cuando se busca incrementar el volumen de producción de semilla, y en este caso, los avances han sido hacia un mayor aumento en este valor de hasta 25 g. Desde luego que esto guarda una relación directa con la variable peso de semilla de los extremos de la mazorca, las cuales, al realizar la obtención de la semilla para la siembra del siguiente ciclo, la practica indica hacer la eliminación de los granos de la base y la punta. Así que, la aplicación de la SMVE en la variable semilla útil/mazorca, los resultados indican que se ha reducido ese volumen de semilla en aproximadamente 11.3 g por cada ciclo de selección, ya que se inició con 82 g de grano no apto para utilizarse como semilla, ahora solo se obtienen cerca de 50 g, lo que implica una mejora de 32 g que ahora son semilla útil (Figura 5).

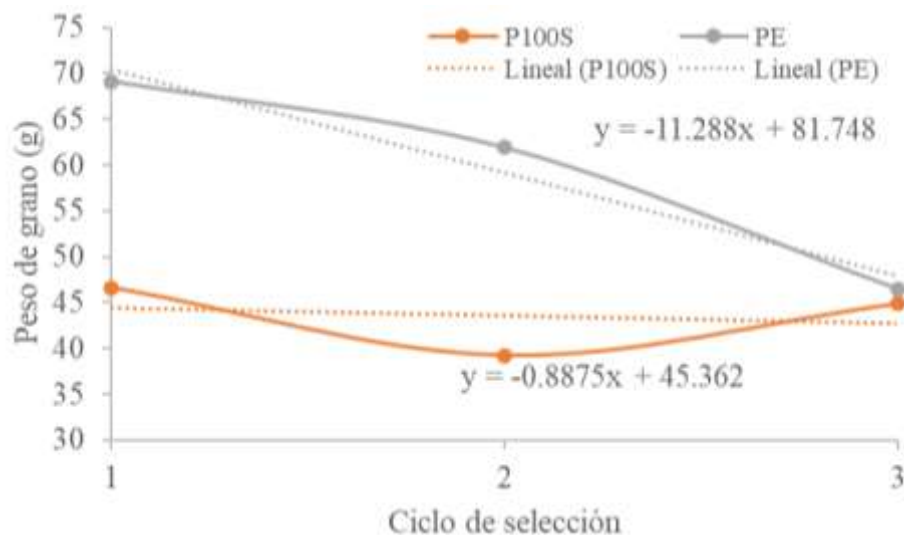


Figura 5. Cambios en peso de cien semillas y peso de extremos en una población de maíz nativo en la región del Totonacapan.

La variable relacionada con el peso de cien semillas representa el mejor indicador para hacer comparativos entre poblaciones, ya que indica que tan pesado es el grano de algún material, este valor se ha mantenido más o menos uniforme, con ligeros cambios que no impactan en el rendimiento (Figura 5). El número de hileras por mazorca de esta población de maíz nativo no ha tenido cambios marcados (dato no presentado) se ha mantenido en 13 hileras.

La SMVE a que se ha sometido la población de maíz nativo en estudio ha sido muy favorable en todas las características que impactan en la producción. El incremento en la longitud de mazorca se ha visto reflejado en la cantidad de semilla útil/mazorca con una consecuente reducción de semilla no útil, la



que se desecha de los extremos de la mazorca. Los resultados indican que aún es factible de continuarse la SMVE, toda vez que todavía existe variabilidad genética que se puede aprovechar; pero, se debe reducir la altura de planta de estos materiales criollos, que las hace muy susceptibles al acame, ya que alcanzan una altura mayor a 3.5 m. De la misma manera, se está buscando atender lo relacionado con la altura de mazorca, dado que por lo general en materiales criollos se tiene hasta dos metros de altura y esto complica la labor típica de doblado de la planta en esta región. Los avances logrados en estos primeros tres ciclos de SMVE eran de esperarse, toda vez que se está trabajando con una población de maíz nativo, con una amplia diversidad intrapoblacional, aunado a que la selección masal explota los efectos aditivos del individuo y mientras se logren aumentos en la media de la característica bajo selección, el método seguirá siendo el adecuado (Molina, 1992; Reyes, 1985).

Conclusiones

1. Con la implementación de la selección masal visual estratificada (SMVE) en la población de maíz nativo de amplia base genética, se obtuvieron resultados favorables en los caracteres de mayor impacto en el rendimiento del cultivo.
2. Se presentaron cambios favorables en la longitud y diámetro de mazorca, de acuerdo con la ecuación de regresión el valor de ganancia de la selección es de 1.06 y 0.69, respectivamente, por cada ciclo.
3. La ganancia genética por cada ciclo de selección de semilla útil/mazorca fue de 8.61 unidades, se inició con 158 g de producción de semilla/mazorca en la población sin mejoramiento, actualmente se logran hasta 192 g.
4. La SMVE permitió la reducción de la semilla no apta para siembra, aquella que está en los extremos de la mazorca, en aproximadamente 11.3 g por cada ciclo de selección, ya que se inició con 82 g de grano no apto para utilizarse como semilla, ahora solo se obtienen cerca de 50 g, lo que implica una mejora de 32 g.



Literatura Citada

- Altieri, M. 1994. Biodiversity and pest management un agroecosystems. The Haworth Press. New York. 236 p.
- Aragón C. F., S. Taba, J. M. Hernández C., J. D. Figueroa C., V. Serrano A. y F. H. Castro G. 2006. Catálogo de maíces criollos de Oaxaca. INIFAP-SAGARPA. Libro Técnico Núm. 6. Oaxaca, Oax., México. 344 p.
- Aragón C., F. y H. Espinoza P. 2008. Conservación, mejoramiento y producción de semilla de maíces criollos. INIFAP. Publicación Especial No.3, 74 p.
- Aragón C. F., M. Morales G. y R. Rodríguez H. 2008. Cómo conservar y mejorar nuestros maíces criollos. CIRPAS. Folleto para productores No.4, 62 p.
- Cumpian G., J. 2009. Comportamiento agronómico de testigos de maíz (*Zea mays* L.) en ensayos del CCVP. p. 51-58. In: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.
- Duran, P. A., J. F. Aguirre M. y O. A. Grageda C. 2015. Biológicos (Biofertilizantes). p. 133-140. In: Hernández T. T. (ed.). Buenas prácticas para el uso de fertilizantes en México. Libro Técnico Núm. 9. INIFAP. CENID-COMEF. México, D. F.
- FAOSTAT. 2023. Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- González, F. S., L. G. Guajardo H., S. X. Almeraya Q., L. M. Pérez H. y D. M. Sangerman J. 2020. Evaluación de la sustentabilidad del cultivo de maíz en Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. Rev. Mex. Ciencias Agrícolas 11(7): 1565-1578.



INIFAP. 2006. Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Veracruz. INIFAP-CECOT. Veracruz, México.

García, E. 1988. Sistema de Clasificación Climática de Koppen, adaptado a las condiciones de la República Mexicana. 388 p. México, D. F.

Molina, G. J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa (algunas implicaciones en Genotecnia). Ed. AGT Editor. México, D. F. 349 p.

Pérez P., J. R., A. Montiel F. y M. F. Herrera T. 2009. Caracterización morfológica y clasificación de maíces locales del complejo racial Nal Tel en la Península de Yucatán. P. 59-68. In: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.

Reyes, C. P. 1985. Fitogenotecnia Básica y Aplicada. Ed. AGT Editor. México, D.F. 460 p.

Sierra M. M., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. Espinosa C., G. Vásquez C., R. Rodríguez R. *et al.* 2009. Caracterización agronómica, calidad industrial y nutricional de genotipos de maíz normal y con alta calidad proteínica para el sureste de México. p. 41-50. In: INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBOCA. 2009. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, y Acuícola en el Trópico Mexicano 2009. Libro Científico No. 6. Veracruz, México. 416 p.

Sierra M. M., I. Meneses M., A. Palafox C., N. Francisco N., A. Zambada M., M. Uribe B. *et al.* 2012. Diversidad genética, clasificación y distribución racial del maíz nativo en los estados de Veracruz, Puebla y Tabasco, México. p. 33-40. In: Memoria del I Simposium Internacional en Producción Agroalimentaria y XXIV Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2012. Cárdenas, Tab., México.



PECUARIA





VALIDACIÓN DE ECUACIONES PARA PREDECIR LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL PASTO *Pennisetum purpureum* CV CUBA CT-115 MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO CERCANO

Armando Guerrero Peña²¹⁸ y Gloria Esperanza De Dios León^{219*}

Resumen

Se empleó la espectroscopia de reflectancia en el visible-infrarrojo cercano (VIS-NIRS) y modelado quimiométrico para desarrollar ecuaciones de estimación de las propiedades nutricionales y degradación *in situ*. En campo fueron colectadas 134 muestras del pasto con diferentes edades de rebrote. En cada muestra se determinaron, con métodos convencionales, las siguientes propiedades: proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), contenido celular (CC), hemicelulosa (H), y degradación *in situ* de la materia seca (DIMS). Así mismo, cada muestra fue analizada en un espectrofotómetro de reflectancia (NIRS), los espectros colectados se correlacionaron con cada una de las propiedades antes citadas, para generar su respectiva ecuación de predicción de predicción. Los resultados muestran, que los coeficientes de determinación y correlación de las validaciones cruzadas y externa, obtenidos para cada modelo son cercanos a la unidad (0.988 a 0.997); mientras que los errores estándar de calibración (SEC, 0.282 a 1.292) y de validación (SEV 0.317 a 1.383) fueron pequeños; la relación SEC/SEV (0.766 a 0.938) fueron menor a la unidad. Las relaciones de desviación de la predicción (RDP) fueron aceptables para DIMS y FDA (1.41 y 1.71, respectivamente) y excelentes para PC, FDN, CC y H (2.33 a 7.88) con lo que podemos afirmar que las ecuaciones establecidas con la metodología NIRS estiman cada parámetro, con precisión, exactitud y con la ventaja de que es una técnica no destructiva, no genera residuos químicos, requiere menor tiempo analítico y menor costo del análisis; cuando es comparada con los métodos convencionales.

Palabras clave: NIRS, regresión por mínimos cuadrados parciales, validación del modelo de calibración, ecuaciones de calibración

²¹⁸ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

²¹⁹ Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Región Orizaba-Córdoba. *gdedios@uv.mx



Introducción

En la región tropical húmeda de México, la alimentación de los bovinos se basa principalmente en pastos y forrajes por ser la fuente más económica y disponible (Cruz *et al.*, 2017). En estas regiones, la limitante en la producción de biomasa y valor nutritivo depende de las condiciones ambientales que tienen lugar durante el año (épocas de secas, lluvias y nortes) (Mejía, 2002), además de considerar que el valor nutritivo de las especies forrajeras disminuye rápidamente al aumentar la edad de rebrote y a los cambios climáticos extremos que se presentan en esta región (Valenciaga *et al.*, 2007).

Para evaluar la calidad de los forrajes, a la fecha, son utilizados métodos químicos convencionales que se caracterizan por ser destructivos, laboriosos, demandar más tiempo de análisis y mano de obra y con alto costo por el consumo de reactivos; y utilizan diversos equipos e instrumentos de laboratorio; con una excesiva manipulación de la muestra, y como consecuencia alta probabilidad de error. La tendencia actual de la Química Analítica es resolver el problema planteado con el menor esfuerzo y costo posible en el análisis de analitos, mediante la aplicación de métodos instrumentales y quimiometría; y que estadísticamente permita obtener resultados similares a los obtenidos con los métodos convencionales de referencia (Guerrero-Peña, 2006). Ejemplo de lo anterior es la aplicación de la tecnología NIR en estudios cuantitativos y cualitativos en la alimentación animal; como los descritos a continuación. En estudios previos, se han desarrollado modelos cuantitativos con NIRS para estudiar la composición química y parámetros biológicos de ensilados de maíz (De Boever *et al.*, 1999; Park, 1998; De Boever *et al.*, 2002; Lovett *et al.*, 2005); de pastos y trébol rojo (Nordheim *et al.*, 2007); se propone calibraciones con NIRS para estudios de ingesta y digestibilidad de forrajes verde (Decruyenaere *et al.*, 2009).

En las revisiones de literatura acerca del uso de NIRS en la generación de modelos de calibración para el estudio nutrimental de los pastos, es frecuente identificar que no siguen un patrón para el establecimiento de los modelos y su validación (interna y externa). Además de que no se utilizan todos los indicadores estadísticos para la validación interna externa de los modelos.

Por lo que el objetivo de la presente evaluación fue la validación de modelos quimiométricos (ecuaciones) para estimar el valor nutrimental de pastos mediante la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) con una estrategia que integra el mayor número de indicadores estadísticos.



Materiales y Métodos

Colección de muestras

Para la construcción de modelos de predicción con NIRS, las muestras de pastos se pueden reunir mediante un procedimiento sistemático no experimental, como es el caso de los modelos de calibración para cuantificar el contenido nutricional de los pastos debido a que el objetivo es tener un intervalo de calibración lo más amplio posible (desde muy bajo, hasta muy alto), para cada nutriente o propiedad evaluada.

Estas muestras, normalmente, se secan a 60 - 70°C, hasta lograr peso constante en estufa con aire forzado y se muelen a un tamaño de partícula menor 0.5 mm de diámetro. Y para su conservación se utilizan botes de plástico con sellados hermético. Las muestras proceden de la investigación “Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote” (De Dios-León *et al.*, 2022).

Análisis bromatológicos

Los análisis bromatológicos a utilizar deben ser exactos (repetibles y reproducibles); ya que, “de la calidad de los datos depende la calidad predictiva de los modelos”. Los parámetros pueden ser los que se indican a continuación, pero, puede incluirse otros estudios.

Proteína cruda (PC) (AOAC, 2000); la fibra detergente neutra y ácida (FDN y FDA, respectivamente) (Van Soest *et al.*, 1991); el contenido celular (CC) se calcula por diferencia 100-FDN; y hemicelulosa (H) a través de la diferencia FDN- FDA y la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DIMS) (Orskov y Mc Donald, 1989). El análisis de cada propiedad puede realizarse una sola vez en cada muestra.

Obtención de los espectros NIR

Existen diferentes marcas de espectrofotómetros de infrarrojo cercano que pueden ser utilizados para obtener los espectros, ya sea con celda porta-muestra o con sondas de fibra óptica; en lo cual, la experiencia, ha indicado que la celda porta muestra debe ser lo más grande posible para que se obtengan espectros con información suficiente para la modelación. Existen celdas rectangulares de 24 cm³ con ventana de cuarzo para una muestra de aproximadamente 6 gramos. El llenado de la celda porta muestra es manual, y se debe hacer un empaquetado perfecto para evitar que la muestra se mueva durante la lectura, ya que se ocasionaría distorsión del espectro.

Las muestras se programan en una secuencia numérica para la obtención, de un espectro NIR, único por muestra, y los registra con un programa propio en cada equipo; los cuales integran también



programas para la construcción de modelos de calibración, también pueden exportarse los datos a otros como el Pirouette, Parvus, R-Studio, etcétera. Normalmente se registran espectros en el intervalo de longitud de 400-2498 nm, a intervalos de 2 nm; lo cual da un total de 1050 datos por muestra.

Para esta investigación se utilizó un espectrofotómetro de reflectancia en la región visible-infrarrojo cercano, marca Foss NIRSystems, modelo Versatile Agri Analyzer 6500 System II Vertical Type 461008. La medición de la reflectancia fue de 400-2498 nm a intervalos de 2 nm. La celda porta muestras es rectangular de 24 cm³ con ventana de cuarzo. Los registros fueron obtenidos con el programa ISISCAN.

Establecimiento y validación de modelos de calibración NIRS

La lectura de todas las muestras, en el NIRS, se realiza al mismo tiempo; lo cual agiliza el registro de espectros. Para los fines de este trabajo, se tienen 100 muestras y 1050 variables, lo cual nos proporciona una matriz de 105,000 datos.

La primera acción es separar las muestras que serán para el grupo de entrenamiento (para establecer el modelo), y las muestras del grupo para la validación externa del modelo. Cuando el tamaño de muestra es de 100 o menos se sugiere utilizar el 90% para establecer el modelo el 10% para la validación externa. Sin embargo, autores como Gandariasbeitia *et al.* (2019) usaron 103 muestras y una distribución del 80.5% para construir el modelo, y 19.5% para validación externa. Cuando el modelo se establece con menos del 90% solo se demuestra la robustez de los modelos sin que se incremente la exactitud predictiva. Es decir, las muestras tienen el intervalo de calibración que integra todas las muestras de validación externa. Por esta razón, el grupo de validación externa está constituido por muestras seleccionadas sistemáticamente y no al azar.

El modelo de calibración se construye utilizando la relación existente entre la concentración de cada parámetro en cada una de las muestras y los valores obtenidos a diferentes longitudes de onda. Lo cual puede representarse, en un formato simplificado, en la ecuación siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{\lambda_1} + \beta_2 X_{\lambda_2} + \beta_3 X_{\lambda_3} + \dots + \beta_n X_{\lambda_n}$$

donde β_0 es el valor de Y cuando X toma el valor de cero, β_n son la pendiente de la recta λ son las longitudes de onda donde la correlación de la concentración de los componentes es máxima en forma positiva o negativa.

Estadísticos para la validación del modelo de calibración

La validación del modelo de calibración se realiza en dos etapas, para ello deben definirse los indicadores estadísticos. Para la validación cruzada o interna y selección de un modelo de calibración,



así como para la validación externa del modelo, se proponen los estadísticos de los Cuadros 1 y 2. Estadísticos que deben usarse en conjunto.

Cuadro 1. Indicadores estadísticos para la evaluación interna y selección del modelo de calibración.

Calificadores estadísticos	Ecuación
RSQ (coeficiente de correlación múltiple)	$R^2 = 1 - \frac{SEC^2}{SD^2}$
SEC (error estándar de calibración)	$SEC = \frac{\sqrt{\sum_i (y_i - Y_i)^2}}{n - t - 1}$
SECV (error estándar de validación cruzada)	$SECV = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}}{N}$
PRESS (suma del error residual predicho)	$\sum_i \hat{S}_i^2$

Cuadro 2. Indicadores estadísticos para la evaluación externa del modelo de calibración.

Calificadores estadísticos	Ecuación
SEP (error estándar de predicción)	$SEP = \frac{\sqrt{\sum_i (y_i - Y_i)^2}}{n}$
RPD (relación de desviación de la predicción)	SD/SECV
SEPC (error estándar de predicción corregido por BIAS)	$SEPC = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{N}}}{N - 1}$
SEC/SEP	$\frac{\sqrt{\sum_i (y_i - Y_i)^2}}{n}$

Análisis quimiométrico

Los espectros NIR requieren un pre-tratamiento matemáticamente para minimizar las contribuciones no deseadas presentes en las señales como los efectos de la dispersión de la luz y las características físicas de la muestra (efecto matriz) tendencia (Barnes *et al.*, 1989); para lo cual se pueden emplear los siguientes algoritmos: *smooth*, *normalize*, *log10*, *aligned to 1*, *SNV*, *MSC*, *divide by*, *2nd derivative* y *1st derivative*, etcétera.



Resultados y Discusión

Análisis químico

En el Cuadro 3 son presentados los resultados de análisis químicos obtenidos en las muestras de pasto, los cuales se usaron como referencia para la construcción del modelo de calibración y para la validación externa del modelo. Las muestras presentaron intervalos amplios para cada propiedad nutricional, como se observa en los valores mínimos y máximos; lo cual es atribuible al origen de las muestras, lo cual, contribuye a intervalos amplios de calibración.

Cuadro 3. Análisis químico de referencia de las propiedades de un pasto para la construcción del modelo de estimación, con su validación interna y la validación externa.

Parámetro	$\bar{X} \pm DE$	Mín.	Máx.	$\bar{X} \pm DE$	Mín.	Máx.
	Validación interna			Validación externa		
Proteína Cruda (%)	11 \pm 3.6	5	19	11 \pm 4.1	5	17
DIMS (%)	47 \pm 6.4	33	61	46 \pm 7.1	33	61
Fibra Detergente Neutro (%)	69 \pm 9.4	37	90	69 \pm 11.9	51	86
Fibra Detergente Ácida (%)	38 \pm 7.1	18	53	34 \pm 8.8	23	53
Contenido celular (%)	31 \pm 9.2	10	63	29 \pm 12.9	14	49
Hemicelulosa (%)	32 \pm 5.0	13	45	31 \pm 6.4	21	21

$\bar{X} \pm DE$: Media \pm Desviación Estándar. Mín.: Mínimo, Máx.: Máximo, DIMS: Degradación *in situ* de la materia seca.

Los datos del conjunto de validación externa, seleccionados sistemáticamente, se distribuyen en todo el intervalo que el conjunto de validación interna; con lo cual puede evaluarse todo el intervalo de predicción del modelo.

Información espectral

En la Figura 1 son presentados los espectros NIR obtenidos en cada una de las 100 muestras del pasto. Puede observarse una distribución uniforme del espectro NIRS en el intervalo utilizado para la calibración de las muestras, para los siete parámetros estudiados; esta uniformidad contribuye en la exactitud de la predicción del contenido nutricional en el rango de calibración establecido.

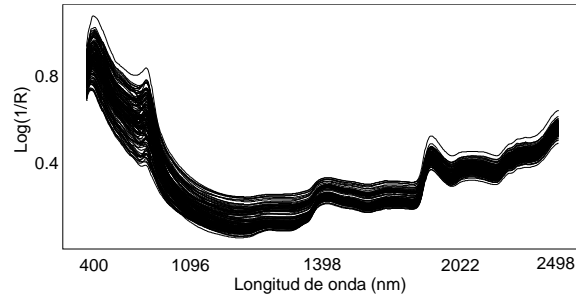


Figura 1. Espectros NIR de las 100 muestras del pasto.

Ecuaciones de calibración

Fueron obtenidos los modelos de calibración (regresión por mínimos cuadrados parciales, *PLS* (siglas en inglés)) que relacionan los espectros matemáticamente transformados y los valores de referencia de cada parámetro del pasto. Para cada ecuación fueron usados diferentes algoritmos con la finalidad de obtener los calibrados que mejores estimadores estadísticos presentaron (Cuadro 4).

Cuadro 4. Ecuaciones de calibración del pasto, y sus calificadores estadísticos.

Parámetro (%)	Tratamiento Matemático ¹	SEC ²	RSQ ³
PC	a,b,c,f,g,h,d	0.282	0.997
DIMS	a,b,c,d,f,g,h	0.926	0.988
FDN	a,b,c,d,e	0.541	0.998
FDA	a,b	0.600	0.996
CC	a,b	1.291	0.989
H	a,b,c,d	0.383	0.995

¹Transformación que se realiza sobre los datos de reflectancia obtenidos originalmente, el orden es: a) Smooth, b) Normalize, c) Log10, d) Aligned to 1, e) SNV, f) MSC, g) Divide by, h) 2nd Derivative. ²Error Estándar de Calibración. ³Coefficiente de correlación.

Dichos modelos son evaluados en su linealidad y precisión; como primer criterio de selección del mejor tratamiento matemático para establecer las calibraciones. El coeficiente de correlación múltiple (RSQ) mide la linealidad y el error estándar de calibración (SEC) la precisión. Los valores altos del RSQ (cerca de 1.0) indican alta linealidad de los modelos; mientras que los valores bajos del SEC califican a los modelos como precisos en la estimación de cada propiedad. Al no tener una regla de calificación de SEC, se optó por compararlo con los datos reportados en los trabajos realizados en pastos (Serena *et al.*, 2004; Valenciaga *et al.*, 2007; Sandoval-Mejía *et al.*, 2008; Alomar *et al.*, 2009;



Molano *et al.*, 2016) de los cuales el valor promedio de SEC, 1.32 ± 0.51 , es superior a los obtenidos en esta investigación. La calidad de los valores de referencia obtenidos con los métodos convencionales en el presente estudio y el tratamiento matemático (pre-procesado y transformaciones realizadas durante la construcción de las ecuaciones de regresión PLS contribuyen a la obtención de SEC bajos).

En la construcción de los modelos de calibración se debe especificar el número de muestras eliminadas debido a valores atípicos (*outliers*); en la presente evaluación para la variable proteína cruda fueron descartadas nueve, para degradación *in situ* de la materia seca seis, en fibra detergente neutra 11, en fibra detergente ácida siete, para contenido celular cinco y para hemicelulosa 14. Aquí es donde se refleja la calidad de los datos analíticos y el empaquetado de la muestra en la celda.

Validación interna

Una primera evaluación de los modelos es mediante validación cruzada; la cual fue realizada dividiendo el total de muestras de entrenamiento en 20 grupos; de los cuales 19 fueron tomados para establecer una primera calibración y uno para la predicción. El proceso se repite para cada grupo hasta que todos ellos pasan a través del grupo de calibración y del grupo de predicción. El número de factores necesarios para establecer los modelos fue entre 5 y 7. En el Cuadro 5 se observan valores altos de coeficiente de correlación (r^2), debido a la alta correlación (cercana a 1) entre los datos estimados con los modelos y los datos químicos de referencia; así como bajos errores estándar de calibración (1.2); estos dos, son criterios importantes para calificar como correctas las ecuaciones de calibración. Uno de los estadísticos derivados fue la relación (SEC/SEV), la cual fue en promedio menor a 1 con valores mínimos de 0.766 y máximos de 0.938; lo que indica un buen ajuste de los modelos establecidos.

Cuadro 5. Estadísticos de validación interna de los modelos de estimación de cada propiedad del pasto.

Parámetro	SEV	Press Val	r Val	SEC	Press Cal	r Cal
PC, %	0.317	11.278	0.996	0.282	8.253	0.997
DIMS, %	1.028	121.552	0.985	0.926	92.533	0.988
FDN, %	0.706	54.882	0.997	0.541	30.174	0.998
FDA, %	0.640	46.708	0.996	0.600	38.546	0.996
CC, %	1.383	221.870	0.986	1.291	181.700	0.989
H, %	0.450	21.651	0.993	0.383	14.833	0.995

Los resultados de los métodos químicos de referencia y los estimados con las ecuaciones NIRS deben compararse mediante la prueba t para datos apareados. Para efecto de este estudio, los resultados de la prueba de t calculada (t_c) fueron en el intervalo de 0.02 a 0.27, mientras que el valor crítico de t es 1.98; y al ser esta última mayor, se afirma que la tecnología NIRS proporciona información útil y suficiente para establecer modelos de calibración que proporcionan resultados con la misma precisión y exactitud que los datos obtenidos con los métodos convencionales o de referencia.

En la Figura 2 son presentadas las correlaciones de los valores obtenidos con el método de referencia con respecto a la predicción de los modelos NIRS (verde) y su validación externa (rojo), para cada uno de los parámetros. Se muestra una correlación positiva entre los valores obtenidos en el laboratorio (referencia) para cada uno de los parámetros y los valores estimados con los modelos NIRS para los datos utilizados en la validación interna. En cada una de las gráficas se observa que existe una correlación directa y alta, que es confirmado con el valor del coeficiente de correlación del Cuadro 4.

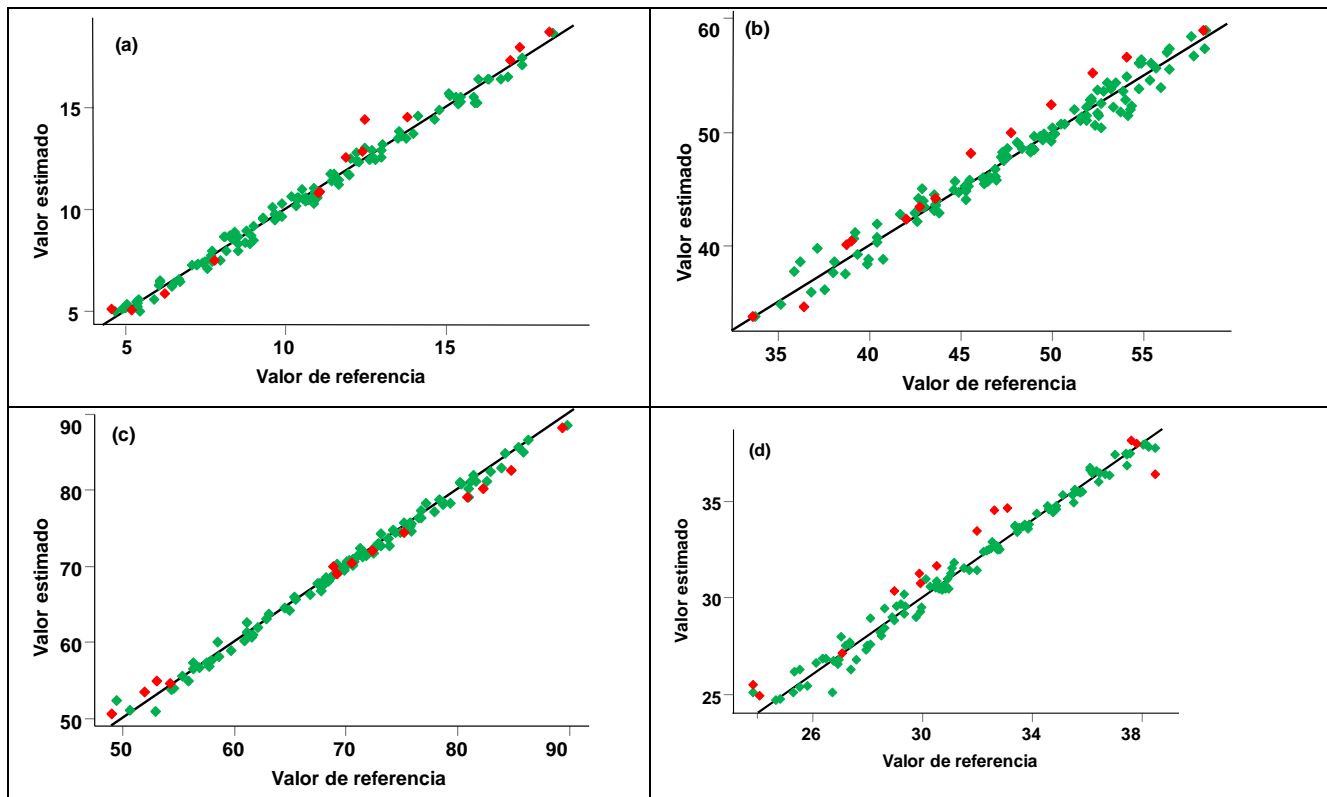


Figura 2. Valores estimados y de referencia en la validación interna (puntos verdes) y validación externa (puntos rojos) de las ecuaciones de calibración NIRS para la estimación de: (a) proteína cruda, (b) digestibilidad *in situ* de la materia seca, (c) fibra detergente neutra, (d) fibra detergente ácida, (e) hemicelulosa, y (f) contenido celular del pasto.

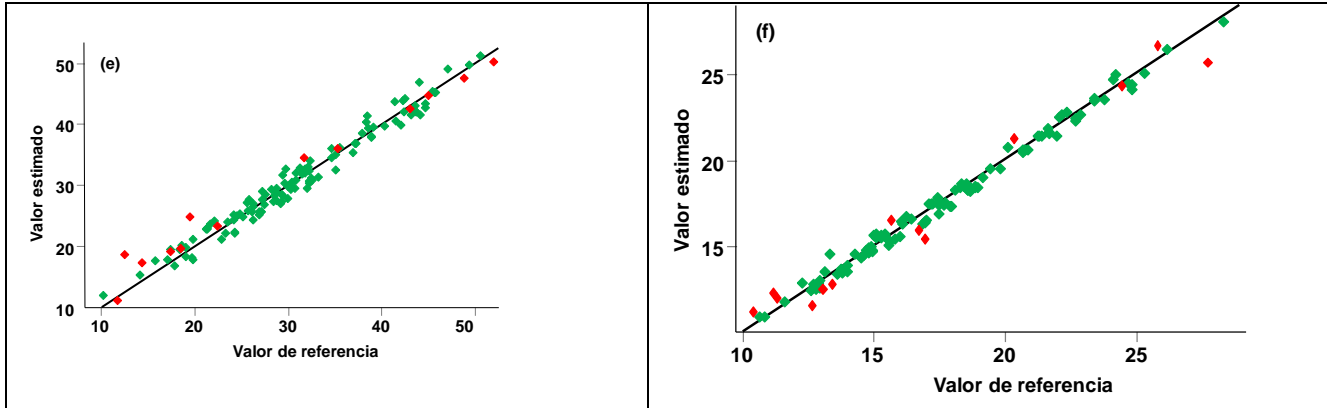


Figura 2. Valores estimados y de referencia en la validación interna (puntos verdes) y validación externa (puntos rojos) de las ecuaciones de calibración NIRS para la estimación de: (a) proteína cruda, (b) digestibilidad *in situ* de la materia seca, (c) fibra detergente neutra, (d) fibra detergente ácida, (e) hemicelulosa, y (f) contenido celular del pasto.

Validación externa

Con la validación externa es calificada la exactitud, precisión y robustez de los modelos de calibración NIRS, en cada uno de los siete parámetros estudiados. Para ello, fueron utilizadas 13 muestras para realizar la validación externa del modelo (aproximadamente el 11% del total de muestras). Los calificadores utilizados son el error estándar de validación, el error estándar de predicción y la relación entre la desviación estándar de los datos de referencia y el SEP.

Con base en la propuesta de uso de los valores de RPD, son calificados como regulares para DIMS y FDA, y excelentes para PC, FDN, CC, H y C, con lo cual se puede afirmar que las ecuaciones establecidas con la metodología NIRS estiman, cada parámetro con similar precisión y exactitud que los métodos convencionales o de referencia; y que la tecnología NIR ofrece una alternativa para caracterizar el valor nutrimental del pasto (Cuadro 6). También es incluido el número de factores o componentes principales necesario para lograr la modelación matemática de cada variable en estudio.

Cuadro 6. Datos de validación externa del pasto.

Parámetro (%)	Factor	SEV	SEP	RPD
Proteína Cruda	7	0.381	1.55	2.33
Digestibilidad <i>in situ</i> de la MS	6	1.028	3.75	1.71
Fibra Detergente Neutra	6	0.869	1.81	5.20
Fibra Detergente Ácida	6	0.640	5.01	1.41



Parámetro (%)	Factor	SEV	SEP	RPD
Contenido Celular	6	1.383	1.82	5.05
Hemicelulosa	5	0.497	0.63	7.88

En la Figura 2 fueron presentadas las correlaciones entre los valores obtenidos en el laboratorio (referencia) para cada uno de los parámetros y los valores estimados con NIRS con los 13 datos utilizados para la validación externa.

En cada una de las gráficas se observa que existe una correlación directa y fuerte, que lo indica también el alto coeficiente obtenido (>0.98). La robustez de los modelos establecidos es demostrada al utilizar muestras diferentes a las de los modelos; los resultados obtenidos en estas muestras son similares a las de los métodos de referencia.

Conclusiones

La tecnología NIRS genera información útil y suficiente para establecer modelos de calibración para estimar propiedades nutricionales del pasto. Los estadísticos propuestos en la validación interna y externa de los modelos dan seguridad en la selección y la capacidad predictiva de los modelos. Los resultados que se obtienen con el modelo seleccionado son estadísticamente iguales a los obtenidos con métodos convencionales de referencia, es decir que estiman con similar precisión y exactitud las propiedades del pasto, con la ventaja de ser una técnica no destructiva, que no genera residuos químicos, con menor tiempo y costo del análisis; cuando es comparada con los métodos convencionales.

Literatura Citada

Alomar, D., R. Fuchslocher, J. Cuevas, R. Mardones and E. Cuevas. 2009. Prediction of the composition of fresh pastures by near infrared reflectance or interactance-reflectance spectroscopy. *Chil J Agr Res* 69(2):198-206.



AOAC (Association of Official Analytical Chemistry). 2000. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 17th Ed. Gaithersburg. United States of America. 168 p.

Barnes, R. J., M. Dhanoa S. and S. Lister J. 1989. Standard Normal Variate and De-trending of near diffuse reflectance spectra. *Appl Spectroscopy* 43(5):772-777.

Cruz, H. A., A. Hernández G., A. J. Chay C., S. I. Mendoza P., S. Ramírez V., A. R. Rojas G. *et al.* 2017. Componentes del rendimiento y valor nutritivo de *Brachiaria humidicola* cv Chetumal a diferentes estrategias de pastoreo. *REMEXCA* 8(3):599-610.

De Boever, J. L., G. Cottyn B., L. De Brabander D., M. Vanacker J. and V. Boucqué Ch. 1999. Prediction of the feeding value of maize solages by chemical parameters, *in vitro* digestibility and NIRS. *Anim Feed Sci Tech.* 66:211-222.

De Boever, J. L., M. Vanacker J. and L. De Brabander D. 2002. Rumen degradation characteristics of nutrients in maize silages and evaluation of laboratory measurements and NIRS as predictors. *Anim Feed Sci Tech.* 101:73-86.

De Dios-León, G. E., J. A. Ramos-Juárez, F. Izquierdo-Reyes, B. Joaquín-Torres y F. Meléndez-Nava. 2022. Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;13(4):1055-1066. doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217.

Decruyenaere, V., Ph. Lecomte, C. Demarquilly, J. Aufrere, P. Darenne, D. Stilmant and A. Buldgen. 2009. Evaluation of green forage intake and digestibility in ruminants using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS): developing a global calibration. *Anim Feed Sci Tech.* 148:138-156.

Gandariasbeitia, M., G. Besga, I. Albizu, S. Larregla and S. Mendarte. 2019. Crude protein prediction of heterogeneous mountain grassland with visible-near-infrared spectroscopy. *Agrociencia* 53:1105-1118.



- Guerrero-Peña, A. 2006. Estudio de la contaminación en suelos por petróleo crudo mediante generación de espacio de cabeza-espectrometría de masas. Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Salamanca, Salamanca, España. 167 p.
- Mejía, H. J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria* 12:55-63.
- Lovett, D. K., R. Deaville E., I. Givens D., M. Finlay and E. Owen. 2005. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict biological parameters of maize silage: Effects of particle comminution, oven-drying temperature and the presence of residual moisture. *Anim Feed Sci Tech.* 120:323-332.
- Molano, M. L., L. Cortés M., P. Ávila, D. Martens S. y Muñoz L. S. 2016. Ecuaciones de calibración en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para predicción de parámetros nutritivos en forrajes tropicales. *Trop Grasslands* 4(3):139-145.
- Nordheim, H. H. Volden, G. Fystro and T. Lunnan. 2007. Prediction of *in situ* degradation characteristics of neutral detergent fibre (aNDF) in temperate grasses and re clover using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *Anim Feed Sci Tech.* 139:92-108.
- Orskov, E. R. and I. Mc Donald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agric Sci.* 92:499-503.
- Park, R. S., E. Agnew R., J. Gordon F. and W. J. Steen R. 1998. The use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on undried samples of grass silage to predict chemical composition and digestibility parameters. *Anim Feed Sci Tech.* 72:155-167.
- Sandoval-Mejía, L. A., J. Bueso-Uclés F. y M. Vélez-Nauer. 2008. Predicción nutricional para pastos tropicales por espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano. *Agron Mesoam.* 19(2):221-225.



Serena, F. R., M. Scheffer-Basso S., J. Walter D., J. Valter A., F. Borolini and F. Adriano H. 2004. Prediction of chemical composition of *Cynodon* spp. by near infrared reflectance spectroscopy. R. Bras Zootec. 33(4):838-842.

Valenciaga, D., E. De Olivera S., O. La O., B. Chongo, A. Oramas y C. Cairo J. 2007. Obtención de las curvas de calibración para la determinación de la composición química de la especie *Pennisetum purpureum* mediante la Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). Rev Cubana Cienc Agric. 41(2):165-168.

Van Soest, P. J., B. Robertson J. and A. Lewis B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J Dairy Sci. 74:3583-3597.



MONITOREO DE INCUBACIÓN Y OVIPOSICIÓN *in vitro* DE LA GARRAPATA *Dermacentor albipictus* Y CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Elizabeth Salinas Estrella*²²⁰, Mayra Elizeth Cobaxin Cárdenas²²⁰, Jesús Francisco Preciado de la Torre²²⁰, Raquel Cossío Bayúgar²²⁰ y Sergio Darío Rodríguez Camarillo²²⁰

Resumen

Las garrapatas se encuentran en México y son un vector biológico de enfermedades hemoparasitarias del ganado bovino. Se recolectaron garrapatas *Dermacentor albipictus* (Ixodida, Ixodidae) en equinos, de Tapalpa, Jalisco, una zona de clima templado con presencia de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Ixodida, Ixodidae) y reportes de anaplasmosis bovina; con la finalidad de reconocer las características morfológicas que las distinguen, así como analizar su ciclo de vida. Las características morfológicas de garrapatas repletas y semi-repletas se determinaron usando un microscopio estereoscópico. Se registraron los periodos de incubación (15 días) y oviposición (26.2 días en promedio) en condiciones de laboratorio, así como el índice de eficiencia de conversión. Este es el primer reporte de las características de oviposición y eclosión *in vitro* de la garrapata *D. albipictus* en México. Este estudio sienta el precedente para analizar la participación de esta especie de garrapatas en el mantenimiento y distribución de la anaplasmosis bovina, así como de otras enfermedades transmitidas por garrapatas en equinos en México.

Palabras clave: diagnóstico, anaplasmosis y babesiosis, vectores, bovinos, equinos

²²⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad. *salinas.elizabeth@inifap.gob.mx, mvz.elisalinst@gmail.com



Introducción

La gran variedad de climas presentes en México facilita las condiciones para que se reproduzcan una extensa diversidad de especies biológicas. Aproximadamente 26% de la superficie continental del país presenta clima cálido, principalmente en los Estados de Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Michoacán, Colima, Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán y Campeche (INEGI, 2021). Estas entidades se caracterizan por ser grandes productores de ganado bovino para carne y leche, debido en parte al acceso a recursos naturales y a la extensión de sus superficies dedicadas a la ganadería (INEGI 2021). Estas condiciones climáticas permiten la reproducción de diversas plagas que afectan a animales y humanos, de las cuales las garrapatas son una de las más importantes (Rodríguez-Vivas *et al.* 2006, Rodríguez *et al.* 2009).

La garrapata del ganado, *R. (Boophilus) microplus* es una de las más estudiadas por ser el vector más importante de hemoparásitos como *Babesia* spp., (Babes, 1888; Smith y Kilborne, 1893; Mosqueda *et al.* 2012) y *Anaplasma marginale* (Theiler, 1910); el cual es causante de una de las enfermedades que más afecta al mejoramiento genético del ganado bovino en zonas tropicales (Rodríguez-Camarillo *et al.* 2020; Salinas Estrella *et al.* 2022c). En México se encuentran otras especies de garrapatas que afectan tanto al ganado bovino, caprino y ovino, así como animales de carga o trabajo como los asnos, mulas y caballos (Addison y McLaughlin, 1988, Guzmán-Cornejo *et al.* 2016, Chenery *et al.* 2020, Montiel-Armendáriz *et al.* 2021; Salinas-Estrella *et al.* 2022a). Estos últimos comúnmente están próximos al ganado y por lo tanto pueden infestarse del mismo género de garrapatas (Kocan *et al.* 2004).

Especies del género *Dermacentor* han sido reportadas en otros países como transmisoras de la anaplasmosis bovina (Kocan *et al.* 1980, 2002). En México solamente se registra información sobre la identificación taxonómica de esta especie (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2004); mas no se ha estudiado su papel en la transmisión de la anaplasmosis u otras enfermedades del ganado bovino (Chenery *et al.* 2020, Beristain-Ruiz *et al.* 2021, Montiel-Armendáriz *et al.* 2021). Por reportes de animales seropositivos a anaplasmosis en zonas templadas (Rodríguez *et al.* 2009; Preciado *et al.* 2021; Salinas-Estrella *et al.* 2022b), la presencia de *D. albipictus* en tales áreas podría ser un factor adicional en la propagación y mantenimiento de la bacteria *A. marginale*, donde *R. microplus* no es tan frecuente (Kocan *et al.* 2004).

Desde el año 2001 las garrapatas *R. microplus* recolectadas en los bovinos del predio la Joya en el municipio de Tapalpa, Jalisco, se han mantenido en las instalaciones del CENID-SAI (antes PAVET)



conocidas como la cepa “Media Joya” (Amaro Estrada *et al.* 2020; Salinas-Estrella *et al.* 2023a, b). También se han obtenido muestras de sangre de bovinos de esta localidad para estudios sobre epidemiología de hemoparásitos (Ueti *et al.* 2012; Castañeda *et al.* 2015; Preciado *et al.* 2021; Salinas-Estrella *et al.* 2022b) con las cuales se ha corroborado un 36% de prevalencia de anaplasmosis en bovinos. En los predios La Cruz Colorada y Cruz del Roble, Tapalpa, y que son utilizados dentro del pastoreo rotacional con el ganado de la Joya, se ha observado la presencia de garrapatas *D. albipictus*, por lo que se considera importante estudiar las características del ciclo de vida de esta especie y sus implicaciones en el mantenimiento y la transmisión de *A. marginale* en los bovinos (Preciado *et al.* 2021). El objetivo del presente trabajo fue el análisis en condiciones de laboratorio del periodo de incubación y oviposición de garrapatas *D. albipictus* recolectadas a partir de equinos de trabajo infestados, en contacto con ganado bovino, en una zona templada con reportes previos de seroprevalencia de anaplasmosis bovina.

Materiales y Métodos

Se recolectaron garrapatas adultas, repletas o semi-repletas, presentes en caballos de trabajo de los predios de pastoreo de ganado bovino La Cruz Colorada y Cruz del Roble, en el municipio de Tapalpa, Jalisco. El muestreo se realizó en invierno en una zona entre los 2068 y los 2800 msnm, temperatura promedio anual de 16.0°C y la mínima media anual es de 8.3°C, alcanzando temperaturas mínimas por debajo de los cero grados centígrados en los meses de invierno (Ruiz-Corral *et al.* 2012).

De 25 a 30 garrapatas se colocaron juntas en cajas de Petri durante su transporte para la identificación de las características morfológicas en las garrapatas recolectadas siguiendo el Manual del SENASICA (2004). La taxonomía se corroboró de acuerdo con un certificado taxonómico emitido por el SENASICA ante la solicitud del productor del ganado, a partir del cual se realizó la recolecta de los ácaros. Las fotografías fueron tomadas con una magnificación de 8x con una cámara de 12 MP, en tamaño de la imagen 4:3. Las garrapatas se lavaron con agua y una solución de benzal al 5% para eliminar restos de tierra y pelo de caballo y se secaron para evitar el crecimiento de hongos. Se realizó el pesaje de cada garrapata con una balanza analítica y la medición se realizó con una regla milimétrica. Se colocaron de forma individual en placas de cultivo de 24 pozos de fondo redondo (Costar®). Siete

placas se mantuvieron en cámara húmeda para monitoreo de temperatura ambiental y humedad. Las garrapatas restantes se mantuvieron en cajas de Petri en incubadora a 37°C.

Todos los días se realizó el registro de la temperatura de la cámara húmeda y el porcentaje de humedad. Se registró la oviposición pesando cada día los huevos y colocando 1 g de huevos en tubos de ensayo de vidrio con tapón de algodón. Los tubos contenedores de los huevos se mantuvieron a 37°C hasta su eclosión. A partir de los datos se calculó el Índice de Eficiencia de Conversión (IEC) como el total de mg de huevos producidos divididos por los mg de peso de las garrapatas (Lysyk, 2014).

Resultados y Discusión

Las garrapatas recién recolectadas se observaron bajo un microscopio estereoscópico, para identificar las etapas de desarrollo (Figura 1) y las características definitorias de la especie, además de diferenciarlas de la garrapata común del ganado *R. microplus*. En la Figura 2 se muestra una comparativa con respecto a la descripción dada para esta especie en el manual de SENASICA (2004), con ayuda del cual se identificaron dichas características. No se obtuvieron ejemplares en etapa larvaria y solo se recolectó un ejemplar macho que no sobrevivió más de dos días (Figura 2).



Figura 1. Etapas de desarrollo de *Dermacentor albipictus*. Se presentan las etapas observadas en las garrapatas recolectadas. Se observa la vista dorsal (Panel A) y la vista ventral (Panel B) de cada etapa. Ninguna larva se encontró entre las garrapatas recolectadas durante el presente estudio (N/A).

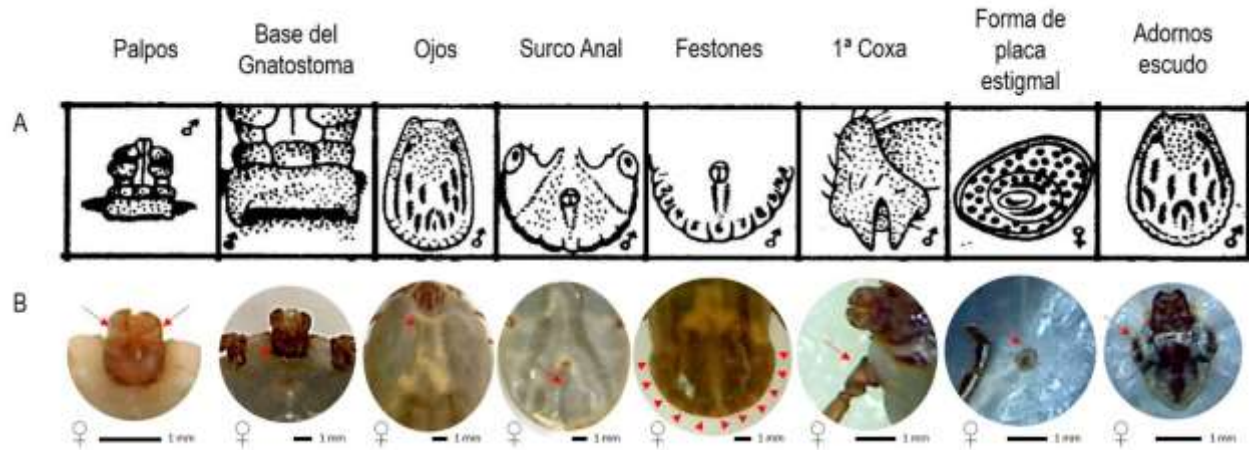


Figura 2. Características morfológicas de *Dermacentor albipictus*. Los detalles indicados por el manual del SENASICA para la identificación taxonómica de las garrapatas *D. albipictus* (Panel A) se señalan (flechas rojas) en las garrapatas recolectadas (Panel B).

El tamaño promedio de las garrapatas fue 10.9 mm de largo y 8.2 mm de ancho (Cuadro 1). El peso vivo de las garrapatas al inicio de la incubación osciló entre 61 mg y 606.8 mg, con promedio de 307.5 mg. Esto indica que son de menor tamaño que las garrapatas *D. andersoni* (Stiles, 1908) (Ixodida, Ixodidae) (469 ± 220.5 mg), con base en lo reportado por Lysyk (2014).

Cuadro 1. Promedios Registrados de Incubación y Oviposición de la Garrapata *Dermacentor albipictus*.

Garrapatas			Oviposición		Eclosión	
Largo (mm)	Ancho (mm)	Peso vivo (mg)	Producción (mg)	Huevo/PV (IEC)	Inicio (día)	Duración (días)
10.90	8.20	307.50	132.28	0.587	28.00	23

La ubicación en la cual se recolectaron las garrapatas coincide con los lugares de recolección reportados anteriormente (Guzmán-Cornejo *et al.* 2016) para la garrapata *D. albipictus*, confirmando la presencia de esta especie en México.

La temperatura ambiental y el porcentaje de humedad fueron monitoreadas por 46 días; el promedio de temperatura fue de 24°C, mientras que la humedad se mantuvo con un promedio de 41% (Figura 3).

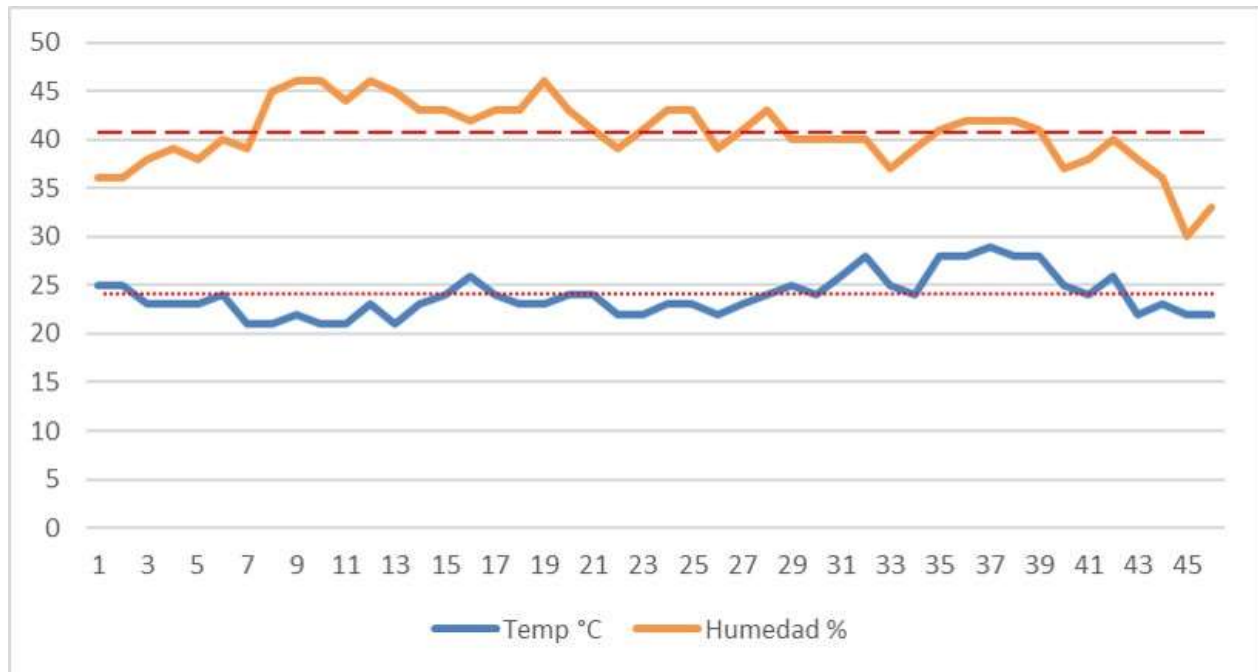


Figura 3. Temperatura ambiental y porcentaje de humedad en el periodo de incubación y oviposición.

Estos resultados indican la gran adaptabilidad de las garrapatas *D. albipictus*, ya que los registros históricos de temperatura en la zona y temporada en que fueron recolectadas se mantienen en un intervalo de 4.2 a 25.2°C (Ruiz-Corral *et al.* 2012). La influencia de la temperatura ambiental en la supervivencia de las garrapatas *D. andersoni* ha sido reportada con anterioridad (Lysyk, 2014) mostrando mayor longevidad a menor temperatura (65 y 33 días a 25 y 30°C). En contraste, los datos obtenidos con garrapatas *D. albipictus*, mostraron un periodo de supervivencia de 30 días en promedio que indica una mayor sensibilidad a altas temperaturas. La temperatura ambiental en condiciones de laboratorio fue superior a la temperatura promedio (16.0°C) del lugar de recolección de las garrapatas (Ruiz-Corral *et al.* 2012). Esto pudo contribuir a que los periodos de incubación (pre-oviposición) no se extendieran y a que el periodo de oviposición (Cuadro 2) en algunos casos tuviera una diferencia de 4 – 10 días menos que la reportada anteriormente (19 – 42 días) por SENASICA (2004) para *D. albipictus*. Al comparar con el mismo periodo de las garrapatas más importantes del ganado en México, la diferencia es de ± 12 días con *R. microplus* o 4.7 a 12.3 días con *Amblyomma cajennense* (Ixodida, Ixodidae) (Fabricius, 1787) (Cuadro 2).



Cuadro 2. Duración de Periodos de la Fase no Parasítica de tres Géneros de Garrapatas.

	<i>Rhipicephalus microplus</i>	<i>Amblyomma cajennense</i>	<i>Dermacentor albipictus</i>	
Periodo de pre-oviposición	2-39 #	9-20 #	7-134 *	15-29
Periodo de oviposición	4-44 #	19.7 *	19-42 *	15-32
Periodo de incubación de huevos	14-146 #	37-154 #	33-71 *	26-29

(cantidades indican días); # Datos tomados de Rodríguez-Vivas et al. 2006; * Datos tomados del Manual de SENASICA 2004.

El inicio de la oviposición para *D. albipictus* se registró 15 días después de su recolecta y se mantuvo de 15 a 32 días, con promedio de 26.2 días (Figura 4); situando estos resultados en el límite inferior de los intervalos citados por SENASICA (2004). De manera similar a lo reportado para *D. andersoni*, el inicio de oviposición a los 13.8 días, con una duración de 33 y 13 días a temperaturas de 15 y 30°C respectivamente; demostrando que la duración de este proceso tiende a disminuir cuando la temperatura se incrementa (Lysyk, 2014).

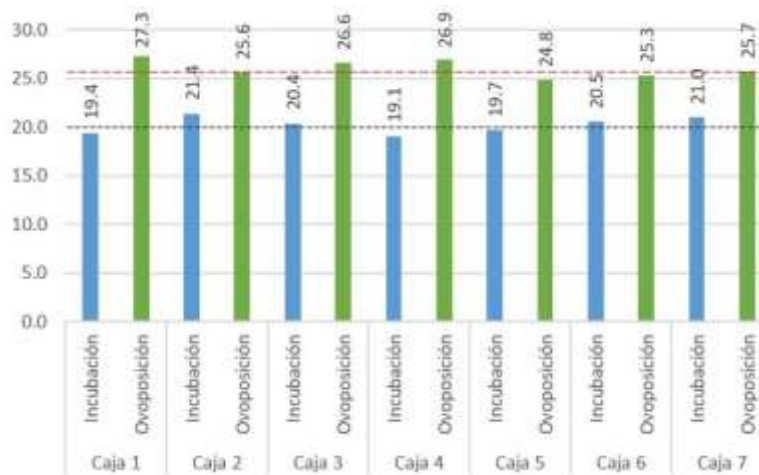


Fig. 4. Promedios de incubación y oviposición. Se muestran los promedios de días de incubación (barras azules) y oviposición (barras verdes) por caja de 24 garrapatas. El promedio total se indica con la línea de rectángulos discontinuos, de incubación 20.2 días (línea azul) y de oviposición 26.2 días (línea roja).

Se obtuvieron 15.34 g de huevos correspondientes a las siete cajas con 24 garrapatas cada una (Cuadro 1). El promedio de oviposición por garrapata fue 200.74 mg, con un intervalo de 1.90 mg a 335.50 mg por garrapata. Estos resultados muestran similitud con lo descrito para *D. andersoni* de 264.5 ± 160 mg



de huevos, con un promedio de 85.4 ± 120.6 mg a 25°C (Lysyk, 2014). En México solamente se ha reportado que las hembras de *D. albipictus* ovipositan una cantidad superior a 4,400 huevos (SENASICA, 2004), sin indicar intervalo de temperatura o cantidad de huevos por mg.

La oviposición promedio como índice de eficiencia de conversión fue de 0.587 ± 0.344 (Cuadro 2), de las garrapatas *D. albipictus*. Este resultado es comparable con el mismo índice reportado para *D. andersoni* de 0.542 ± 0.185 (Lysyk, 2014).

La eclosión (Cuadro 1) empezó a partir del día 28, después del inicio de la oviposición; tuvo una duración de 23 días. Este tiempo es comparable al límite inferior (33-71 días) reportado por SENASICA (2004) para el inicio de la eclosión para *D. albipictus*. En contraste con los datos reportados para *R. microplus* por Rodríguez-Vivas *et al.* (2006), el periodo es de 14 a 146 días hasta el inicio de la eclosión; en tanto que para *A. cajennense*, este periodo es de 37 a 154 días (Cuadro 2).

En comparación con lo descrito en el manual de SENASICA (2004) sobre el ciclo biológico de *D. albipictus*, lo observado en este estudio sobre los periodos de pre-oviposición, oviposición y eclosión de los huevos se encuentra dentro de los intervalos reportados. Presenta similitudes con los periodos reportados para *R. microplus* (Rodríguez-Vivas *et al.* 2006), confirmando que el periodo de oviposición es influenciado negativamente por la temperatura ambiental, ya que la garrapata de invierno sobrevive a menores temperaturas (como su nombre lo indica) que la garrapata del ganado *R. microplus* (Rodríguez-Vivas *et al.* 2006; Lysyk, 2014).

Ya que los équidos pueden ser reservorios de anaplasmosis bovina (Kocan *et al.* 2004), la presencia de las garrapatas *D. albipictus* en caballos de trabajo, en predios de pastoreo rotacional de ganado bovino, representa un factor posible de mantenimiento de organismos hemoparasitarios, que debe estudiarse adecuadamente para descartar su participación en la prevalencia de anaplasmosis bovina. Se debe considerar en especial a los machos de la garrapata *D. albipictus*, los cuales podrían tener un papel preponderante como reservorios y transmisores de esta enfermedad (Kocan *et al.* 2004; Araya-Anchetta *et al.* 2015). Desafortunadamente en este estudio no se obtuvieron ejemplares machos suficientes para realizar estudios de detección y transmisión de anaplasmosis bovina.



Agradecimientos

Se agradece al propietario de los animales Sr. Miguel Preciado Chávez, por informar con oportunidad la infestación de garrapatas, al MVZ. Francisco Martínez Ibáñez de SENASICA por la corroboración de la determinación taxonómica de los especímenes recolectados y al Dr. Estefhan Miranda Miranda por su apoyo técnico en la adquisición de algunas imágenes. La recolección y monitoreo, fueron realizados por los autores sin utilizar financiamiento oficial.

Literatura Citada

- Addison, E. M., and R. F. McLaughlin. 1988. Growth and development of winter tick, *Dermacentor albipictus*, on moose, *Alces alces*. *J. Parasitol.* 74: 670-678.
- Amaro Estrada, I., M. A. García-Ortiz, J. F. Preciado de la Torre, E. E. Rojas-Ramírez, R. Hernández-Ortiz, F. Alpírez-Mendoza, y S. D. Rodríguez Camarillo. 2020. Transmisión de *Anaplasma marginale* por larvas no alimentadas de garrapata *Rhipicephalus microplus* bajo condiciones experimentales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.* 11: 116-131.
- Araya-Anchetta, A., J. D. Busch, G. A. Scoles, and D. M. Wagner. 2015. Thirty years of tick population genetics: a comprehensive review. *Infect., Genet. Evol.* 29: 164-179.
- Beristain-Ruiz, D. M., C. Vital-García, J. V. Figueroa-Millán, J. J. Lira-Amaya, J. A. Garza-Hernández, J. R. Sánchez-Ayala, and G. Pons-Monarez. 2021. Molecular detection of tick-borne pathogens in American bison (*Bison bison*) at El Uno Ecological Reserve, Janos, Chihuahua, Mexico. *Pathogens* 10: 1428.
- Castañeda-Ortiz, E. J., M. W. Ueti, M. Camacho-Nuez, J. J. Mosqueda, M. R. Mousel, W. C. Johnson, and G. H. Palmer. 2015. Correction: association of *Anaplasma marginale* Strain superinfection with infection prevalence within Tropical regions. *PLoS One* 10: e0129415.



- Chenery, E. S., N. J. Harms, N. E. Mandrak, and P. K. Molnár. 2020. First records of *Dermacentor albipictus* larvae collected by flagging in Yukon, Canada. *Parasit. Vectors* 13: 1-7.
- Guzmán-Cornejo, C., R. G. Robbins, A. A. Guglielmone, G. Montiel-Parra, G. Rivas, and T. M. Pérez. 2016. The *Dermacentor* (Acari, Ixodida, Ixodidae) of Mexico: hosts, geographical distribution and new records. *Zookeys* (569): 1.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). 2021. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2020, Cobertura temporal: 2018-2019. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/producto/s/nueva_estruc/702825197513.pdf Consultado el día 23 de noviembre de 2021.
- Kocan, K. M., K. D. Teel, and J. A. Hair. 1980. Demonstration of *Anaplasma marginale* Theiler in ticks by tick transmission, animal inoculation, and fluorescent antibody studies. *Am. J. Vet. Res.* 41: 183-186.
- Kocan, K. M., J. De La Fuente, E. F. Blouin, and J. C. Garcia-Garcia. 2002. Adaptations of the tick-borne pathogen, *Anaplasma marginale*, for survival in cattle and ticks. *Exp. Appl. Acarol.* 28: 9-25.
- Kocan K. M., J. de La Fuente, E. F. Blouin, and J. C. García-García. 2004. *Anaplasma marginale* (Rickettsiales: Anaplasmataceae): recent advances in defining host-pathogen adaptations of a tick-borne rickettsia. *Parasitology* 129: S285–S300.
- Lysyk, T. J. 2014. Influence of temperature on oviposition by *Dermacentor andersoni* (Acari: Ixodidae). *J. Med. Entomol.* 51: 932-940.
- Montiel-Armendáriz, S., C. Verdugo, A. E. Juache-Villagrana, F. Jiménez-Vega, A. Quezada-Casasola, C. Vital-García, and A. Escárcega-Ávila. 2021. Molecular identification and morphological variations of *Dermacentor albipictus* collected from two deer species in northern Mexico. *Exp. Appl. Acarol.*: 84: 473-484.



- Mosqueda, J., A. Olvera-Ramirez, G. Aguilar-Tipacamu, and G. J Canto. 2012. Current advances in detection and treatment of babesiosis. *Curr. Med. Chem.* 19: 1504-1518.
- Preciado, T. J. F., E. E. Salinas, C. M. E. Cobaxin, E. I. Amaro, C. R. E. Quiroz, y C. S. D. Rodríguez. 2021. Detección serológica de animales en contacto con *Anaplasma marginale* mediante el ensayo inmunoenzimático PADIANA VET. Folleto Técnico núm. 24. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Jiutepec, Morelos México.
- Rodríguez, S. D., M. A. G. Ortiz, R. J. Ocampo, and C. A. V. Murguía. 2009. Molecular epidemiology of bovine anaplasmosis with a particular focus in Mexico. *Infect. Genet. Evol.* 9: 1092-1101.
- Rodríguez-Camarillo, S. D., R. E. Quiroz-Castañeda, H. Aguilar-Díaz, J. E. Vara-Pastrana, D. Pescador-Pérez, I. Amaro-Estrada, and F. Martínez-Ocampo. 2020. Immunoinformatic analysis to identify proteins to be used as potential targets to control bovine anaplasmosis. *Int. J. Microbiol.* vol. 2020.
- Rodríguez-Vivas, R. I., A. Rosado-Aguilar, G. Basto-Estrella, Z. S. García-Vázquez, R. Rosario-Cruz, y H. Fragoso-Sánchez. 2006. Manual técnico para el control de garrapatas en el ganado bovino. Publicación técnica No. 4, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Jiutepec, Morelos México.
- Ruiz-Corral, J. A., H. E. F. López, J. R. R. Ruvalcaba, y G. R. Ojeda. 2012. Estadísticas Climáticas Normales del Estado de Jalisco. Libro Técnico No. 2, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN 978-607-425-875-2. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2004. Manual de Identificación Taxonómica de Garrapatas. Centro Nacional de Servicios de Constatación en Sanidad Animal, Dirección General de Salud Animal, Dirección de Campañas. Jiutepec, Morelos, México.



- Salinas-Estrella, E., Ueti, M. W., Lobanov, V. A., Castillo-Payró, E., Lizcano-Mata, A., Badilla, C. and Mosqueda, J. 2022a. Serological and molecular detection of *Babesia caballi* and *Theileria equi* in Mexico: A prospective study. Plos one, 17(3), e0264998.
- Salinas Estrella, E., Ortega Hernández, M. G., Flores Pérez, E., Montenegro Cristino, N., Preciado de la Torre, J. F., Cobaxin Cárdenas, M. E. *et al.* 2022b. Antigen production and standardization of an in-house indirect ELISA for detection of antibodies against *Anaplasma marginale*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 13(4), 1079-1094.
- Salinas-Estrella, E., Amaro-Estrada, I., Cobaxin-Cárdenas, M. E., Preciado de la Torre, J. F. and Rodríguez, S. D. 2022. Bovine Anaplasmosis: Will there ever be an almighty effective vaccine? Frontiers in Veterinary Science, 9, 946545.
- Salinas-Estrella, E., Bautista-Garfias, C.R., Martínez-Ibañez, F., García-Ortíz, M.A., Rodríguez-Camarillo, S.D. *et al.* 2023a. *Rhipicephalus microplus*: Tick classification, morphological identification and life cycle. A Laboratory Manual on Rhipicephalus microplus, 13.
- Salinas-Estrella, E., Cobaxin-Cárdenas, M.E., Hernández-Ortíz, R., Valdez-Espinoza, U.M., Amaro-Estrada, I., Rodríguez-Camarillo, S.D. *et al.* 2023b. Diagnosis of *Babesia* and *Anaplasma* in Ticks. A Laboratory Manual on Rhipicephalus microplus, 332.
- Ueti, M. W., Y. Tan, S. L. Broschat, E. J. Castañeda Ortiz, M. Camacho-Nuez, J. J. Mosqueda, and G. H. Palmer. 2012. Expansion of variant diversity associated with a high prevalence of pathogen strain superinfection under conditions of natural transmission. *Infec. Immun.* 80: 2354-2360.



IMPACTO DEL CAMBIO TECNOLÓGICO Y EL PRECIO DE LOS GRANOS FORRAJEROS SOBRE LA PRODUCCIÓN GANADERA DE MÉXICO: EL CASO DE LA CARNE DE POLLO

Álvaro Nochebuena Molina^{221*} y José Alberto García Sánchez²²¹

Resumen

Con un volumen de 4.6 millones de toneladas, la carne de pollo fue el producto cárnico más consumido en México durante el 2021, representando el 47.8% del total de carne consumida en el país. Por el lado de la oferta, la carne de pollo también resulta importante, ya que el valor de la producción de este producto participó en 2021 con el 24.4% del PIB pecuario y generó más de un millón de empleos. Aunado a lo anterior, otro factor por el cual es importante analizar este mercado radica en el valor nutricional de la carne de pollo, ya que presenta propiedades que la hacen atractiva para consumidores de todas las edades. El objetivo de esta investigación fue determinar los factores que explican el crecimiento de la producción de carne de pollo durante el periodo 1994-2021 para poder estudiar el comportamiento de dicho mercado en México de 1994 a 2021, dada su importancia en la dieta y economía. Para alcanzar el objetivo se calcularon las elasticidades de los principales factores que determinan la producción de carne de pollo en México, los cuales son: a) El precio real al productor de carne de pollo; b) El precio real al productor de carne de cerdo (utilizado como bien competitivo a la carne de pollo); c) El precio real del alimento balanceado; y d) La conversión alimenticia (utilizada como variable tecnológica), utilizando series de tiempo de 1994 a 2021. Los resultados muestran que el desarrollo tecnológico en esta industria es el factor que más podría estimular el crecimiento en la producción de carne de pollo en México.

Palabras clave: conversión alimenticia, elasticidad, desarrollo tecnológico, factores de la producción

²²¹ Economía. Colegio de Postgraduados. *Email: nochebuena.alvaro@gmail.com.



Introducción

Durante 2021, en México se consumieron 9.5 millones de toneladas de carne, siendo la carne de pollo la preferida por los mexicanos con un consumo de 4.6 millones de toneladas, representando el 47.8% del total de la carne consumida en el país. Respecto a la carne de res, cerdo y otros tipos, durante este año su consumo fue de 2.7, 2.0 y 0.3 millones de toneladas, representando el 28.4, 20.8 y 3.0% del total. La carne de pollo tuvo el mayor consumo per cápita durante 2021 con 35 kilogramos. Durante este año, la carne de cerdo, res, frías y otras presentaron un consumo per cápita de 20.8, 15.3, 8.3 y 2.2 kilogramos por año respectivamente (Consejo Mexicano de la Carne [COMECARNE], 2022).

En este sentido, el Consumo Nacional Aparente (CNA) de carne de pollo, compuesto por la producción más las importaciones menos las exportaciones de este producto, de 1994 a 2021, periodo en el cual ha estado vigente el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, hoy T-MEC, ha experimentado un crecimiento del 237.8%, y una tasa de crecimiento medio anual de 5.0%. Durante el 2021 el CNA de carne de pollo fue de 4.7 millones de toneladas, cubriéndose el 78.3% mediante la producción nacional y el resto mediante importaciones (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2023; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022; COMECARNE, 2022). El comportamiento del CNA de carne de pollo en México de 1994 a 2021 se puede observar en la Figura 1, y es probable que el aumento del consumo esté relacionado con el crecimiento de la población y del ingreso del consumidor observado en el periodo señalado.

Por el lado de la oferta, la industria de la carne de pollo resulta importante, debido al valor de su producción y los empleos que genera. El valor de la producción de carne de pollo durante 2021 fue de 128,847 millones de pesos, representando el 24.4% del PIB pecuario, el 10.1% del PIB agropecuario y el 0.5% del PIB nacional. De acuerdo con la Unión Nacional de Avicultores (UNA, 2022) de 2011-2021 el sector avícola sobresalió dada su generación de empleos, creciendo a un ritmo anual de 1.7%, generando en 2021 1.33 millones de empleos, siendo 221 mil empleos directos y 1.10 millones indirectos.

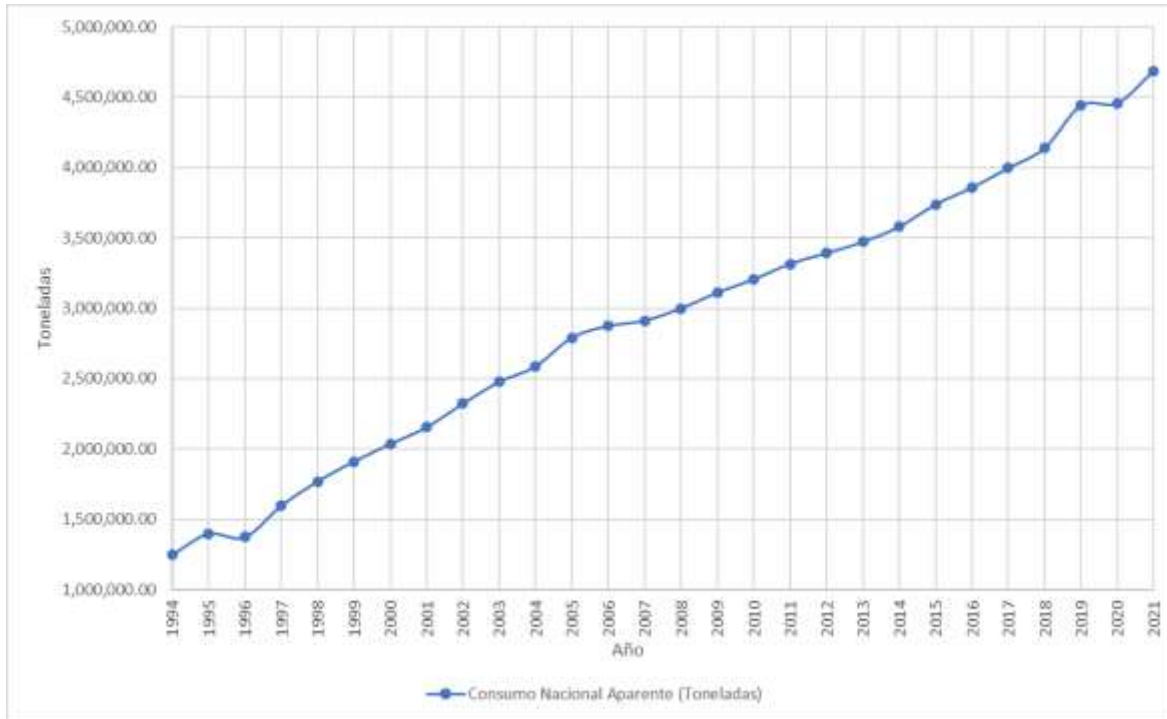


Figura 1. Evolución del Consumo Nacional Aparente de Carne de Pollo en México, 1994-2021.
Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, FAOSTAT y COMECARNE.

Durante el 2021, la producción de este tipo de carne en México se llevó a cabo en las 32 entidades federativas del país, siendo de 3.7 millones de toneladas, lo que representó el 34.2% del total de la producción pecuaria, constituyéndose como la actividad que más contribuyó a nivel nacional (UNA, 2022). En este año solamente cinco estados aportaron más del 50% de la producción nacional de carne de pollo: Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro y Durango, estados que produjeron el 12.6, 11.4, 11.1, 10.1 y 7.3% del total, respectivamente. (SIAP, 2023). Lo anterior se muestra en la Figura 2.

Aunado a lo anterior, el Consejo Mexicano de la Carne (2023) destaca que el pollo es el producto cárnico más consumido en México debido a las siguientes propiedades que hacen que esta carne sea más atractiva para el consumidor mexicano: a) Saludable y de fácil digestión, ya que aporta al cuerpo humano una cantidad importante de diversos nutrientes, tales como proteínas, lípidos, vitamina 3 y minerales como calcio, hierro, zinc, sodio, potasio y magnesio, entre otros. Así mismo, la carne de pollo es baja en grasas ya que la mayor parte de la grasa del pollo se encuentra en su piel, por lo que al retirarla disminuye su contenido de grasa, haciendo que este producto cárnico sea digerido fácilmente y consumido por personas de todas las edades; b) Versátil, dado que esta carne presenta un sabor neutro puede adquirir prácticamente cualquier sabor, lo cual representa una enorme ventaja respecto a otras

carnes dada la gran riqueza culinaria de México; c) Muy accesible, ya que el precio de esta carne es menor al de otros tipos de carne, lo que la hace muy atractiva para el consumidor mexicano.

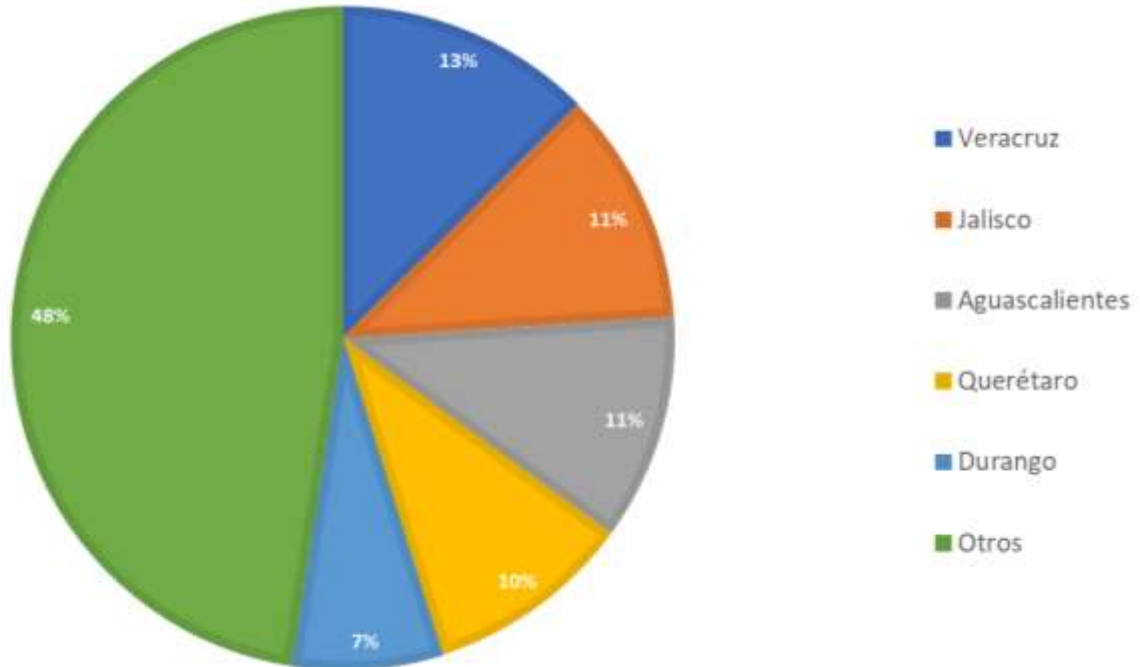


Figura 2. Participación de los principales estados productores de carne de pollo en la producción nacional, 2021. Fuente: elaboración propia con datos del SIAP (2023).

Considerando la importancia de la carne de pollo en la alimentación y economía mexicanas, el objetivo de esta investigación fue obtener elasticidades para los principales factores que determinan la producción de carne de pollo para poder estudiar el comportamiento de dicho mercado en México de 1994 a 2021, entendiéndose como elasticidad al cambio porcentual que experimenta la variable dependiente, en este caso la carne de pollo, con respecto al cambio del 1% en alguna de las variables independientes, *ceteris paribus*. La hipótesis principal considera que aquel factor que presente una elasticidad mayor tendrá un efecto mayor en la producción de carne de pollo.



Materiales y Métodos

Para el cálculo de las elasticidades se estimó una función de oferta para la carne de pollo, encontrando que los principales factores que determinaron la producción de carne de pollo en canal para México de 1994 a 2021 fueron el precio real al productor de carne de pollo (PPCP), el precio real al productor de carne de cerdo (PPCC), el precio real del alimento balanceado rezagado (PRAB) y la conversión alimenticia (CA), la cual fue utilizada como variable tecnológica y fue obtenida mediante el uso del valor reportado por Rigolin (2014) como valor inicial y el valor reportado por la UNA (2022) como valor final. Rigolin (2014) reportó que para 1985 se necesitaban 2.5 kilogramos de alimento balanceado para obtener un kilogramo de este producto cárnico; la UNA (2022) reportó que en 2021 fueron necesarios 1.75 kilogramos de alimento balanceado para obtener un kilogramo de carne de pollo. Para obtener los valores de los años intermedios, se calculó la tasa de crecimiento medio anual referente a la cantidad de alimento balanceado necesaria para obtener un kilogramo de carne de pollo a través de siguiente fórmula: $r = [(Vf/Vi)^{1/(n-1)} - 1] * 100$. Al aplicar la tasa obtenida al valor reportado para el año 1985 se obtuvo el valor calculado para 1986, aplicando de forma sucesiva este proceso hasta llegar al valor reportado por la UNA para 2021. Con esto se obtuvo la cantidad de alimento balanceado necesaria para obtener un kilogramo de carne de pollo. Si se calcula el inverso de esto, se obtiene la cantidad de carne de pollo obtenida a partir de un kilogramo de alimento balanceado, lo que va a permitir observar si el desarrollo tecnológico en este ámbito de la industria de la carne de pollo ha permitido obtener más carne a partir de un kilogramo de alimento balanceado.

El precio real al productor de carne de pollo, el precio real al productor de carne de cerdo y el precio real del maíz y de la soya (principales insumos utilizados en la elaboración del alimento balanceado) fueron obtenidos de deflactar los valores nominales de cada uno de los precios anteriormente mencionados reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), utilizando para ello el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) base 2018 reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

La elección de estos factores tiene como justificación lo estipulado por Tomek & Kaiser (2014) quienes indican que la oferta de un producto agrícola y/o pecuario está en función de: a) Cambios en el precio del bien analizado, en este caso, el precio real al productor de la carne de pollo; b) Cambios en los precios de productos competitivos (que se obtienen a partir de los mismos insumos), utilizando a la carne de cerdo como bien competitivo a la carne de pollo; c) Cambios en el precio de los insumos,



siendo el insumo más importante desde el punto de vista de los costos de producción el alimento balanceado (UNA, 2022); y d) Cambios en la tecnología, en este caso la conversión alimenticia (CA) que van a influir en la eficiencia y costos de producción.

Para analizar el efecto de cada uno de los factores que determinaron la producción de carne de pollo en canal en México de 1994 a 2021 sobre la variable dependiente se realizó el cálculo de elasticidades y cambios porcentuales en ambos tipos de variables. Basados en Chiang y Wainwright (2006) se siguió el siguiente procedimiento: a) Se parte de que la variable QPCP (Cantidad producida de carne de pollo en canal) es igual a la suma de PPCP, PPCC, PRAB y de CA, y de que el valor de los parámetros β 's es igual a la derivada parcial de la variable dependiente en función de las variables independientes; b) Se obtiene el diferencial de QPCP; c) Ambos miembros de función de oferta se dividen por QPCP y; d) Las cuatro variables independientes de la función de oferta se multiplican por 1 (PPCP/PPCP, PPCC/PPCC, etc.).

Lo anterior se puede expresar en términos porcentuales (-) a través de la siguiente ecuación:

$$\overline{QPCP} = \varepsilon_1 \overline{PPCP} + \varepsilon_2 \overline{PPCC} + \varepsilon_3 \overline{PRAB} + \varepsilon_4 \overline{CA} \quad 1)$$

Donde (-) indica cambio porcentual de las variables utilizadas en el modelo; ε_1 es la elasticidad precio propia de la oferta; ε_2 es la elasticidad precio cruzada de la oferta; ε_3 es la elasticidad que relaciona la cantidad producida de la carne de pollo y el precio del alimento balanceado y; ε_4 es la elasticidad que relaciona la oferta de carne de pollo y la conversión alimenticia.

Tomek y Kaiser (2014) mencionan que la elasticidad precio propia de la oferta mide el cambio porcentual en la cantidad ofrecida de un producto ante un cambio del 1% en el precio, *ceteris paribus*; siendo esta similar para las demás variables independientes del modelo. Para analizar el comportamiento futuro que tendría la cantidad producida de carne de pollo en México se usó el valor de las elasticidades y se consideró un aumento en las variables independientes. Se considera un crecimiento hipotético de 15% en el precio al productor de carne de pollo, el precio al productor de carne de cerdo, el precio real del alimento balanceado y la conversión alimenticia, debido a que no se sabe el comportamiento que tendrán estas variables en el futuro.



Resultados y Discusión

Las elasticidades estimadas se muestran en el Cuadro 1, donde se aprecia que el precio real al productor de carne de pollo en México mostró una elasticidad de 0.19, lo que indica un comportamiento directo e inelástico en la cantidad producida de carne de pollo durante el periodo de análisis, ya que ante un aumento del 1% en dicho precio, la cantidad producida de carne de pollo debería aumentar en 0.19%, obteniendo una respuesta menos que proporcional al incremento unitario en su precio. Este resultado es similar a los obtenidos por otros autores en el signo, pero no en valor: a) Rebollar Rebollar *et al* (2019b) reportaron una elasticidad de 0.47; b) Rebollar *et al.* (2019a) obtuvieron una elasticidad de 0.81; c) Vázquez Alvarado y Martínez Damián (2011) reportaron esta elasticidad con un valor de 0.05; mientras que Ramírez González *et al.* (2003) obtuvieron una elasticidad de 0.19, igual a la obtenida en este trabajo. Las diferencias existentes entre los resultados de esta investigación con los resultados encontrados por otros autores tienen su origen en las siguientes razones: a) El uso de series de tiempo diferentes en cada una de las investigaciones; b) La forma en la que se cuantificó el precio de los insumos; por ejemplo, algunas han usado el precio del sorgo y han dejado fuera al maíz y a la soya cuando se considera el precio de los insumos (Rebollar *et al.*, 2019b; Rebollar *et al.*, 2019a; y Ramírez *et al.*, 2003); c) La utilización de diferentes métodos estadísticos para estimar la función de oferta (Vázquez Alvarado y Martínez Damián, 2015).

Cuadro 1. Elasticidades y efectos de cambios en la cantidad producida de carne de pollo ante un incremento hipotético del 15% de las variables independientes.

Indicador	Elasticidad	Cambio en QPCP (%)	Cambio en QPCP (toneladas)	QPCP (toneladas)
Observada, 2019/21	-	-	-	3,574,622
Estimada, 2019/21	-	-	-	3,769,054
Diferencia en %	-	-	-	5.4
PPCP	0.19	-	-	-
Aumento en 15%	-	2.85	107,418	3,876,472



Indicador	Elasticidad	Cambio en QPCP (%)	Cambio en QPCP (toneladas)	QPCP (toneladas)
PPCC	-0.48	-	-	-
Aumento en 15%	-	-7.2	-271,372	3,497,682
PRAB	-0.21	-	-	-
Aumento en 15%	-	-3.15	-118,725	3,650,328
CA	3.79	-	-	-
Aumento en 15%	-	56.85	2,142,707	5,911,761

Fuente: elaboración propia con elasticidades estimadas.

La elasticidad que relaciona la producción de carne de pollo con el precio real al productor de la carne de cerdo (producto competitivo a la carne de pollo) mostró una respuesta inelástica e inversa, ya que su elasticidad fue de -0.48, lo que significa que ante un aumento del 1% en esta variable, la producción de carne de pollo en México va a disminuir en 0.48%, respondiendo menos que proporcionalmente al incremento unitario en el PPCC. Este resultado es similar en el signo, pero menor al reportado por otros autores. Rebollar *et al* (2019b) obtuvieron esta elasticidad con un valor de -0.17 mientras que Rebollar *et al* (2019a) reportaron un valor de -0.09 para esta elasticidad.

La elasticidad que relaciona la producción de carne de pollo con el precio real del alimento balanceado fue de -0.21, presentando un efecto inelástico e inverso, ya que ante un incremento del 1% en el precio del alimento balanceado, la producción de carne de pollo se va a contraer en 0.21%, respondiendo menos que proporcionalmente al incremento unitario en el precio del alimento balanceado. Los valores reportados por otros autores para esta elasticidad son: a) Rebollar *et al* (2019b) obtuvieron un valor para esta elasticidad de -0.11; b) Rebollar *et al* (2019a) reportaron esta elasticidad con un valor de -0.008; y c) Ramírez *et al* (2003) presentaron un valor correspondiente a esta elasticidad de -0.16. Con lo cual, se puede concluir que la elasticidad obtenida en el presente trabajo presenta el comportamiento inverso e inelástico sobre la QPCP que las elasticidades reportadas por otros autores, pero difiere en valor.



La conversión alimenticia mostró una elasticidad de 3.79, lo que implica que con un aumento del 1% en este indicador, la producción de carne de pollo aumentará en 3.79%, presentando un efecto positivo y elástico en la producción de carne de pollo. Otros autores han reportado los siguientes valores para esta elasticidad: a) Rebollar *et al* (2019b) obtuvieron un valor para esta elasticidad de 1.44; b) Rebollar *et al* (2019a) reportaron esta elasticidad con un valor de 1.25; y c) Ramírez *et al* (2003) presentaron un valor correspondiente a esta elasticidad de 1.97. De lo anterior, se concluye que la elasticidad obtenida en este trabajo y las reportadas por los autores mencionados presentan un comportamiento directo y elástico sobre la QPCP, siendo la elasticidad calculada en este trabajo la de mayor valor. Por lo anteriormente mencionado, se concluye que la CA es la variable más determinante en la producción de carne de pollo en México.

Utilizando el valor de las elasticidades y un crecimiento hipotético de las variables independientes del 15%, se hace posible llevar a cabo conjeturas sobre el comportamiento futuro que tendrá la cantidad producida de carne de pollo en México. En la Tabla 1 se presentan los resultados que se mencionan a continuación.

Un aumento en el PPCP del 15%, que en 2021 se ubicó en 29,938 pesos por tonelada provocaría un incremento en la producción de carne de pollo de 107,418 toneladas, representando un aumento del 2.85%.

Un aumento en el PPCC del 15%, que en 2021 fue de 39,852 pesos por tonelada, provocaría una disminución en la QPCP por 271,372 toneladas, lo que se traduce en una disminución del 7.2%.

Un aumento en el PRAB del 15%, que en 2021 fue de 5,509 pesos por tonelada, provocaría una disminución en la QPCP por 118,725 toneladas, lo que se traduce en una disminución del 3.15%.

Un aumento en la CA del 15%, calculada para 2021 en 0.5714 kilogramos de carne pollo obtenidos mediante la utilización de un kilogramo de alimento balanceado, provocaría un incremento en la QPCP por 2.14 millones de toneladas, lo que significa un incremento en la producción de carne de pollo del 56.85%. De lo anterior se observa que la conversión alimenticia, utilizada como variable tecnológica, representa el factor más importante si se busca incrementar la producción de carne de pollo en un futuro.



Conclusiones

De acuerdo con las elasticidades de la oferta de carne de pollo en México y el incremento hipotético de cada factor determinante en su producción utilizados en este trabajo, se concluye que para el periodo 1994-2021 el factor que tuvo mayor impacto en el aumento en la producción de carne de pollo fue la Conversión Alimenticia (CA), que representa los avances tecnológicos en la industria de la carne de pollo, puesto que conforme pasa el tiempo se van desarrollando nuevas variedades de aves que transforman una determinada cantidad de alimento balanceado en más carne en canal. Si se busca continuar con este mismo comportamiento en la producción de carne de pollo se recomienda incentivar la investigación y desarrollo de nuevas variedades genéticas de pollo que continúen incrementando la conversión alimenticia; también se recomienda la difusión y el acceso a las mejores variedades de pollos cuya conversión alimenticia sea la mejor.

Literatura Citada

- Chiang, A. C. y K Wainwright. 2006. Métodos fundamentales de economía matemática. Editorial McGraw Hill. Cuarta Edición. México, D.F. 687 p.
- Consejo Mexicano de la Carne (Comecarne). 2023. Beneficios de la carne de pollo. <https://comecarne.org/beneficios-de-la-carne-de-pollo/#:~:text=La%20carne%20de%20pollo%20es,reduce%20el%20consumo%20de%20grasa.> [consultado el 4 de junio de 2023].
- Consejo Mexicano de la Carne (Comecarne). 2022. Compendio estadístico 2022. https://comecarne.org/wp-content/uploads/2022/05/compendio_estadistico_2022.pdf
- Consejo Nacional de Fabricantes de Alimentos Balanceados y de la Nutrición Animal (CONAFAB). 2022. La Industria Alimentaria Animal de México 2022. México.



- Ramírez, J. A., M. R. García, D. G. García and G. J. Matus. 2003. Un modelo de ecuaciones simultáneas para el mercado de la carne de pollo en México, 1970-1998. *Agrociencia*, 37 (1), 73-84. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30237108>
- Rigolin, P. (2014). ¿Conversión alimenticia 1:1 para 2025?: un vistazo al futuro de la avicultura. <https://www.wattagnet.com/home/article/15508713/conversion-alimenticia-11-para-2025-un-vistazo-al-futuro-de-la-avicultura> [consultado el 4 de junio de 2023].
- Rebollar, R. E., R. A. Rebollar, A. J. Mondragón and T. G. Gómez. 2019a. Oferta y demanda regional de carne de pollo en México, 1996-2016. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10 (4), 917-932. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4839>
- Rebollar, R. E., R. S Rebollar. and S. E. Guzmán. 2019b. Determinantes de la oferta de carne de pollo en México. *Panorama Económico*, 27 (2), 336-348. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7513389>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Producción de carne de pollo en canal, producción de carne de cerdo en canal, producción de maíz y producción de soya. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Tomek, W. G., and H. M. Kaiser. 2014. *Agricultural Product Prices* (5th ed.) Ithaca, New York, USA. Cornell University Press.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2022. *Compendio de indicadores económicos del sector avícola*. Ciudad de México, México. 256 p.
- Vázquez, A. J. M. P., y D. M. A Martínez. 2011. Elasticidades de oferta y demanda de los principales productos agropecuarios de México. Publicación especial Número 51. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatepec, Zacatepec, Morelos, México. <https://www.siiba.conadesuca.gob.mx/siiba/Consulta/verDoc.aspx?num=1132>



EVALUACIÓN DE LA ULTRASONOGRAFÍA OVÁRICA Y CUANTIFICACIÓN DE LA PROGESTERONA PARA DETERMINAR CICLICIDAD ESTRAL EN VACAS

Abraham Frago Islas^{222*}, Jorge Víctor Rosete Fernández²²², Ángel Ríos Utrera²²³ y Rubén Santos Echeverría²²²

Resumen

Se diagnosticó la condición ovárica por ultrasonografía (US) y se cuantificó la concentración de progesterona sérica [P] por electroquimioluminiscencia (EQL), para determinar si la US ovárica infiere ciclicidad estral al detectar un cuerpo (CL) o no (OE) sin la necesidad de cuantificar la [P]. Vacas gestantes de 90 (GE90) y 60 días (GE60), otras con 7 días post estro (PE7) y un último grupo con 5 días de paridas (PP3), se les diagnosticó la condición ovárica por US y se les cuantificó la [P]. Teniendo las referencias anteriores, otro grupo de vacas se integraron a un protocolo de sincronización ovulatoria con un dispositivo (CIDR) intravaginal comercial por 7 días, conteniendo 1.9 g de progesterona, 2 mg intramuscular (im) de benzoato de estradiol al insertar el CIDR, 0.150 mg de D-cloprostenol im al retiro del CIDR (día 7), 1 mg de benzoato de estradiol im al día siguiente del retiro del CIDR y aplicación de 100 µg de GnRH (acetato de gonadorelina) vía im, entre las 52 y 56 horas posteriores de retirado el CIDR. A estas vacas al momento de insertar el CIDR (día 0) y a los 4 días posteriores de aplicada la GnRH, se les hizo US ovárico y se cuantificó la [P]. La US se hizo con sonda de 7.5 MHz y la [P] por electroquimioluminiscencia. Se analizó con GLM de SAS en un modelo para determinar [P], el primer grupo incluyó los efectos de GE90, GE60, PE7 y PP3 y el segundo grupo los efectos de CL y OE al día 0 y post-GnRH. En las vacas GE90, GE60 y PE7 la [P] promedio fue 5.09 ng/mL, mayor ($P<0.05$) que la de las vacas PP3 de 1.43 ng/mL. En el día 0, la [P] de vacas CL fue de 5.07 ± 0.36 ng/ml, mayor ($P<0.05$) que la de vacas OE de 1.12 ± 0.24 ng/ml. En el día post-GnRH la [P] de vacas CL fue de 2.70 ± 0.21 ng/mL, mayor ($P<0.05$) que la de vacas OE de 1.12 ± 0.51 ng/mL. La ultrasonografía resultó ser útil para determinar si una vaca está ciclando o no.

²²² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Autor de correspondencia: fragoso.abraham@inifap.gob.mx

²²³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Veracruzana



Palabras clave: ultrasonido, cuerpo lúteo, electroquimioluminiscencia, ovulación

Introducción

La ultrasonografía útero ovárica en ganado bovino, es una herramienta que se utiliza para el diagnóstico del estado reproductivo a tal grado que ha comenzado a desplazar al diagnóstico por palpación rectal (Corredor y Páez, 2012; de Armas *et al.*, 2018), logrando revolucionar la investigación, pues se ha utilizado ampliamente para conocer entre otros estudios y descubrimientos, la dinámica ovárica en cuanto las ondas foliculares y detección de estructuras (Corredor y Páez, 2012; Ayala *et al.*, 2017). La ultrasonografía en tiempo real es una valiosa técnica para estudiar estructuras anatómicas y funcionales del aparato reproductivo de los bovinos, permitiendo visualizar estructuras antes solo eran detectables en estado estático en la necropsia o la extirpación quirúrgica. El principio de la ultrasonografía es que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para obtener imágenes de tejidos blandos y órganos internos, proporciona un acceso rápido y no invasivo a los órganos reproductivos internos (Pierson *et al.*, 1988, Fontes y Oosthuizen, 2022). Las estructuras contenidas por líquidos (folículos, saco vitelino, algunos órganos), que se visualizan en color negro, no reflejan las ondas sonoras, por lo que son denominadas anecogénicas o no ecogénicas, cuando la mayor parte del sonido se refleja hacia el transductor y se refleja una imagen de color blanco, se habla de imagen ecogénica, como en el caso de huesos y aire. Los tejidos blandos pueden aparecer en distintas clases de grises así, hiperecogénico define a los tejidos que reflejan más sonido que el tejido circundante (huesos del feto) e hipoecogénico que muestra una imagen diferente o que describe la idea contraria (cuerpo lúteo) (Gutiérrez-Lizarazo y Báez-Sandoval, 2014). Por lo tanto, en la práctica clínica reproductiva, su utilización en el ganado bovino se ha desarrollado para conocer el estado ovárico y principalmente la gestación a un tiempo tan corto, desde 28 a 33 días después de la concepción (Corredor y Páez, 2012), así como su utilización en los protocolos de sincronización estral o de la ovulación, para determinar su efectividad en la ovulación (Bo y Caccia, 2000; Gnemini y Maraboli, 2020); sin embargo, la cuantificación de la concentración de progesterona por técnicas de laboratorio, por su efectividad ha seguido predominando, a pesar de que el resultado no está disponible al momento de su requerimiento, dado que se requiere equipos especializados y certificados (Peña *et al.*, 2005). Las técnicas de medición de progesterona en sangre más usadas son: radioinmunoensayo (RIA) y ensayo por inmunoabsorción



ligado a enzimas (ELISA) (El-Sheikh Ali et al., 2017, González *et al.*, 1996). RIA tiene una sensibilidad muy buena con. Aunque el procedimiento tiene sus limitaciones: equipos especializados, manejo estricto de material radioactivo, exposición constante del técnico a radiación, tiempo de incubación alta y la producción final de residuos radioactivos (González *et al.*, 2002, Hershlag *et al.*, 2000). En cuanto a ELISA se utiliza más rutinariamente, debido a su presentación en kit. El procedimiento de este método es más simple, no requiere instalaciones de laboratorio sofisticadas y el tiempo para lograr los resultados es más rápido en comparación con RIA. Sin embargo, el análisis también tiene algunas desventajas: baja especificidad, menor precisión y alta posibilidad de falsos positivos/negativos (Sakamoto *et al.*, 2018, González *et al.*, 2002, Leyva-Ocariz y Munro, 1988). Con base a lo anterior, en los últimos años se ha determinado la progesterona con métodos no isotópicos, así como la electroquimioluminiscencia (ELC), que, en términos generales, es una forma de quimioluminiscencia en el cual una reacción quimioluminiscente emisora de luz es precedida por una reacción electroquímica (Ayad *et al.*, 2014). El análisis del ELC presenta más beneficios a comparación de los inmunoensayos tradicionales, pues se puede utilizar un kit específico de progesterona humana para determinar la progesterona plasmática de bovinos Ayad *et al.*, 2014). Por esta razón, el objetivo de este estudio fue determinar en un hato, sí la ultrasonografía ovárica infiere ciclicidad estral a través de la presencia o ausencia de un cuerpo lúteo, sin la necesidad de recurrir a la cuantificación de la concentración de progesterona sérica por electroquimioluminiscencia, como indicador de ciclicidad estral y ovulación por efecto de un tratamiento hormonal como lo es la sincronización de la ovulación.

Material y Métodos

Lugar de realización

El estudio se realizó en el Sitio Experimental las Margaritas del INIFAP, ubicado en el municipio de Hueytamalco, Puebla, a una altura sobre el nivel del mar de 450 m, el clima es subtropical húmedo.

Animales

Se utilizaron un total de 92 vacas que estuvieron en pastoreo rotacional en zacates nativos (*Axonopus* sp y *Paspalum* sp) y Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), con acceso al agua en abrevaderos naturales, además diariamente se les proporcionaron minerales. Se hicieron dos grupos, uno con 48



vacas con conocido estado reproductivo: vacas gestantes de 90 días, gestantes de 60 días, de 7 días posteriores al estro y de 5 días posteriores al parto; con esto se aseguró que las gestantes y las de 7 días posteriores al estro, tuvieran un cuerpo lúteo y las de 5 días posteriores al parto no tuvieran un cuerpo lúteo al diagnóstico ultrasonográfico. En el segundo grupo se incluyeron 44 vacas las que recibieron un protocolo de sincronización de la ovulación para conocer la eficacia de la ultrasonografía ovárica para detectar animales ciclando o no, corroborado con la concentración de progesterona sérica. El protocolo de sincronización de la ovulación consistió en la inserción y permanencia intravaginal por 7 días de un dispositivo intravaginal (CIDR) conteniendo 1.9 g de progesterona, complementado con 2 mg intramuscular (im) de benzoato de estradiol al insertar el CIDR, 0.150 mg de D-cloprostenol im al retiro del CIDR (día 7), 1 mg de benzoato de estradiol im al día siguiente (día 8) del retiro del CIDR y 100 µg vía im de GnRH (acetato de gonadorelina), entre las 52 y 56 horas posteriores de retirado el CIDR.

Toma de muestras de sangre, ultrasonografía ovárica y análisis de progesterona

En el primer grupo, a todas las vacas se les tomó una muestra de sangre para la obtención del suero y en el mismo momento se practicó la ultrasonografía ovárica. La muestra de sangre se tomó con un tubo vacutainer sin anticoagulante para poder obtener el suero por centrifugación a 4000 rpm en 10 minutos. La progesterona se analizó por medio de electroquimioluminiscencia validado en un laboratorio comercial. El diagnóstico del estado ovárico se hizo por medio de ultrasonografía vía rectal con un transductor de 7,5 MHz (Marca Sonoscape, Modelo A5).

En el segundo grupo, a las vacas al momento de insertar el CIDR (día 0) y a los 4 días posteriores de aplicar la GnRH, se les tomó una muestra de sangre para la obtención del suero y en el mismo momento se practicó la ultrasonografía ovárica. La muestra de sangre se tomó con un tubo vacutainer sin anticoagulante para poder obtener el suero por centrifugación a 4000 rpm en 10 minutos. La progesterona se analizó por medio de electroquimioluminiscencia. La ultrasonografía ovárica se tomó con una sonda de 7.5 MHz.

Análisis estadístico

La información se analizó con el procedimiento de modelos lineales generalizados (GLM) del paquete SAS. En el primer grupo, el modelo incluyó como variable de respuesta la concentración de progesterona sérica y como efectos fijos el estado reproductivo de la vaca: gestante de 90 y 60 días, de 7 días posteriores al estro y de 5 días posteriores al parto. En el segundo grupo, el modelo incluyó como variable de respuesta la concentración de progesterona sérica y como efecto fijo la condición



ovárica al insertar el CIDR (día 0) y la condición ovárica a los 4 días posteriores de haber aplicado la GnRH.

Resultados y Discusión

En el Cuadro 1, se muestra la concentración de progesterona para el primer grupo de las vacas con conocido estado reproductivo (gestantes de 90 y 60 días, con siete días posteriores al estro y a los 5 posparto). Las vacas gestantes y con 7 días posteriores al estro, que a la ultrasonografía presentaron un cuerpo lúteo, tuvieron mayor concentración de progesterona ($P < 0.05$) que las vacas con 5 días postparto que no presentaron cuerpo lúteo. Entre las vacas gestantes y las de siete días posteriores al estro, la concentración de progesterona no fue diferente ($P > 0.05$).

Cuadro 1. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar de la concentración de progesterona, por estado reproductivo de vacas gestantes de 90 días (GE90), gestantes de 60 días (GE60), 7 días post estro (PE7) y al quinto día posparto (PP5).

Estado reproductivo	Observaciones	Progesterona (ng/ml)
GE90	16	4.92 ± 0.53^a
GE60	8	5.24 ± 0.75^a
PE7	12	5.11 ± 0.58^a
PP5	12	1.43 ± 0.61^b

^{a,b} Literales distintas por columna son diferentes ($P < 0.05$).

En el segundo grupo, las vacas que a la ultrasonografía presentaron un cuerpo lúteo tuvieron una concentración de progesterona mayor ($P < 0.05$) que las vacas que no presentaron un cuerpo lúteo (Cuadros 2 y 3). Adicionalmente, hubo dos vacas que al ultrasonido presentaron quiste Lúteo (Cuadro 2), por lo que la concentración de progesterona en estas vacas fue mayor ($P < 0.05$) a las vacas que tuvieron un cuerpo lúteo.



Cuadro 2. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar de la concentración de progesterona, por condición ovárica: presencia de cuerpo lúteo (CL), ausencia de cuerpo lúteo (OE) y quiste lúteo (QL) en vacas, al inicio del CIDR.

Condición ovárica	Observaciones	Progesterona (ng/ml)
CL	21	5.07 ± 0.36 ^a
OE	21	1.12 ± 0.24 ^b
QL	2	11.82 ± 0.87 ^c

^{a,b,c} Literales distintas por columna son diferentes (P<0.05).

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos y errores estándar de la concentración de progesterona por condición ovárica: presencia de cuerpo lúteo (CL) y ausencia de cuerpo lúteo (OE) al evaluar la ovulación a los 4 días posteriores de la aplicación de la GnRH.

Condición ovárica	Observaciones	Progesterona (ng/ml)
CL	40	2.70 ± 0.21 ^a
OE	4	1.12 ± 0.51 ^b

^{a,b} Literales distintas por columna son diferentes (P<0.05).

En el primer grupo, que fueron las vacas con conocido estado reproductivo: gestantes de 90 y 60 días, con 7 días posteriores al estro y a los 5 días posparto, la presencia de un cuerpo lúteo por ultrasonografía ovárica coincidió con la mayor concentración de progesterona (de 4.92 ± 0.53 a 5.24 ± 0.75 ng/mL) de vacas gestantes de 90 y 60 días y con 7 días posteriores al estro, y la ausencia de un cuerpo lúteo coincidió con la menor concentración de progesterona (1.43±0.61 ng/mL) de vacas con 5 días posparto (Cuadro 1). Otros autores también documentaron la coincidencia de la presencia de cuerpo lúteo determinando por ultrasonografía con la concentración alta de progesterona, pero también documentaron que el tamaño del folículo y el cuerpo lúteo tienen que ver con la mayor concentración de progesterona en sangre (Ayala *et al.*, 2017).

La concentración de progesterona en presencia de un cuerpo lúteo en este estudio resultó ser menor a la mencionada por Ayala *et al.*, (2017), la que fue desde 11.0 hasta 18.4 ng/ml, en los días 6 y 12 después de la ovulación. En este estudio, las vacas sincronizadas que no tuvieron cuerpo lúteo fueron considerada en anestro, al ser comparadas con las vacas con 5 días posparto que tampoco tuvieron cuerpo lúteo y una concentración de progesterona igual o menor a 1.43±0.61 ng/mL y las vacas con cuerpo lúteo, se pueden considerar ciclando, teniendo una concentración de progesterona mayor a 1.43±0.61 ng/mL.



Por lo tanto, la ultrasonografía es una buena herramienta para el seguimiento reproductivo de los bovinos, pues se puede inferir el estado ovárico de las vacas pudiendo sustituir la cuantificación de la concentración de progesterona (Gutiérrez-Lizarazo y Báez-Sandoval, 2014; Monroy *et al.*, 2018; McDougall and Rhodes, 1999; Kastelic *et al.*, 1990).

Adicionalmente, estos resultados muestran que, con la electroquimioluminiscencia, la concentración de progesterona sérica menor a 1.43 ± 0.61 ng/mL, se relaciona para animales en anestro y una concentración mayor para animales ciclando. Tomando los resultados de este estudio, la concentración de progesterona se puede tomar como valor de referencia de la ciclicidad estral, pero el uso de la ultrasonografía sería suficiente para determinar si un animal está en anestro o ciclando, siempre que se realice con el equipo adecuado y con el personal capacitado, condicionante importante para la aplicación de la ultrasonografía, como una biotecnología útil y precisa.

Conclusiones

La ultrasonografía resulta ser una buena herramienta para el control, diagnóstico de la ciclicidad estral y ovulación en vacas, por lo que se puede integrar en conjunto con la aplicación de biotecnologías reproductivas, dado que coincide con la cuantificación de la progesterona por electroquimioluminiscencia, como valores de referencia, en este estudio.

Agradecimientos

Al INIFAP por el apoyo en recursos para la realización de este trabajo.

Literatura Citada

Ayad, A., M. Iguer O. y H. Benbarek. 2014. Electrochemiluminescence immunoassay for progesterone by using a heterologous system in plasma bovine. *Veterinary World* 7 (8): 610-613. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2014.610-613>



Ayala, G.L.E., J.L. Pesántez, P., E.R. Rodas C., M.S. Méndez Á., M.E. Soria P., C.S. Torres I. *et al.* 2017. Tamaño del folículo ovulatorio, cuerpo lúteo y progesterona sanguínea en vaquillas receptoras de embriones de tres razas en pastoreo en Ecuador. *Revista Producción Animal* 29(2):65-72.

Bo, G.A. y M. Caccia. 2000. Ultrasonografía reproductiva en ganado bovino. *Taurus* 2 (5): 23-39.

Corredor, C.E.S. y E.M. Páez. 2012. Aplicaciones de la ultrasonografía en la reproducción bovina: Revisión. *Ciencia y Agricultura* 9(121): 29-37.

de Armas, R., M. J.M. De Gracia y A. Solís. 2018. Características del cuerpo lúteo en hembras bovinas sacrificadas y su relación con la categoría de longevidad reproductiva. *Revista Científica Investigaciones Agropecuarias* 1(1).
https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/274/238.
[Consultado 06 de junio de 2023].

El-Sheikh, A.H., G. Kitahara, T. Takahashi, S. Mido, M. Sadawy, I. Kobayashi. *et al.* 2017. Plasma anti-Müllerian hormone profile in heifers from birth through puberty and relationship with puberty onset. *Biol Reprod* 97(1):153-161. doi: 10.1093/biolre/iox069. PMID: 28859283.

Fontes, P.L.P. and N. Oosthuizen. 2022. Applied Use of Doppler Ultrasonography in Bovine Reproduction. *Frontiers in Animal Science* 3:912854. doi: 10.3389/fanim.2022.912854.

Gnemini, G. y C. Maraboli. 2020. La ultrasonografía en los programas de sincronización. Séptimas Jornadas Taurus de Reproducción Bovina 56-69. <https://www.bovinevet.com/wp-content/uploads/2020/07/ULTRASONOGRAFIA-Y-PROGRAMA-REPRODUCTIVOS-1.pdf>.
[Consultado el 02 de junio de 2023].



- González, D. J.J., A. Villa G. y H. Román P. 1996. Determinación de progesterona mediante un ensayo inmunoenzimático para toma de decisiones de manejo reproductivo y determinación de estas pérdidas en vacas de doble propósito mantenidas en clima tropical. *Tec. Pecu. Mex.* 34 (3): 152-159
- González, S.R.M., M.C. Arranz C. y G. García D. 2002. Desarrollo de un método inmunoenzimático para determinar progesterona. *Revista Cubana de Endocrinología* 13 (2) versión On-line ISSN 1561-2953. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-29532002000200004 [Consultado el 01 de julio de 2023]
- Gutiérrez-Lizarazo, D.E. y G.M. Báez-Sandoval. 2014. La ultrasonografía en bovinos. *Cúcuta-Colombia* 19 (1): 99-106.
- Hershlag, A., M. Zinger, M. Lesser, G. Scholl y L. Bjornson. 2000. Is chemiluminescent immunoassay an appropriate substitution for radioimmunoassay in monitoring estradiol levels. *Fertil Steril.* 73(6):1174-8. doi: 10.1016/s0015-0282(00)00514-8. PMID: 10856478.
- Kastelic, J.P., D.R. Bergfelt and O.J. Ginther. 1990. Relationship between ultrasonic assessment of the corpus luteum and plasma progesterone concentration in heifers. *Theriogenology* 33(6): 1269-1278. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(90\)90045-U](https://doi.org/10.1016/0093-691X(90)90045-U)
- Leyva-Ocariz, H. y C. Munro. 1998. Comparación del uso de RIA Y ELISA en la determinación de progesterona en cabras durante el ciclo estrual. *Revista Científica, FCV-LUZ* 8 (1): 63-67.
- McDougall, S. and F.M. Rhodes. 1999. Detection of a corpus luteum in apparently anoestrus cows by manual palpation, transrectal ultrasonography and plasma progesterone concentration. *New Zealand Veterinary Journal* 47(2): 47-52. DOI: 10.1080/00480169.1999.36110
- Monroy, G.M., C. Jiménez E. y A. Hernández V. 2018. Morfometría folicular y luteal, concentración de progesterona y éxito de la gestación en vacas Holstein (*Bos taurus*) en el trópico alto (Colombia). *Rev. MVZ. Córdoba* 23 (2): 6681-6695.



Peña, P., P. Herrera, N. Roa, B. Birbe, O. Colmenares y N. Martínez. 2005. Comparación de tres métodos para determinar actividad ovárica en novillas cruzadas a pastoreo. *Revista Científica, FCV-LUZ* 15 (4): 345 – 352. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95915408.pdf> [Consultado el 04 de junio de 2022].

Pierson, R.A., J.P. Kastelic and O.J. Ginther. 1988. Basic principles and techniques for transrectal ultrasonography in cattle and horses. *Theriogenology* 29 (1): 3-20 [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(88\)90028-3](https://doi.org/10.1016/0093-691X(88)90028-3)

Sakamoto, S., W. Putalun, S. Vimolmangkang, W. Phoolcharoen, Y. Shoyama, H. Tanaka. et al. 2018. Enzyme-linked immunosorbent assay for the quantitative/qualitative analysis of plant secondary metabolites. *Journal of Natural Medicines* 72(1):32-42. <https://doi.org/10.1007/s11418-017-1144-z>



FACTORES QUE AFECTAN LA TASA DE GESTACIÓN EN BOVINAS TRANSFERIDAS CON EMBRIONES CEBÚ EN TRÓPICO

Román Fernández Orlando^{224,225}, Alondra Zavaleta Martínez²²⁶, Manlio Alpirez Mendoza²²⁴,
Manuel Barrientos Morales^{224,226}, Araceli Rodríguez Andrade²²⁷, Patricia Cervantes Acosta^{224,226},
Antonio Hernández Beltrán^{224,226} y Belisario Domínguez Mancera^{224,226*}

Resumen

La transferencia de embriones (TE) surge con la finalidad de incrementar la descendencia de animales con genética valiosa. Sin embargo, existen múltiples factores que afectan el éxito de TE sobre la tasa de gestación (TG) con embriones producidos *in vitro*, provenientes de aspiración folicular (OPU). Con el propósito de estudiar dichos efectos en programas de TE producidos *in vitro* en el trópico, se analizaron 1087 TE de raza cebú, durante el periodo de marzo 2022-abril 2023; Las donadoras y receptoras fueron mantenidas bajo un sistema de pastoreo extensivo con pastos nativos. En la donadora, los factores extrínsecos analizados fueron: la unidad de producción pecuaria (UPP) (n=13), veces que realizan TE en UPP (1 vez, >1 vez), región/zona (n=4), época (seca o lluvia) y estación del año de OPU; los intrínsecos fueron: raza (Guzerat, Gyr, Sardo Negro, Brahaman, Nelore, Indobrasil), semen (convencional o sexado), toro (Holstein, Gyr, Sardo Negro, Brahaman, Guzerat, Nelore), calidad y desarrollo embrionario. Los factores analizados en la receptora fueron: tamaño de cuerpo lúteo (CL1, CL2 y CL3), época (seca o lluvia) y estación en que se realizó la TE. La estadística se realizó con STATISTICA v10. Con χ^2 para el análisis de los efectos principales y multivariado de agrupamiento para estimar las asociaciones. La TG general fue de 37.99 ± 1.47 , hubo diferencias ($p < 0.05$) entre las UPP (2.78–75%), la época, la estación y la región/zona donde se realizó la OPU fueron diferentes ($p < 0.05$) no así las veces en que se ha realizado TE. La calidad ($p < 0.05$) tuvo efecto sobre la TG, siendo excelentes (38.87 ± 1.53) y buenos (26.32 ± 50.8). En la receptora, la época y la estación del año tuvieron efecto ($p < 0.05$). El análisis de agrupamiento mostro asociación ($r > 0.90$) de la estación y la época cuando se realizó la OPU con la TG; el semen, la calidad y desarrollo embrionario tuvieron una

²²⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana. *beldominguez@uv.mx

²²⁵ Embriomex, Laboratorio de Reproducción Bovina.

²²⁶ Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Veracruzana.

²²⁷ Departamento de Química y Bioquímica, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz.



mayor asociación con TG ($r > 0.80$). Los factores ambientales al momento de la OPU y la calidad del embrión transferido son factores que considerar en programa de TE de embriones cebú producidos en el trópico húmedo.

Palabras clave: estrés por calor, biotecnología reproductiva, transferencia embrionaria

Introducción

El objetivo de la TE es incrementar la descendencia de animales con alto valor genético, que consiste en colocar embriones provenientes de donadoras al útero de una hembra receptora sincronizada, que será la encargada de mantener la gestación hasta llegar a término (Duica *et al.*, 2007); así mismo, se hace uso de las tecnologías reproductivas como la aspiración folicular transvaginal guiada por ultrasonografía OPU por sus siglas en inglés (Galli *et al.*, 2001), protocolos para la superovulación al sincronizar las ondas foliculares e induciendo el estro de donadoras de embriones con la finalidad de que se produzcan ovocitos viables para fecundarlos *in vitro*, y así posteriormente transferirlos a una receptora (Soria *et al.*, 2018). Si bien, con el uso de las biotecnologías reproductivas se crea un avance genético, los resultados se ven afectados por múltiples factores (Kafi y McGowan, 1997) denominados intrínsecos; como la raza o el grupo genético, la edad, la paridad, la condición corporal de la hembra bovina donadora al momento de la OPU; además de los llamados factores extrínsecos que afectan a ambas hembras; como el ambiente, el manejo sanitario y nutricional, la zona agroecológica donde se localiza la unidad de producción pecuaria UPP; en la receptora bovina, el estadio de desarrollo, la calidad embrionaria; así como el tamaño y ubicación del cuerpo lúteo de hembra receptora al momento de hacer la TE, entre otros; la sumatoria de todos estos efectos dan como consecuencia el aumento en la probabilidad del éxito o el fracaso de la gestación (Ferraz *et al.*, 2016; Hernández, 2019). Es por ello, que el presente trabajo pretende analizar e identificar algunos de los efectos intrínsecos y extrínsecos más comunes que modulan la probabilidad de la gestación en receptoras bovinas cruzadas en condiciones de ambiente tropical en programas de transferencias de embriones producidos *in vitro* provenientes de hembras bovinas donadoras cebú.



Materiales y Métodos

Declaración ética

Todos los procedimientos de manejo, inmovilización, aspiración folicular y transferencia de embriones realizados a las vacas donadoras (OPU) y a las receptoras (TE) dentro de las unidades de producción pecuaria por los servicios veterinarios fueron evaluados y aprobados con número de registro COBIBA010/2022 por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana.

Ubicación

El estudio se realizó en 13 unidades de producción pecuaria (UPP) ubicadas en tres zonas con características agroecológicas similares (Zona 1 [n= 2]; Zona 2 [n= 2]; Zona 3 [n= 1], Zona 4 [n= 8]) de la región del trópico mediante la clasificación del clima por Köppen-Geiger (Beck *et al.*, 2018) mexicano con temperaturas que oscilaron entre los 15 a 32°C y humedad relativa del 35 al 100%; en el periodo de marzo 2022 - abril 2023. Todas las vacas (donadoras y receptoras) fueron mantenidas bajo un sistema de pastoreo extensivo con pastos nativos *Cynodon nlemfuensis* y *Brachiaria humidicola* (Cruz *et al.*, 2017).

Obtención de ovocitos

Se realizó aspiración folicular (OPU) a las donadoras cebú en la respectiva UPP de acuerdo con la metodología propuesta por Galli *et al.*, 2001. Se realizó la búsqueda de ovocitos en campo y fueron llevados al laboratorio mediante una incubadora portátil (Minitube, Modelo ref:19180/0001) de ovocitos a una temperatura de 38.5°C con gaseo automático cada dos horas hasta llegar al laboratorio (Stringfellow y McGowan, 1997).

Embriones

Los embriones transferidos fueron producidos *in vitro*, con semen convencional o sexado y preservados en fresco hasta el momento de la TE (~7 después de la OPU). Al momento de la transferencia se encontraban en etapa de Blastocisto temprano (5), Blastocito (6), Blastocito expandido (7), Blastocito eclosionado (8) Blastocito eclosionado expandido (9) con una calidad embrionaria buena o excelente (Stringfellow y McGowan, 1997; Stringfellow *et al.* 2010), y se utilizó la técnica no quirúrgica transcervical para la TE (Palma, 2008).



Cuerpo lúteo

Previo a la transferencia de embriones, se evaluó como criterio de inclusión la presencia, el tamaño y localización del cuerpo lúteo por ultrasonografía (Ibex Pro/r L7HD transducer, E.I. Medical Imaging, Loveland, Colorado, USA) con base en la clasificación propuesta por Abdulkadir (2016), donde: CL1 $\geq 2.0 \text{ cm}^2$ ($\geq 18 \text{ mm}$), CL2 $1.5 - 2.0 \text{ cm}^2$ ($\geq 14 \text{ mm}$ y $< 18 \text{ mm}$), CL3 $< 1.5 \text{ cm}^2$ ($> 10 \text{ mm}$ y $< 14 \text{ mm}$).

Diagnóstico de gestación

La gestación se determinó entre ~45 días posteriores a la transferencia embrionaria por ultrasonografía (Ibex Pro/r L7HD transducer, E.I. Medical Imaging, Loveland, Colorado, USA), siendo la variable de respuesta dicótoma, donde 0 = vacía y 1= gestante.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron en el programa estadístico STATISTICA v10.0 para Windows StatSoft, Inc. (2011). Con el uso de tablas de contingencia 2^k , y el uso de la distribución de χ^2 , para encontrar las proporciones entre cada efecto principal (probabilidad) de los efectos intrínsecos, así como los extrínsecos; además se realizó análisis multivariados de agrupamiento para encontrar asociaciones entre las variables de los efectos intrínsecos y extrínsecos de la hembra donadora con la gestación en la hembra receptora. Para la agrupación gráfica (Dendograma) de los conglomerados se aplicó el método de Distancia Euclidiana Completa y amalgamados mediante el procedimiento de agrupamiento de pares no ponderados y normalizada mediante 1-r de Pearson ([Distancia de Unión / Distancia Máxima]*100).

Resultados y Discusión

En primera instancia se realizó un diagrama de Ishikawa, también conocido como de espina de pescado; el análisis es una herramienta visual que tiene un formato de gráfico y su principal función es ayudar en los análisis de organización de los datos que se han obtenido de muchas variables. Su uso más común es para encontrar la causa de un problema en su raíz (Figura 1).

Como se puede apreciar en la Figura 1, los factores analizados se han agrupado en dos grupos de variables que modulan la probabilidad de que una hembra bovina receptora quede gestante con embriones producidos *in vitro* provenientes de hembras donadoras cebú.

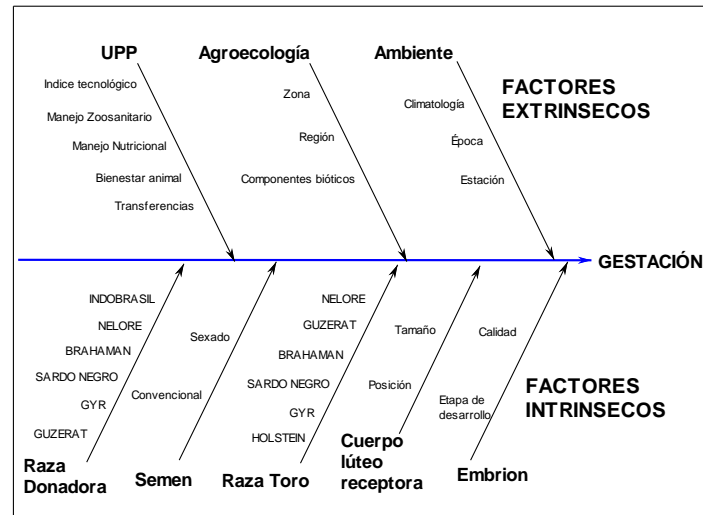


Figura 1. Diagrama de causa efecto de las variables analizadas para encontrar la probabilidad (porciento) de gestación en unidades de producción con diferentes ambientes agroecológicos y manejos en programas de transferencia de embriones cebú en el trópico.

Los extrínsecos: UPP, número de veces que han realizado las transferencias en el año, la zona/región agroecológica, la época y la estación del año; así como los intrínsecos: Raza de la donadora cebú, raza del toro utilizado, el manejo del semen, el tamaño del cuerpo lúteo de la receptora cruzada, el embrión utilizado en su desarrollo y calidad. Todos estos factores fueron analizados por separado con la finalidad de encontrar diferencias ($p < 0.05$) entre sus niveles de medición (Cuadro 1, 2 y 3).

En el Cuadro 1 se aprecia que cada unidad de producción pecuaria (UPP $n=13$) tiene diferentes probabilidades (tasas de gestación) mostradas en porcentos de que una receptora bovina tenga éxito (gestación). Así como en la variable número de veces que la UPP ha realizado la práctica de TE; 1 ocasión o más de 1. Las zonas agroecológicas analizadas son diferentes ($p < 0.05$), donde se aprecia que las zonas 2, 3 y 4 tienen mejores probabilidades (tasas) de gestación con respecto a la zona 1. La época del año, (secas y lluvias) así como la estación (primavera, verano, otoño e invierno) son factores por considerar en un programa de transferencia de embriones ya que las temperaturas, humedades, radiación solar, y viento modifican el comportamiento de las hembras bovinas receptoras, así como las hembras bovinas donadoras de ovocitos.



Cuadro 1. Efecto de factores extrínsecos de las hembras bovinas donadoras Cebú sobre la tasa de gestación en hembras bovinas receptoras cruzadas.

Variable	Categoría	Gestación (%)	N (1087)	EE (%)	Significancia (p)
UPP	1	2.78	36	2.78	0.0001
	2	38.80	183	3.61	
	3	58.33	24	10.28	
	4	43.86	57	6.63	
	5	50.00	16	12.91	
	6	31.58	38	7.64	
	7	38.22	225	3.25	
	8	42.86	147	4.10	
	9	42.57	101	4.94	
	10	39.58	48	7.13	
	11	24.35	115	4.02	
	12	75.00	44	6.60	
	13	18.87	53	5.43	
Transferencias	1	43.75 ^a	96	5.09	0.224
	>1	37.44 ^a	991	1.54	
Zona/Región	Zona 1	19.21 ^a	151	3.22	0.0001
	Zona 2	40.54 ^b	185	3.62	
	Zona 3	43.86 ^b	57	6.63	
	Zona 4	40.92 ^b	694	1.87	
Época	Seca	44.55 ^b	550	2.12	0.0001
	Lluvia	31.28 ^a	537	2.00	
Estación	Invierno	43.98 ^b	216	3.39	0.0121
	Primavera	37.57 ^b	511	2.14	
	Verano	29.77 ^a	215	3.13	
	Otoño	42.76 ^b	145	4.12	

^{a,b} Literales diferentes entre fila de la misma columna (%) son significativos (p < 0.05).



Con respecto al análisis de los factores intrínsecos de la donadora bovina cebú (Cuadro 2), en el efecto de raza, la probabilidad de gestación en la hembra receptora es menor con el uso de embriones de la raza Sardo Negro que en las otras razas, cabe señalar que los embriones de las razas Nelore e Indo Brasil, son pocos los datos que se cuenta. El uso de semen sexado para la obtención de embriones también fue analizado y no se encontró diferencia ($p > 0.05$) en esta variable, no así en la raza del toro que se utilizó para la obtención de embriones, siendo más bajo con el uso del semen de origen Sardo Negro y el más alto el de raza Guzerat y Nelore, con este último pocos datos. El desarrollo embrionario al momento de la transferencia en sus diferentes estadíos, no se encontró diferencia ($p > 0.05$), solo la calidad en la cual se encontraban si mostró diferencia ($p < 0.05$).

Cuadro 2. Efecto de factores intrínsecos de las donadoras Cebú sobre la tasa de gestación en receptoras cruzadas.

Variable	Categoría	Gestación (%)	N (1087)	EE (%)	Significancia (p)
Raza Donadora	GUZERAT	36.63	101	4.82	0.1848
	GYR	41.71	175	3.74	
	SARDO NEGRO	33.89	475	2.17	
	BRAHAMAN	41.85	313	2.79	
	NELORE	50.00	16	12.91	
	INDOBRASIL	42.86	7	20.20	
Semen	Normal	38.74	808	1.71	0.3907
	Sexado	35.84	279	2.88	
Raza Toro	HOLSTEIN	36.26	273	2.92	0.0491
	GYR	44.44	63	6.31	
	SARDO NEGRO	33.90	469	2.19	
	BRAHAMAN	44.26	235	3.25	
	GUZERAT	48.39	31	9.12	
	NELORE	50.00	16	12.91	
Etapa Blastocito	Temprano (5)	37.50	16	12.50	0.1160
	Blastocito (6)	30.95	42	7.22	
	Expandido (7)	38.68	892	1.63	



Variable	Categoría	Gestación (%)	N (1087)	EE (%)	Significancia (p)
	Eclosionado (8)	39.34	122	4.44	
	Eclosionado expandido (9)	6.67	15	6.67	
Calidad embrión	Excelente	38.87 ^b	1011	1.53	0.0296
	Buena	26.32 ^a	76	5.08	

^{a,b} Literales diferentes entre fila de la misma columna (%) son significativos ($p < 0.05$).

Cuando se realizó el análisis de los factores que modulan la probabilidad de gestación en la hembra bovina receptora (hembras cruzadas), solo el factor ambiental medido como estación del año y época del año, resultaron ser factores para considerar en un programa de transferencias de embriones, ya que el tamaño del cuerpo lúteo no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$), cabe mencionar que el tamaño de cuerpo lúteo en categoría 3, fueron pocos sus datos.

Cuadro 3. Efecto de factores intrínsecos y extrínsecos sobre la tasa de gestación en receptoras cruzadas transferidas con embriones cebú.

Variable	Categoría	Gestación (%)	N (1087)	EE	Significancia (p)
Cuerpo lúteo	1	38.33	407	2.41	0.3286
	2	33.65	416	2.32	
	3	32.86	70	5.65	
Época	Seca	42.29 ^b	603	2.01	0.0011
	Lluvia	32.64 ^a	484	2.13	
Estación	Invierno	45.10 ^b	153	4.04	0.0184
	Primavera	38.01 ^b	534	2.10	
	Verano	30.98 ^a	255	2.90	
	Otoño	42.76 ^b	145	4.12	

^{a,b} Literales diferentes entre fila de la misma columna (%) son significativos ($p < 0.05$).

Cuando se realizó el análisis de agrupamiento (relación) para encontrar las variables que más se correlacionaban con la probabilidad de gestación con los factores extrínsecos de la hembra bovina



donadora cebú (Figura 2A). Dicho análisis multivariado mostró que el ambiente es uno de los principales factores a considerar, ya que interfieren en la probabilidad de gestación. Mientras que las demás variables como la UPP, la zona (agroecología) y las veces que una UPP realiza la TE no son dependientes de la probabilidad de gestación.

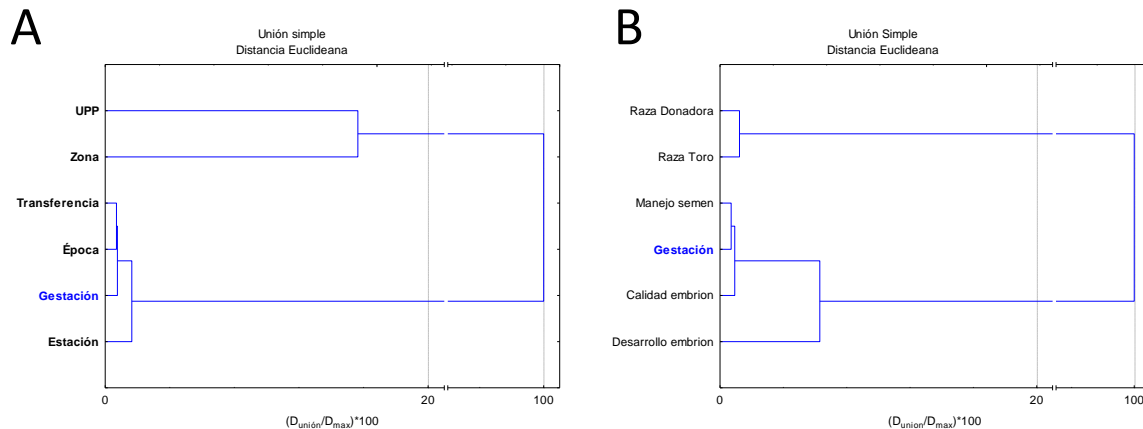


Figura 2. Dendrograma de unión simple. A. Relación entre los factores extrínsecos analizados que modulan la probabilidad de gestación en programas de transferencia de embriones producidos *in vitro* cebú. B. Relación de los factores intrínsecos analizados que modulan la probabilidad de gestación en programas de transferencia de embriones cebú.

En este mismo orden de ideas, cuando se realizó un análisis de relación para encontrar las variables que más se correlacionaban con la probabilidad de gestación de los factores intrínsecos, se puede apreciar que el embrión en su desarrollo y calidad, así como el manejo del semen son factores por considerar y que la raza del toro, así como la raza de la donadora son variables subordinadas (Figura 2B).

Son diversos los efectos que modulan la tasa de gestación en receptoras bovinas transferidas con embriones producidos *in vitro*, y se han catalogado en dos grandes grupos: aquellos que son propios del animal o “efectos intrínsecos”, como la raza o el grupo genético al cual pertenece, la edad al momento de obtener el ovulo (OPU) o al momento de ser trasferida (TE), el número de partos de la receptora, la producción de progesterona por un cuerpo lúteo de mayor tamaño, así como su localización en un ovario más activo, su estado de carnes medida como condición corporal, entre otras. Muchos de estos efectos son controlables ya que son criterios de selección al momento de realizar la OPU o al momento de realizar la transferencia embrionaria; y los efectos que están fuera del animal llamados “efectos extrínsecos”, como las condiciones agroecológicas donde se encuentran las UPP, el ambiente medido en diferentes formas como el grado de confort ambiental, las estaciones del año y las épocas de lluvias



o secas de la zona agroecológica; además de factores propios de la técnica biotecnológica reproductiva utilizada como la manipulación del semen, raza del toro, así como el estadio y calidad del desarrollo en que se encontraba el embrión al momento de la transferencia (Oyuela y Jiménez, 2009).

En las diferentes UPP es normal que se presenten diferencias en el manejo que alteren los resultados de los programas donde se aplican las biotecnologías reproductivas, como inseminación artificial a tiempo fijo y la transferencia embrionaria; por ejemplo, el tipo y la cantidad de suplementación mineral que se suministra, la disponibilidad de forraje verde o seco en los potreros, el estrés causado por malas prácticas de manejo; además del estado sanitario. Los factores extrínsecos que afectan en mayor medida los resultados de un programa de TE son los relacionados con la alimentación, estrés de los animales y condiciones que afecten el bienestar (Thatcher *et al.*, 2001).

Con respecto al ambiente donde las hembras donadoras y las receptoras pastorean en el presente trabajo, se aprecia que en verano (época de lluvias), la probabilidad de gestación es menor, ya que los animales se encuentran afectados ante el estrés por calor (Domínguez *et al.*, 2017), aunque la cantidad de forraje verde disponible para el pastoreo aumenta por la lluvia; coincidiendo con el anterior autor Fernández-Novo, 2020, menciona que, el estrés por calor influye en el éxito de algunas biotecnologías reproductivas en este caso el de la tasa de fertilización y la calidad del embrión, además de que aumenta la tasa de pérdida de gestación. Un estudio realizado por Martínez *et al.*, 2021, demostró que hay un efecto ambiental en el desarrollo y la calidad de los embriones, aumentando el número de embriones de buena calidad y transferibles durante la estación húmeda. En este sentido, el aumento en la humedad relativa (HR) es considerado un factor que acrecienta las condiciones adversas de las altas temperaturas en las regiones tropicales; los principales efectos de la HR se encuentran asociados con una reducción de la efectividad en la disipación de calor y están negativamente asociados al consumo de alimento y disminución en las gestaciones (Amundson *et al.*, 2006).

Los factores intrínsecos son los denominados propios del animal que afectan la tasa de gestación y se encuentran directamente relacionados con la fisiología del animal (donadora y receptora) o con el embrión. En el presente trabajo no se reportan diferencias entre razas de la donadora cebú, los trabajos de TE se centran en la evaluación de la hembra receptora como el grupo genético, condición corporal, estado nutricional, tamaño del cuerpo lúteo, entre otros; esto debido a que es ella (hembra bovina receptora) la encargada de llevar a término la gestación y poco es analizado en la hembra bovina donadora. Ya que el genotipo del embrión es diferente de la madre y del padre, se podría especular que podrían existir diferencias en las tasas de gestación con embriones producidos *in vitro* con el uso de



diferentes toros e incluso con el uso de semen convencional o sexado. Al respecto, Blondin *et al.* (2009), estudiaron el efecto de la heparina en el proceso de fertilización en ovocitos bovinos, con el uso de semen convencional y sexado; además, compararon diferentes toros y su producción de blastocitos. Estos autores encontraron que la producción de embriones con semen convencional es diferente ($p < 0,05$) a la de embriones con semen sexado, en el presente trabajo no se reportan diferencias, quizás debidas al bajo número de repeticiones o cantidad de toros con semen sexado.

El tamaño del cuerpo lúteo de la hembra receptora presente al momento de la TE juega un papel importante ya que se espera que secreta suficiente cantidad de progesterona para el mantenimiento de la gestación del embrión transferido (Vasconcelos *et al.*, 2001). El presente trabajo no reporta diferencias entre los tamaños de cuerpo lúteo, cabe mencionar que son pocos los datos con CL3 ($n=70$) menor tamaño, y se opta por colocar los embriones en receptoras con CL1 y CL2, con mayores tamaños. La observación y clasificación de los embriones al momento de la TE es esencial, Chebel *et al.* (2008), analizaron los factores que influyen en la recolección y transferencia de embriones producidos *in vitro* o *in vivo* en la raza Holstein, los autores incluyeron la calidad del embrión transferido en el estudio, encontrando diferencias significativas ($p < 0,01$) para embriones de calidad 1 (excelentes) respecto de calidad 2 (buenos), similares a los encontrados en el presente trabajo.

En tanto que investigaciones llevadas a cabo en diversas UPP ubicadas en un clima tropical en Brasil, por Béneyi *et al.* (2006), al evaluar el éxito en la implantación de 1466 embriones en vacas receptoras Holstein por Cebú, comprobaron que factores extrínsecos, tales como, el método de sincronización, el origen de los embriones y los efectos de la explotación, eran los factores que más influían, sin embargo, Baruselli *et al.* (2010), en investigaciones llevadas a cabo con condiciones similares, lo relacionan a factores intrínsecos tales como el tamaño y número de CL en los ovarios de la vacas receptoras, Sin embargo, para Contreras *et al.* (2021), un uso consumado de la transferencia de embriones en los trópicos, que considere las aplicaciones *in vitro*, requerirá mejoras en los procedimientos, así como en los recursos y la educación relacionados. Por último, se sabe que la calidad y el desarrollo del embrión ejercen una marcada influencia sobre los resultados de la TE. La transferencia de embriones en estadios tempranos (mórula temprana) resulta en menores tasas de preñez que cuando se transfieren embriones en estadio más avanzado (Looney *et al.*, 2006). Por otra parte, en estudio realizado por Valencia *et al.* 2023, mencionan que el uso de embriones con un desarrollo de blastocisto inicial y blastocisto tardío tienen mayores probabilidades de preñez en comparación con un blastocisto inicial relacionado a que presentan una mayor zona pelúcida intacta y, por lo tanto, una mayor actividad y viabilidad. Estudios



realizados por Block y Hansen (2007), reportan diferencias significativas en secreción de Interferón-tau (IFN- τ) en embriones de diferente desarrollo, encontrando una correlación positiva entre el estadio embrión y la producción de IFN- τ , en el presente trabajo, no muestra diferencias significativas entre los diferentes estadios de desarrollo embrionario al momento de la TE, aunque se opta por transferir embriones de excelente calidad y en estado de blastocisto expandido y eclosionado.

Conclusión

Se concluye que los factores ambientales al momento de la OPU o de la TE y la calidad del embrión transferido son factores para considerar en programas de TE cebú producidos *in vitro* en el trópico húmedo.

Literatura Citada

- Abdulkadir, K., Gülnaz, M., Ebru, B., Baris, G., Abdülkadir, O., Hayrettin and O. Ahmet, G. 2016. The effect of ovulatory follicle size at the time of insemination on pregnancy rate in lactating dairy cows. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences* 40 (1): 68-74.
- Amundson, J. L., Mader, T. L., Rasby, R. J., y Hu, Q. S. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *Journal of Animal Science* 84(12): 3415–3420.
- Bényei, B. I. Komlósi, A. Pécsi, G. Pollott, C. Heraldo M., A. de Oliveira C., *et al.* 2006. The effect of internal and external factors on bovine embryo transfer results in a tropical environment. *Animal Reproduction Science* 93:268–279.
- Baruselli, P. S., R. Ferreira M, M. Sá Filho F., T., L. Nasser F., C. Rodrigues A. and G. Bó. 2010. Bovine embryo transfer recipient synchronisation and management in tropical environments. *Reproduction, Fertility and Development*. 22: 67–74.



- Beck, H., N. Zimmermann, T. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg and E. Wood. 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* 5: 180214.
- Block, J. and P.J. Hansen. 2007. Interaction between season and culture with insulin-like growth factor-1 on survival of *in vitro* produced embryos following transfer to lactating dairy cows. *Theriogenology* 67(9): 1518-1529.
- Blondin, P., M. Beaulieu, V. Fournier, N. Morin, L. Crawford, P. Madan, *et al.* 2009. Analysis of bovine sexed sperm for IVF from sorting to the embryo. *Theriogenology* 71(1): 30-38.
- Chebel, R.C., D.G.B. Demétrio y J. Metzger. 2008. Factors affecting success of embryo collection and transfer in large dairy herds. *Theriogenology* 69(1): 98-106.
- Contreras, D. A., C. S. Galina and P. Chenoweth. (2021). Prospects for increasing the utilization of cattle embryo transfer by small-scale milk and meat producers in tropical regions. *Reproduction in Domestic Animals*, 56, 1479–1485.
- Cruz, H.A., G.A. Hernández, C.A.J. Chay, P.S.I. Mendoza, V.S. Ramírez, G.A.R. Rojas, *et al.* 2017. Componentes del rendimiento y valor nutritivo de *Brachiaria humidicola* cv *Chetumal* a diferentes estrategias de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(3): 599-610.
- B. Domínguez-Mancera, A. Hernández-Beltrán, A. Rodríguez-Andrade, P. Cervantes-Acosta, M. Barrientos-Morales y J.M. Pinos-Rodríguez. 2017. Changes in Livestock Weather Security Index (Temperature Humidity Index, THI) During the Period 1917-2016 in Veracruz, Mexico. *Journal of Animal Research*. 7(6): 983-991.
- A.A. Duica, L.N. Tovío y L.H Grajales. 2007. Factores que afectan la eficiencia reproductiva de la hembra receptora en un programa de trasplante de embriones bovinos. *Revista de Medicina Veterinaria* 14: 107-124.



- Fernandez-Novo, A., S.S. Pérez-Garnelo, A. Villagrà, N. Pérez-Villalobos y S. Astiz. 2020. The effect of stress on reproduction and reproductive technologies in beef cattle-A review. *Animals (Basel)*, 10(11): 2096.
- Ferraz, P.A., C. Burnley, J. Karanja, A. Viera-Neto, J. E. Santos, R.C. Chebel, *et al.* 2016. Factors affecting the success of a large embryo transfer program in Holstein cattle in a commercial herd in the southeast region of the United States. *Theriogenology* 86(7): 1834–1841.
- Galli, C., G. Crotti, C. Notari, P. Turini, R. Duchi and G. Lazzari. 2001. Embryo production by ovum pick up from live donors. *Theriogenology* 55(6): 1341-1357.
- Hernández-Martínez, J., D. Lara, D. Vázquez and A. Retureta. 2019. Unidad de producción bovina con transferencia de embriones en el sur de Veracruz. (Embryo transfer in a bovine production unit located in southern Veracruz state) *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan*, 7(2), 222-232.
- Kafi, M and M. McGowan. 1997. Factors associated with variation in the superovulatory response of cattle. *Animal Reproduction Science* 48: 137-157.
- Looney, C.R., J.S. Nelson, H.J. Schneider and D.W. Forrest. 2006. Improving fertility in beef cow recipients. *Theriogenology* 65(1): 201-209.
- Martínez, J.F., C.S. Galina, P. Ortiz, M.G. Maquivar y J.J. Romero-Zúñiga. 2021. Effects of Season on Donor and Recipient Cows and Calf Performance from Birth to Weaning in Embryo Transfer Programs in the Tropics. *Animals* 11(12).
- Oyuela, L.A. y C. Jiménez. 2010. Factores que afectan la tasa de preñez en programas de transferencia de embriones. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad de Colombia* 57(3): 159-167.
- Palma G. (2008). Transferencia de embriones bovinos y comunicación embriomaterna. En: *Biología de la reproducción*. Mar del Plata, Argentina: Ed. Repro Biotec. 251-268.



Soria, M., C. Soria, S. Méndez, D. Argudo, G. Serpa, C. Torres, *et al.* 2018. Valoración de dos protocolos de superovulación para la producción de embriones en vacas Holstein. *Revista de Producción Animal* 30(2), 52-56.

StatSoft, Inc. 2011. STATISTICA (Data Analysis Software System), Version 10. <http://www.statsoft.com>

Stringfellow, D. and A. McGowan. 1997. *Manual of the International Embryo Transfer Society*. P.197. Savoy (Ed). United States.

Stringfellow, D.A. M.D. Givens, and International Embryo Transfer Society. 2010. *Manual of the international embryo transfer society: a procedural guide and general information for the use of embryo transfer technology emphasizing sanitary procedures (4th ed.)*. International Embryo Transfer Society.

Thatcher, W.W., Moreira, F., Santos, J.E.P., Mattos, R.C., Lopes, F.L., Pancarciland, S.M. *et al.* 2001. Effects of hormonal treatments on reproductive performance and embryo production. *Theriogenology* 55(1): 75-89.

Valencia, H.F., Rodríguez, N. y Mantilla, T. 2023. Factores que afectan la tasa de preñez mediante transferencias de embriones por fertilización *in vitro* en novillas multirraciales en condiciones de trópico colombiano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 14(2), 326-338.

Vasconcelos, J.L., R. Sartori, H.N Oliveira, J.G. Guenther, and M.C. Wiltbank. 2001. Reduction in size of the ovulatory follicle reduces subsequent luteal size and pregnancy rate. *Theriogenology* 56 (2): 307-314.



ANÁLISIS FINANCIERO DE LA TECNOLOGÍA UTILIZADA EN 2021 EN UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SUBTRÓPICO HÚMEDO

René Carlos Calderón Robles^{228*}, Beatriz Aguilar Solís²²⁹, René Calderón Chagoya²³⁰, Ángel Ríos Utrera²³¹
y Juvencio Lagunes Lagunes²³²

Resumen

El objetivo fue determinar rentabilidad y costos de producción de algunos productos pecuarios. Se realizó la evaluación financiera del hato de doble propósito “El Paraíso”, en Ayotoxco, Puebla, donde se valida tecnología generada en el INIFAP. El hato se localiza a 240 msnm en clima subtropical húmedo, con temperatura media de 23°C y 2,200 mm de precipitación pluvial. Cuenta con 100.5 ha con pasto del género *Brachiaria*, 54.5 ha con gramas nativas (*Axonopus* sp. y *Paspalum* sp.) y 3 ha con caña japonesa (*Saccharum sinense* Roxb.). En el año de evaluación (2021) se manejaron en promedio mensualmente 373 animales (148 vacas, 83 becerras y novillonas, 22 machos destetados, 116 crías y 4 sementales). Los costos y rentabilidad se determinaron con la metodología propuesta por INIFAP para evaluaciones económicas de unidades de producción pecuaria, basada principalmente en el método de análisis de ingresos, donde se emplean precios corrientes o de mercado. Los gastos de operación fueron \$2'969,129. La producción de leche fue de 441,437 kg. El ingreso generado fue \$3'906,532, constituido por venta de leche (\$2'652,732), 58 becerros (\$593,200), 13 becerras (\$110,500) y 39 animales de desecho (\$550,100); los ingresos potenciales (\$161,900) se obtuvieron de manera separada. El costo del kg fue, para leche \$4.57, becerro \$38.85, becerra \$32.20 y desecho 26.54. El precio de venta del kg de leche fue \$6.00, becerro de \$51.13, becerra \$42.50 y desecho \$34.93. La eficiencia económica se midió mediante la utilidad bruta (\$937,403), la rentabilidad sobre los gastos de operación (31.6%) y el margen de utilidad por kilogramo que fue de \$1.43 para leche, \$12.28 para becerro, \$10.30 para becerra y \$8.39 para desecho. La producción con ganado de doble propósito

²²⁸ INIFAP-CIR Golfo Centro. *calderon.rene@inifap.gob.mx

²²⁹ Universidad Mesoamericana.

²³⁰ INIFAP-CENID Fisiología y Mejoramiento animal.

²³¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

²³² Técnico independiente.



genera utilidades que impactan positivamente en la economía, dada la obtención de 31.6 centavos por cada peso invertido, así como márgenes de ganancia aceptables de \$1.43 a \$12.28, dependiendo del producto.

Palabras clave: rentabilidad, gastos de operación, doble propósito, bovinos, trópico

Introducción

En México, por concepto de importaciones en el sector lácteo, el valor anual en dólares se ha incrementado de 1'575,828,251 en 2010 a 2'011,966,984 en 2018, derivado del incremento en el volumen anual de importaciones (CANILEC, 2019). A pesar de que la producción de leche tuvo un incremento del 22%, ya que en 2010 fue de 10,677 miles de toneladas, en 2021 subió a 13,034 miles de toneladas (SIAP, 2022). De igual forma, la producción de carne se ha incrementado, de tal manera que en 2019 se produjo más de lo consumido, y en 2021, según SIAP (2022), se produjeron 2'128,591 toneladas de carne en canal. En México, la producción de leche y carne se desarrolla bajo condiciones tecnológicas y socioeconómicas diversas, en aproximadamente un millón de unidades de producción pecuarias y se observan diferentes sistemas de producción como son: el especializado, semi-especializado, doble propósito y el familiar o de traspatio, en cuanto a producción de leche, y básicamente vaca-cría y doble propósito, en cuanto a producción de carne, donde la aportación de leche a inicios del siglo XXI era alrededor del 18.3% (Gallardo, 2004) para doble propósito; sin embargo, recientemente se mencionan datos de solamente el 8% (Dávalos, 2020). Este sistema, también conocido como rejeguería tradicional, es representativo de las áreas tropicales con un potencial productivo que no está siendo bien aprovechado, ya que solo se producen 400 kg de leche por vaca al año. Este tipo de ganadería tiene una mezcla de razas Cebú y europeas, con mayor proporción de Cebú, que pastorean en 76% en sistemas tradicionales de ganadería extensiva, que se caracterizan por baja producción de leche y becerros por unidad animal y superficie: 700 kg/lactancia, 130 kg de becerro destetado y 0.6 UA/ha. Además, se tiene un periodo entre partos de hasta 22 meses, lo que implica menos crías durante la vida productiva y, en consecuencia, menores ingresos económicos para el productor. Lo anterior se puede deber a que las innovaciones tecnológicas no han sido integradas adecuadamente a los sistemas de producción existentes en el trópico. Otras características del doble propósito son: el escaso acceso a los



servicios y programas estatales de crédito y asistencia técnica y el empleo de recursos con bajo costo de oportunidad, mismos que no tienen otros usos alternativos como la tierra y la mano de obra familiar (González, 1993; Chalate *et al.*, 2010). En las áreas donde estos sistemas existen, se dan épocas marcadas de lluvias y sequía, que determinan una asentada estacionalidad en la producción, dado que dependen casi exclusivamente del pastoreo extensivo; sin embargo, en la mayoría de las explotaciones no se cuenta con la conservación de forrajes ni la suplementación energética, proteica o mineral de los animales (González, 1993; Chalate *et al.*, 2010). No obstante, el INIFAP cuenta con tecnología generada y validada para mejorar integralmente el sistema de doble propósito, dicha tecnología está documentada en diversas publicaciones (Aguilar *et al.*, 2004, Koppel *et al.*, 2002). En Puebla, se localiza el sitio experimental “Las Margaritas”, que en 1981 inició la generación y validación de tecnología para mejorar integralmente el sistema de doble propósito, con la finalidad de responder a la demanda tecnológica de los productores y dar solución a su problemática productiva, de tal forma que en 2008 se inició con el módulo de validación de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar su rentabilidad y los costos de producción de los productos obtenidos.

Materiales y Métodos

El módulo de validación “El Paraíso de Ayotoxco” se localiza en el municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla, a una latitud norte entre 19°59’54” y 20°08’48” y longitud oeste entre 97°21’18” y 97°27’42” a 240 m de altitud. El clima es subtropical húmedo Af(c), con temperatura media de 23°C, precipitación pluvial de 2,200 mm y humedad relativa de 80% (García, 2004). Su topografía es quebrada, con pendientes pronunciadas, los suelos son poco profundos, con textura areno-arcillosa, pobres en materia orgánica y pH de 4 a 5. Actualmente, cuenta con una superficie de 158 ha, de las cuales 100.5 están establecidas con pastos del género *Brachiaria*, en su mayoría *brizantha* (Insurgente), de las cuales 49 ha las ocupan las vacas de ordeña, 23 ha vacas secas, 16 ha vaquillas en manejo reproductivo, 8.5 ha becerras en desarrollo y 4 ha becerros(as) lactantes. Otras 54.5 ha son de gramas nativas (*Axonopus* y *Paspalum sp.*), de estas, 50 ha las ocupan vaquillas en manejo reproductivo, 3 ha becerras en desarrollo y 1.5 ha becerros(as) en destete y, por último, 3 ha están establecidas con caña japonesa (*Saccharum sinense Roxb.*), que es utilizada como forraje de auxilio. Además, la unidad de



producción cuenta con corral de manejo, baño garrapaticida, dos salas de ordeño con ordeñadora mecánica de tres plazas cada una. Cada sala de ordeño tiene corral de retención, corral de suplementación y amamantamiento post ordeña, corral de becerros (rejo) con piso de concreto y tanque enfriador de leche con capacidad de 500 litros cada uno.

Las vacas en ordeño, las vacas secas y las becerras en desarrollo pastorean rotacionalmente con periodos de descanso de 30 y 45 d en primavera-verano y otoño-invierno, respectivamente; además, consumen minerales y agua a libertad. A partir de octubre de 2017 se inició la fertilización de los potreros de las vacas en ordeña y becerros lactantes con la fórmula 138-69-00. A las vacas en ordeño se les proporciona 5 kg por animal al día (kg/animal/d) de concentrado (70% TND y 16% P.C.). La alimentación de las vacas secas consiste en el pasto que consumen directamente de la pradera, sales minerales y agua a libertad, y de noviembre a mayo, 15 a 20 kg/animal/d de caña japonesa (*Saccharum sinense*), fresca y picada. La alimentación de las crías, además del pastoreo, consiste en leche que consumen durante el apoyo y la de un cuarto de la ubre más la leche residual, lo anterior hasta que alcanzan 100 kg de peso vivo. Posteriormente solo consumen la leche de apoyo y la leche residual, además, se les proporcionan 750 g al día de concentrado (18% de PC) durante el periodo que dura la crianza. Las hembras destetadas se manejan en pastoreo rotacional y se les proporciona 1.5 kg/animal/d de concentrado (18% PC) más sales minerales y agua a libertad. Las becerras en desarrollo y hasta alcanzar inicio de manejo reproductivo se manejan en pastoreo rotacional y su alimentación consiste en pasto que consumen en la pradera más sales minerales y agua a libertad. El manejo reproductivo de las vacas consiste en empadre continuo con monta controlada; la detección de calores se realiza mañana y tarde, durante el ordeño; la palpación rectal se efectúa cada tres meses. Las vaquillas inician manejo reproductivo aproximadamente a los 330 kg y permanecen en empadre continuo con monta natural; de igual manera, la palpación rectal de las vaquillas se lleva a cabo cada tres meses.

La información utilizada para el presente estudio es la registrada en las hojas de producción diarias de leche, distribución diaria de leche, tarjetas individuales de las vacas, libro de nacencias (peso nacimiento/peso destete) libro de inventario (altas y bajas de animales), registros administrativos y económicos de la unidad, así como facturas de venta de leche y semovientes, facturas de adquisiciones y pagos de servicio y registros de pago de mano de obra fija y eventual. Para el análisis económico, (enero-diciembre de 2021) se utilizó la metodología propuesta por el INIFAP (Aguilar *et al.*, 2001) para la evaluación económica de ranchos ganaderos; el método para determinar los indicadores económicos fue el análisis de ingresos, en el que se emplearon precios corrientes y de mercado.



Resultados y Discusión

Los costos variables fueron \$2'969,129, adicionando el costo fijo que en este caso solo son los gastos de administración nos da el costo total (Figura 1). Los gastos totales fueron \$3'057,992, donde el de mayor impacto, con 56.0%, fue el costo de alimentación con \$1'713,291, estando de acuerdo con lo informado por Stelwagen y Grieve (1990), quienes reportaron valores para costos de alimentación de vaquillas que van de 40 a 70%; Calderón *et al.* (2010), para lechería tropical (56.1%) y ligeramente superior en doble propósito (48.6%) y en otro estudio (Calderón *et al.*, 2021) constituyó el 52.68%, por el contrario, otros autores (Celorio *et al.*, 2022) mencionan valores inferiores al 40% (38.8%) por concepto de alimentación, probablemente por tener un manejo más extensivo en su sistema de producción y utilizan el alimento concentrado en menor proporción en relación al presente estudio.

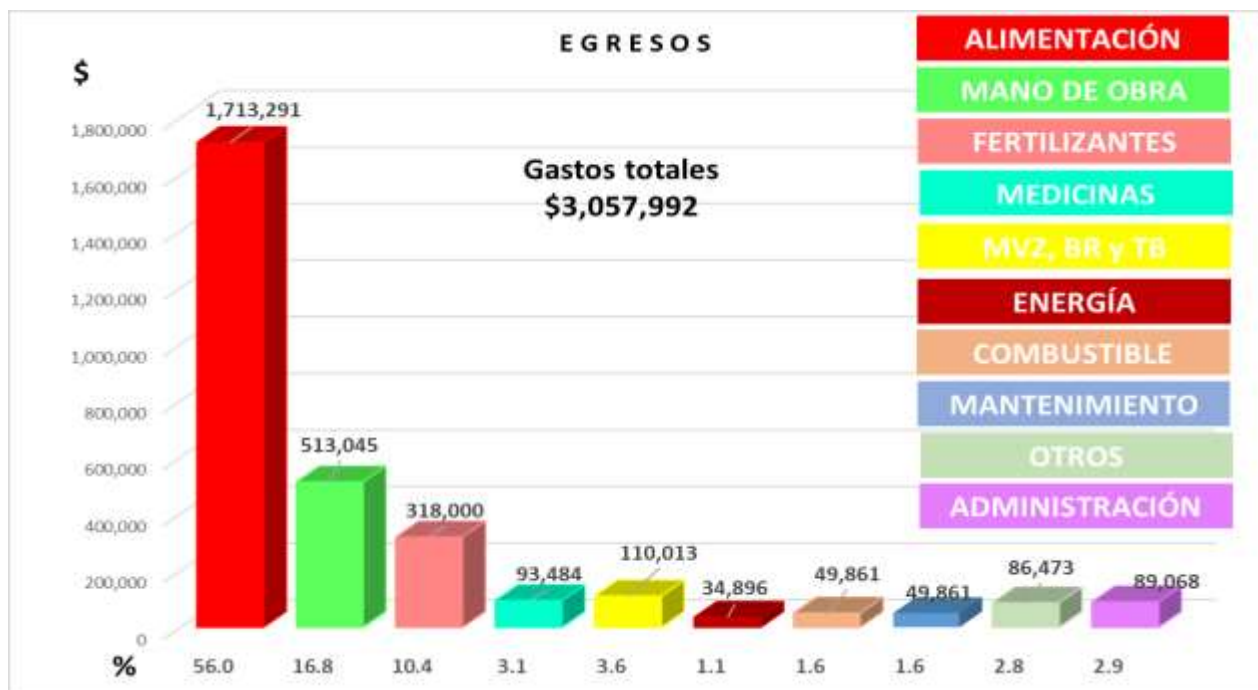


Figura 1. Gastos de operación del módulo de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, Ayotoxco de Guerrero, Puebla, en el 2021.

La mano de obra fija y eventual con \$513,045 fue el segundo rubro que impactó en los costos variables y son equivalentes al 16.78%; lo anterior es inferior en 4.9% a lo obtenido en evaluaciones anteriores (Calderón *et al.*, 2021), pero inferior en 8.1% a lo reportado en el estudio de Celorio *et al.* (2022). Sin embargo, los dos rubros anteriores suman 72.81% en el presente estudio, 74.3% en el de Calderón *et al.*



(2021) y 63.7% en el de Celorio *et al.* (2022), lo cual cae dentro del rango permisible que va del 60 al 80%, según el sistema de producción y se supone que van aumentando a medida que se vuelven más intensivos o cambia la finalidad, por ejemplo, Gabler *et al.* (2000) reportan valores, en el caso de vaquillas, de 52.9% para alimentación y de 17% para mano de obra.

El Cuadro 1 muestra el ingreso que generó el rancho, que fue de \$3'906,532, de los cuales por venta de 441,437 kg de leche fueron \$2'652,732 (67.90%), por venta de 58 becerros fueron \$593,200 (15.18%), de 13 becerras \$110,500 (2.82%) y 39 animales de desecho \$550,100 (14.08%). Tomando en cuenta el ingreso más importante (67.9%), que es la venta de leche, este valor es muy cercano (1% de diferencia) a lo reportado por Celorio *et al.* (2022), a diferencia de lo reportado por Granados *et al.* (2011), quienes informaron que el ingreso por venta de leche fue de 79%, es decir 11% mayor al del presente estudio; probablemente, la diferencia estriba en la metodología utilizada por ellos. En el caso de los demás productos hay variabilidad en lo descrito por Celorio *et al.* (2022), quienes reportaron para becerros 15.2%, becerras 17.93% y desecho 3.25%, lo cual es comprensible, ya que se entiende que no generaron animales de reemplazo. Por su parte, Granados *et al.* (2011), no lo desglosaron, solo lo reportan como venta de carne.

Cuadro 1. Ingresos del módulo de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, Ayotoxco de Guerrero Puebla, de enero a diciembre de 2021.

Concepto	\$	%
Leche (441,437 kg)	2,652,732.5	67.90
Desecho (40 animales)	550,100.00	14.08
Becerras (13)	110,500.00	2.83
Beceros (58)	593,200.00	15.18
Total	3,906,532.5	100

De acuerdo al sistema de prorrateo, el costo de un kilogramo de cada uno de los productos se obtuvo dividiendo el gasto de operación entre los kilogramos de cada uno de ellos, que para 1 kg de leche producida fue \$4.57, el de 1 kg de becerro \$38.85, el de 1 kg de becerra \$32.20 y 1 kg de animales de desecho \$26.54. El precio de venta del kilogramo de leche fue de \$6.00, el de becerro \$51.13, el de becerra \$42.50 y el de animales de desecho de \$34.93.



La eficiencia económica se midió a través de la utilidad bruta (\$937,403), que es la diferencia entre los ingresos y los gastos de operación, dando una rentabilidad del 31.6% (Figura 2) cuando no se incluyeron los ingresos potenciales que al ser tomados en cuenta incrementan la rentabilidad al 37.0%. Al restar el precio promedio de venta por kilogramo de cada producto a su costo de producción con base al gasto de operación, se obtuvo el margen de utilidad (Figura 3), siendo \$1.43 (23.8%) para el kilogramo de leche, \$12.28 (24.0%) para el de becerro, para el de la becerro \$10.30 (24.2%) y \$8.39 (24.0%) para el de animales de desecho. La rentabilidad (Figura 2) en el presente estudio (31.6%) superó en aproximadamente 7% lo informado por Calderón *et al.* (2010), y en 2019 16% cuando no se incluyeron los ingresos potenciales y 6% incluyéndolos (Calderón *et al.*, 2021).

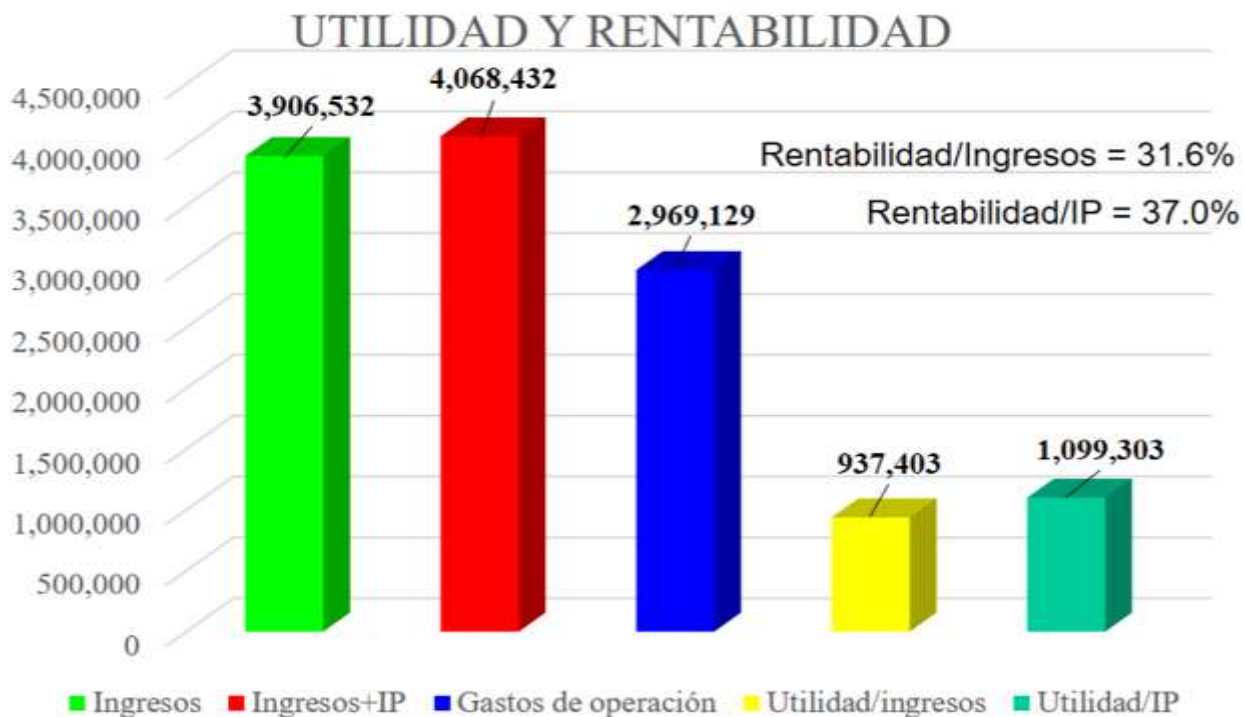


Figura 2. Utilidad y rentabilidad del módulo de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, Ayotoxco de Guerrero, Puebla, durante el 2021.

Estudios realizados en América del Sur (Bolívar *et al.*, 2016) con ganado de doble propósito informaron utilidad neta equivalente al 29.2% de rentabilidad, que está en el rango del presente estudio cuando se obtiene de los gastos totales (27.8%), sin tomar en cuenta los ingresos potenciales que la incrementarían al 33.0%.



En el presente estudio, si se consideran las diferencias del valor del inventario como ingresos potenciales, se tiene una diferencia de \$161,900 a favor del valor final (31 de diciembre de 2021) en relación al valor inicial (1° de enero de 2021), por lo que los ingresos totales se incrementarían a \$4'068,432; con lo anterior, la utilidad bruta sería \$1'099,303 y, como consecuencia la rentabilidad se incrementa a 37.0% (Figura 3), por lo tanto, se supera arriba del 11% a lo encontrado por lo Calderón *et al.* (2021) cuando incluyeron los ingresos potenciales. Lo anterior puede ser debido a la sinergia en el uso de algunas tecnologías, como lo es haber estabilizado en el hato el número de vientres, llevar a cabo la fertilización de las praderas, que en los inicios del módulo no se realizaba, o haber retomado el uso de la caña japonesa sustituyendo al ensilado como forraje de auxilio en la época crítica.

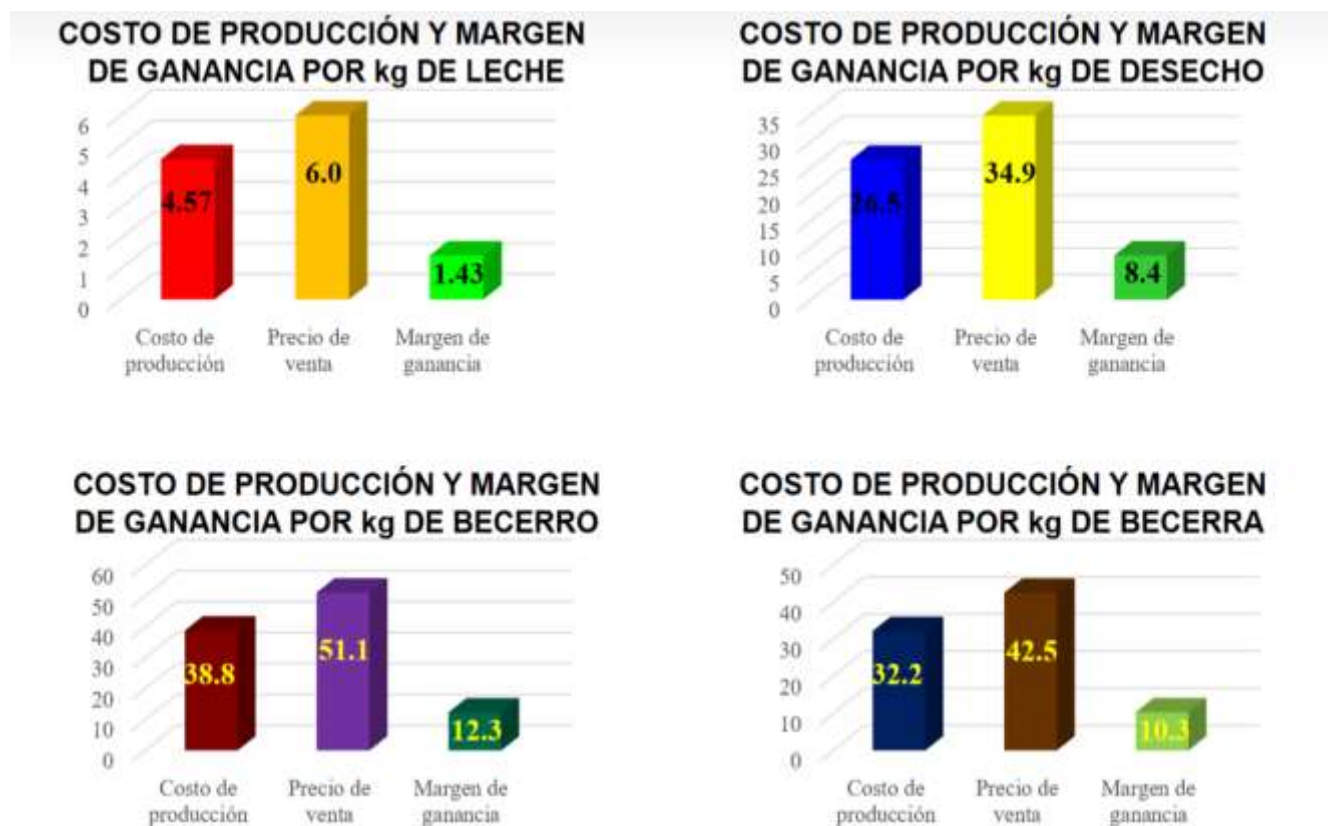


Figura 3. Margen de ganancia por kilogramo de leche (gráfica superior izquierda), de desecho (gráfica superior derecha), de becerro (gráfica inferior izquierda) y de becerra (gráfica inferior derecha), del módulo de doble propósito “El Paraíso de Ayotoxco”, Ayotoxco de Guerrero, Puebla, durante el 2021.



Conclusiones

La inversión en sistemas de doble propósito utilizando la tecnología generada por el INIFAP, repercute de manera positiva, ya que produce utilidades que impactan, dada la obtención del retorno por cada peso invertido de 31.6 ó 37.0 centavos si se incluye el ingreso potencial, así como márgenes de ganancia aceptables que van de \$1.43 a \$12.28, dependiendo del producto. La unidad de producción ha tenido mejoras, de tal manera que, en la presente evaluación, ha incrementado la producción de leche a más de 440 toneladas, derivado de la innovación de prácticas tecnológicas, que tuvieron como resultado el incremento de la rentabilidad.

Literatura Citada

- Aguilar, B.U., J. Lagunes L. y J. M. Pérez S. 2001. Metodología para la evaluación económica en ranchos ganaderos de doble propósito. Memoria día del ganadero. INIFAP, Campo Experimental La Posta. Paso del Toro, Veracruz-México.
- Aguilar, B.U., G. Bonilla H.G., R.C. Calderón R., *et al.* 2004. Manejo integral de la unidad de producción bovina de doble propósito “La Doña”. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP. Septiembre 2004.
- Bolívar, H., Troconiz J. y A. Ruiz. 2016. Diseño y evaluación de una estructura de costos de la ganadería bovina en el estado de Barinas, Venezuela. Saber, Universidad de Oriente, Vol. (28)4:761-774. <http://www.scielo.org.ve/pdf/saber/v28n4/art11.pdf>.
- Calderón, R.R.C, U. Aguilar B. y J. Lagunes L. 2010. Evaluación económica de las unidades de lechería tropical y doble propósito del S. E. Las Margaritas: Costo de producción, Margen de utilidad y punto de equilibrio *In*: Los grandes retos para la ganadería: Hambre, pobreza y crisis ambiental. UACH-CP. pp 283-290.



Calderón, R.R.C., R. Calderón CH., A. Ríos U., V.E. Vega M., J. Lagunes L. y L.A. Andrés. 2021. Costos de producción y rentabilidad en un sistema de producción de doble propósito en el subtrópico húmedo. Ciencia y Tecnología para el Campo Mexicano: Retos y oportunidades. INIFAP, Veracruz 2021. pp 1419-1428.

CANILEC (Cámara Nacional de Industriales de la Leche). 2019. Estadísticas del sector lácteo 2010-2018. <https://www.canilec.org.mx/estadisticas%20lacteos%202019.pdf> [consultado septiembre 2020].

Celorio C. J.C., Berúmen A.A.C. y Ramírez V.S. 2022. Evaluación económica de una unidad bovina doble propósito en el trópico húmedo. Revista Mexicana de agronegocios. <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=141>

Chalate M. H., F. Gallardo L., P. Pérez H., F.P. Lang O., E. Ortega J. y J. Vilaboa A. 2010. Características del sistema de producción bovinos de doble propósito en el estado de Morelos, México. Zootecnia Tropical Vol.28 N°.3. (Online). [Consultado 2023-06- 28]. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-72692010000300004&script=sci_arttext.

Dávalos, F. J. L. 2020. Panorama general de la leche en el mundo y México. En foro: Perspectivas del mercado de lácteos 2020. Revista lacticinios enero-marzo 2020. CANILEC ciudad de México. pp 25-27. <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2020/03/Panorama-general-de-la-leche-en-M%C3%A9xico-y-el-mundo.pdf> (consultado abril 2023).

Gabler, M.T., P.R. Tozer and A.J. Heinrinchs. 2000. Development of a Cost Analysis Spreadsheet for Calculating the Costs to Raise a Replacement Dairy Heifer. Journal of Dairy Science. 83(5):1104- 1109.

Gallardo NJL. Situación actual de la producción de leche de bovino en México. Coordinación General de Ganadería 2004.



García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (5a Ed). D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

González, P. E. 1993. Situación actual y perspectivas en la ganadería de doble propósito en las regiones tropicales. XVI Simposio de ganadería tropical. Publicación especial N°. 11. 4ºCiclo de conferencias sobre bovinos de doble propósito. México.

Granados, Z.L., J. Quiroz V., M. Barrón A., P.C. Cruz y M.M. Jiménez O. 2011. Costo de producción del litro de leche y carne en un sistema de lechería de doble propósito. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. AICA, 1:424-427.

Koppel, R.E.T., *et. al.* 2002. Manejo de ganado bovino de doble propósito en el trópico. INIFAPCIRGOC. Libro técnico 5. Segunda Edición. Veracruz, Ver., México. 161 p.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/ . (consultado febrero 2023).

Stelwagen, K., and D.G. Grieve. 1990. Effect of plane nutrition on growth and mammary gland development in Holstein heifers. J. Dairy Sci. 73:2333-2341.



POLÍTICAS PÚBLICAS PARA TRANSITAR HACIA UNA GANADERÍA LECHERA REGENERATIVA: CASO ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO A PEQUEÑOS PRODUCTORES

Diego Armando García Rodríguez²³³ y Ponciano Pérez Hernández²³³

Resumen

A nivel global las propuestas de políticas públicas, el diseño de estrategias para hacer frente a los retos del uso racional de los recursos naturales, sumado a temas de atención mundial como el mejorar la calidad de vida de las personas y el acceso a mejores oportunidades, recae en gran medida en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales son un espacio diseñado para establecer directrices en la búsqueda de condiciones sostenibles y disminuir la incertidumbre de la vida en el planeta. Las actividades agrícolas y la ganadería no están exentas del escrutinio público en el uso y aprovechamiento de recursos, por ello son analizadas en diversos foros internacionales por la comunidad científica global, organizaciones no gubernamentales, así como diversos sectores públicos y privados interesados, que proponen reaccionar con políticas públicas que conduzcan al sector agroalimentario hacia la adopción de prácticas agroecológicas y de una agricultura regenerativa. En México la importancia del sector ganadero se puede percibir por el volumen de producción de carne, leche y sus derivados, con relación a la producción láctea el país se mantiene entre los 15 mayores productores en el mundo, pero su consumo nacional aparente tiene una mayor demanda a lo generado internamente, por lo que se importa una gran cantidad de derivados lácteos, principalmente de leche descremada en polvo. Con base en el marco mencionado, la actual administración pública federal (2018-2024) propuso la política pública de lograr la autosuficiencia y soberanía alimentaria, mediante la transición agroecológica y de sostenibilidad, una de las estrategias es el Programa de Producción para el Bienestar, donde desde el año 2021, a través de la Estrategia de Acompañamiento Técnico en Leche, busca fortalecer el perfil de pequeños productores del país, con la transferencia de tecnologías pertinentes al entorno de los mercados nacionales, implementación de tecnologías orientadas a un

²³³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *garcia.diego@colpos.mx



mejor manejo del hato ganadero y la creación de un cuadro de asesores técnicos con una visión holística.

Palabras clave: producción para el bienestar, prácticas agroecológicas, sostenibilidad, estrategia, extensionismo

Introducción

El sector ganadero a nivel global se encuentra en una época clave para incorporar dentro de sus sistemas de producción y en la cadena de valor, estrategias para establecer sistemas alimentarios sostenibles, un factor para el logro de esta visión mundial recae en la pertinencia de las políticas públicas que cada nación implementa con base en sus necesidades y los recursos disponibles. En el caso de México, la producción de leche se caracteriza por ser heterogénea desde sus aspectos socioeconómicos, agroecológicos y tecnológicos, esto como resultado de la diversidad geográfica, la variedad de climas regionales y a las características socioculturales (SE, 2012); la actividad pecuaria en México tiene sistemas de producción característicos, como la de doble propósito en el trópico, de climas de transición, y de altiplano, con hatos especializados, semi-especializados y familiares; donde las prácticas e innovaciones implementadas por los productores se relacionan estrechamente a los retos y demandas del mercado nacional e internacional de productos agropecuarios (SIAP, 2021).

En el año 2020, en el país se produjeron 12,554 millones de litros de leche, que lo ubicó como el décimo cuarto productor a nivel internacional (FAOSTAT, 2022; SIAP, 2021); sin embargo, el consumo aparente nacional de lácteos en México en el mismo año tuvo una demanda de 15,912 millones de litros, misma que no se logró abastecer, y para compensarlo se importó el equivalente a 3,619 millones de litros de leche, esto a través de la compra de diversos productos lácteos, principalmente de leche descremada en polvo (LDP) (SIAP, 2021). Con base en el contexto anterior, en la actual administración federal (2018-2024), se han aplicado acciones dirigidas al logro de la autosuficiencia en abasto de leche fluida, con estrategias como el crédito ganadero a la palabra, precios de garantía, producción de fertilizantes y el Programa de Producción para el Bienestar (PPpB) (SEGOB, 2021; Agricultura, 2022; Secretaría del Bienestar, 2021).



En el año 2021 el PPpB incorporó a productores de leche como beneficiarios de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT), la cual se enfoca en dar seguimiento a las unidades de producción de leche a través de capacitación y acompañamiento técnico a grupos de productores pequeños y medianos que proveen principalmente a la paraestatal Liconsa y a otras empresas tractoras (Agricultura, 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es analizar la estrategia de acompañamiento técnico en leche del programa para el bienestar del presente sexenio, como una política pública que coadyuva a transitar hacia una ganadería lechera regenerativa de pequeños productores.

Materiales y Métodos

El proceso metodológico constó de las siguientes fases: 1) Se realizó una revisión de literatura sobre las políticas públicas, desde el plano internacional con el análisis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), ONU-ODS agenda 2030, así como de las recomendaciones por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) hacia la ganadería, de igual forma se analizaron los resultados propuestos por Organismos No Gubernamentales (ONG) como lo es el Grupo de Alto Nivel (HLPE), del Panel Internacional de Expertos en Sistemas Alimentarios Sostenibles (IPES) y de otros foros internaciones pertinentes al tema. De forma similar se analizó el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural del Gobierno Federal Mexicano, con la intención de relacionar los objetivos, las estrategias, las líneas de acción y los programas que permitan a la ganadería lechera transitar hacia una producción sostenible y regenerativa. Finalmente, se relacionó lo anterior, al PPpB (2018-2024) a través de la Estrategia de Acompañamiento Técnico en Leche (EATL) que opera desde el año 2021 (DOF, 2020a). 2) Para dar claridad a las relaciones y líneas de acción de las políticas públicas, se utilizó la herramienta gráfica de mapa mental con base en Martínez y Leyva (2014). 3) Se describió la EATL, los objetivos, metas, líneas de acción y tipo de productores beneficiarios (sujetos de derecho).



Resultados y Discusión

A nivel global la actividad ganadera es objeto de constantes observaciones por ser considerada como una actividad agropecuaria de alta demanda de recursos naturales, como ejemplo: la cantidad de superficie de tierra cultivable relacionada directa o indirectamente a la actividad, la demanda de agua, las afectaciones a la biodiversidad, entre otros. Por otro lado, la mirada crítica no gira únicamente hacia la producción pecuaria, sino también a las diversas actividades agrícolas en pro de la generación de alimentos y subproductos de interés comercial (FAO, 2020), que al añadir los recursos que se ocupan en otras actividades o giros económicos y al sumar los diversos factores mundiales de atención en temas medioambientales, sociales, económicos y culturales, la ONU, gestionó la adopción de la Agenda 2030 con los 17 ODS y sus 169 metas asociadas, que esbozan un plan maestro en búsqueda de un futuro sostenible (ONU-ODS, 2022).

Con respecto a la actividad ganadera, hay una relación directa e indirecta con los 17 ODS, y el reto que se vislumbra es que cada uno de los países dirijan sus esfuerzos en materia de políticas públicas y estrategias, para adaptar los ODS en el contexto de cada nación (FAO, 2018). En junio de 2016, con la misión de sumar esfuerzos al Programa Mundial de Ganadería Sostenible (PMGS), diversos países miembros de la ONU y de partes interesadas como los sectores públicos y privados, ONG's, academia, movimientos sociales, donantes, organizaciones intergubernamentales y multilaterales, establecieron la relación e impacto que guarda la ganadería con cada uno de los 17 ODS (PMGS-FAO, 2014; PMGS-FAO, 2016).

Como principal objetivo de la reunión PMGS-FAO del 2016, se estableció una integración transversal y un ordenamiento con base en los impactos de las actividades ganaderas y la relación que guardan con los ODS, de los cuales destacaron que 6 de los 17 ODS fueran catalogados como significativos y con alta prioridad desde todas las perspectivas. Los 6 objetivos significativos son:

- 1) Fin de la pobreza, visualiza a la ganadería como una alternativa para que las familias rurales miren a su hato como un activo que les ayude en momentos críticos económicos, además que, al transitar a prácticas agroecológicas, logren la sostenibilidad de su actividad y puedan participar en diversos mercados.
- 2) Hambre cero, los productos y subproductos de la ganadería son de alto valor, vistos como alimentos con alta calidad por sus nutrientes, hasta como productos de un gran valor comercial, lo cual fortalece a los hogares de los productores.



12) Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, reevaluar las cadenas de valor con la visión de reducir pérdidas de alimentos, reequilibrar dietas y fuentes de materias primas destinadas al ganado, que contribuyan a su salud, bienestar y sostenibilidad.

13) Acción por el clima, las acciones son encaminadas principalmente a la mitigación de los gases de efecto invernadero, con sistemas silvopastoriles que coadyuven al secuestro de carbono del suelo e incrementar la eficiencia productiva.

15) Vida terrestre, enfocar acciones para reducir la presión de la ganadería a la biodiversidad, con mejoras en la gestión del pastoreo, como lo es la agroforestería, sistemas silvopastoriles, la agrosilvicultura, entre otras.

17) Alianzas para los objetivos, fortalecer los medios de ejecución con la cooperación y colaboración de alianzas entre el gobierno, el sector privado y la sociedad civil, para llegar a un adecuado marco regulatorio y de incentivos, que les permitan transitar de manera constante hacia una ganadería agroecológica y sostenible (PMGS -FAO, 2016; ONU, 2019); lo anterior se aprecia en la Figura 1, así como las interacciones con otros organismos.

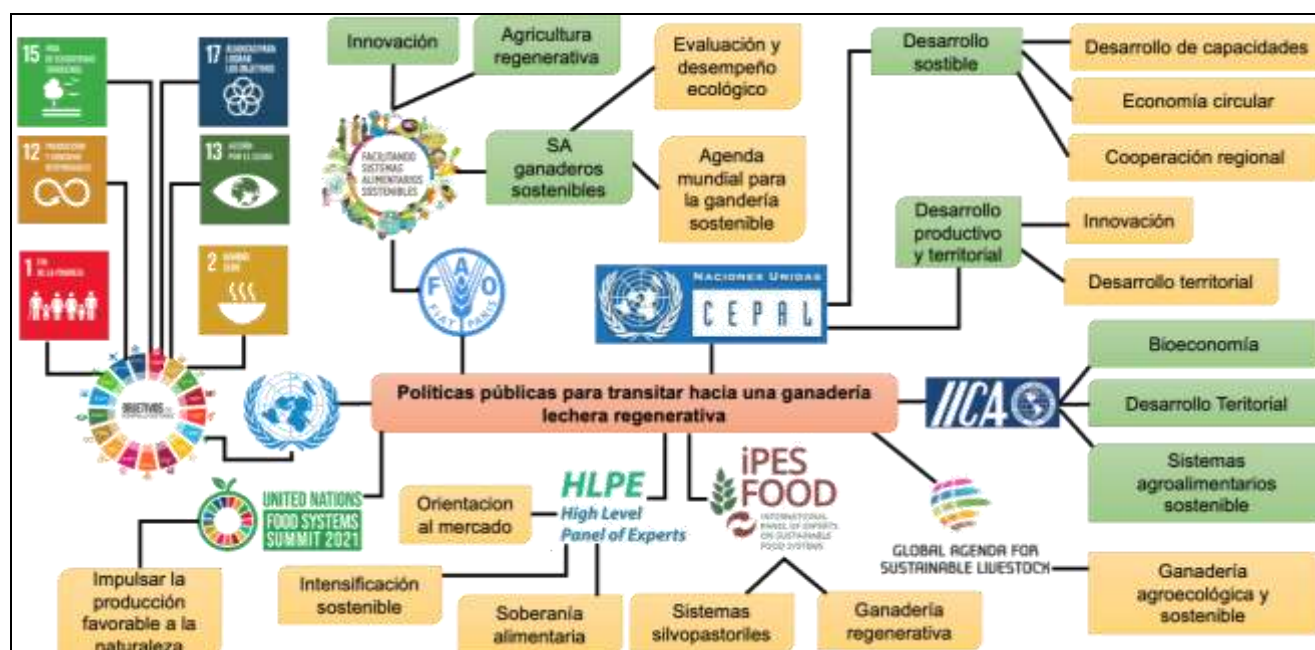


Figura 1. Mapa mental de las políticas públicas internacionales orientadas a la ganadería regenerativa.



Sumado a las ideas anteriores, organizaciones no gubernamentales también aportan alternativas para el caso de la ganadería, vía análisis de los resultados parciales disponibles y con ello realizan propuestas de escenarios futuros, por ejemplo, el IPES-FOOD propone reforzar y equilibrar a los diversos componentes de los sistemas alimentarios, a través de una comprensión holística y a múltiples escalas de la sostenibilidad (IPES-FOOD, 2015). En el caso del Grupo de Alto Nivel de Expertos (HLPE), desarrollaron un análisis y propuestas sobre la pregunta ¿Qué función desempeña la ganadería en los sistemas alimentarios?, esto con base en los ODS y a los resultados de diversas reuniones de organismos internacionales sobre los efectos de la ganadería en el planeta y su viabilidad como actividad agrícola, como lo es el PMGS (FAO, 2109; PMGS, 2014).

Derivado de lo anterior, estos ONG's proponen estrategias como la “orientación al mercado”, “soberanía alimentaria”, y aplicar el enfoque de “intensificación sostenible (IS)”, que da cabida al mercado en promoción de actividades para reducir las tasas por contaminación, la remuneración por orientarse a brindar servicios ecosistémicos, protección de los recursos suelo y agua, y solucionar problemas sociales relacionados al desarrollo agrícola. Para ejemplificar la visión se comparten dos casos de estudio, el primero es de los sistemas silvopastoriles sostenibles integrados en Colombia con ganadería regenerativa; y el segundo caso es el de creación de mercados locales y regionales de leche de cabra por parte de mujeres en Kenia (IPES-FOOD, 2015; HLPE, 2016).

Otro aporte para destacar, son los resultados de la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios (FSS por sus siglas en inglés), foro convocado por la ONU, donde se buscó la participación de millones de personas a nivel global con el objetivo de establecer y evaluar estrategias para alcanzar los ODS al 2030 y como parte de la “Década de Acción”. Dentro de sus principales resultados se establecieron 5 Vías de Acción (VA) donde se sintetizan estrategias concatenadas hacia el ramo agroalimentario y con relación a la ganadería, que enfatizan la generación de acciones saludables, sostenibles y equitativas: VA 1 garantizar el acceso a alimentos sanos y nutritivos; VA 2 adoptar modalidades de consumo sostenibles; VA 4 Promover medios de vida equitativos; VA 5 crear resiliencia ante las vulnerabilidades, las conmociones y las tensiones; y VA 3 impulsar la producción favorable a la naturaleza, esta última VA es donde se hace hincapié en el uso eficiente de los recursos para la producción de alimentos y en el tema ganadero, esto a través de prácticas encaminadas al cuidado del medio ambiente y la sostenibilidad, además de buscar la comprensión de limitaciones y oportunidades de los pequeños productores, lo que conlleve a la generación de políticas públicas que los fortalezca (FSS-ONU, 2021).



En el caso de México, los ODS fueron alineados a través del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024, donde se logra percibir la relación de los ODS en los objetivos generales del PND y en los ejes transversales que se aplicaron. Cabe indicar que con base en los temas agroalimentarios y de ganadería, el PND plantea en su eje general III Economía, la estrategia de “Autosuficiencia alimentaria y rescate al campo (AAyRC)”, la cual está orientada para el logro del bienestar de la población, a generar acciones para la autosuficiencia alimentaria y para el rescate del campo, con la integración de aspectos de sustentabilidad, equidad, bienestar y respeto a los derechos de los ejidatarios, comuneros, pequeños propietarios y pueblos indígenas (DOF, 2019a; DOF, 2022). Lo anterior se relaciona y abona significativamente en pro del cumplimiento de los ODS, tal como lo comenta el Observatorio regional de planificación para el desarrollo de América Latina y el Caribe de la CEPAL, donde resalta que la estrategia de AAyRC concatena con los ODS: 2 Hambre cero y 9 Industria, innovación e infraestructura (CEPAL, 2022).

Consecuentemente, los diversos temas agroalimentarios y aquellos relacionados al mismo, emanados del PND, son puntualizados en el Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024, con el objetivo de promover una política agroalimentaria integral y con la intención de transitar a sistemas de producción sostenibles; con relación al tema ganadero se hace mención dentro de sus estrategias y acciones puntuales, el fomentar sistemas integrales de acompañamiento técnico especializado, repoblar el hato ganadero, fomentar la producción de alimentos, producción y acceso a insumos pecuarios, investigación y generación de conocimientos para las necesidades de los productores, entre otras (DOF, 2020b). Derivado de lo anterior, cabe resaltar el Programa Producción para el Bienestar (PPpB) que inició su operación en el año 2019, con el objetivo general de incrementar la producción nacional de granos y con ellos contribuir a incrementar la autosuficiencia alimentaria del país. Esta primera versión del PPpB se orientó a otorgar apoyos económicos y a facilitar asesoría a los productores de maíz, frijol y trigo panificable, que estuvieran registrados en el padrón del PPpB y que su superficie cultivable fuera de hasta 20 ha (DOF, 2019b). En el mismo año 2019, se incorporan otros cultivos como el café y la caña de azúcar (DOF, 2019c), y para el año 2020, se incluye al amaranto y chía (DOF, 2020a), finalmente en el año 2021, se incorporan tres productos más, miel, cacao y leche (DOF, 2020c); lo comentado previamente en el plano nacional, se puede apreciar en la Figura 2.



Figura 2. Mapa mental de las políticas públicas nacionales orientadas a la ganadería regenerativa.

El PPpB, si bien destina apoyos para dotar de liquidez a los productores, estos se combinaron con la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT), la cual busca brindar asesoría técnica-administrativa con la finalidad de: facilitar la adopción de prácticas agroecológica, a través de fortalecer las capacidades de los productores de pequeña y mediana escala, para conocer y reconocer la oferta disponible de los diversos niveles de gobierno; sin embargo, es importante subrayar las características que aplican para la Estrategia de Acompañamiento Técnico en Leche (EATL), la cual, a diferencia de los otros productos agrícolas que son beneficiarios del PPpB y la EAT, no dispone con el apoyo económico directo al beneficiario, es decir, solo aplica la asesoría técnica-organizativa (DOF, 2020c; DOF, 2022).

Es entonces, que a partir del año 2021 se adhiere al Padrón del PPpB al sector lechero del país, con el establecimiento de la EATL. Para enfrentar los retos que conllevan a romper el paradigma sobre los procesos de extensionismo que frecuentemente se aplican en México, como en este caso, en donde los beneficiarios no reciben recursos económicos directos, el reto se incrementó. Para ello la EATL propone 19 acciones procedentes de cuatro ejes: transición agroecológica; organización y territorio; formación y capacitación; y política pública. El objetivo general de la EATL es el fortalecer las capacidades de los productores de leche de pequeña escala que sean proveedores de la paraestatal Liconsa y empresas tractoras; y definieron como objetivos específicos, el incrementar la calidad de la leche, la productividad y rentabilidad de las unidades de producción, con el apoyo de la implementación de innovaciones tecnológicas y adopción de prácticas sustentables, lo anterior se



espera promueva el desarrollo de los productores y de sus comunidades (DOF, 2020c; DOF, 2022; Herrera, 2022).

La estrategia de acompañamiento se organizó en grupos de 25 pequeños productores con hasta 35 vacas en producción de las regiones centro, occidente y norte del país, también se incluyó a productores con hasta 50 vacas en producción de la región sur-sureste. Una de las intenciones de la EATL es fortalecer a aquellos productores que son proveedores de LICONSA o que son clientes de agroindustrias tractoras. Por otro lado, se establece dentro de las reglas de operación que los beneficiarios no reciban apoyos de otros programas y como población meta a nivel nacional se estableció llegar a 2,500 productores de 14 estados, donde colaboren 100 técnicos e integrar a 500 becarios del programa Jóvenes Construyendo el Futuro (DOF, 2022). La dinámica de la EATL se esquematiza en la Figura 3.

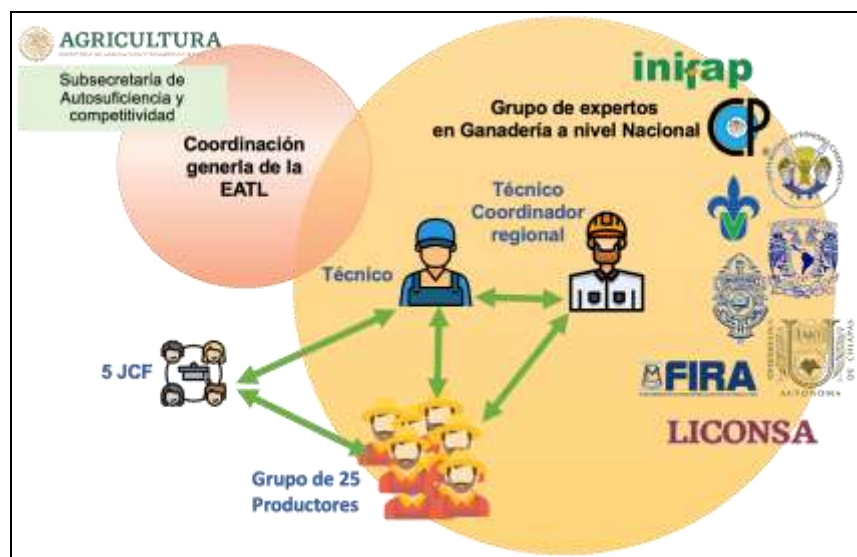


Figura 3. Dinámica de funcionamiento de la EATL.

La dinámica de trabajo de la EATL, se diseñó para que un técnico extensionista atienda a un grupo de 25 productores de una región (pueden ser municipios cercanos), asista de forma individual *in situ* a cada hato al menos dos veces al mes, recolecte y capture datos de la unidad de producción en un software especializado, con la finalidad de formar una línea base que permita a la misma estrategia poder redireccionar sus esfuerzos en los cohortes anuales y con esto también verificar el cumplimiento de metas e indicadores. Otros actores que forman parte de la estrategia son los técnicos coordinadores



(10 técnicos) que su función es dar seguimiento y apoyo a los técnicos de campo, para la implementación y sintonía técnica de las actividades propias de la EATL (DOF, 2022; Herrera, 2022).

Uno de los principales retos que enfrentó en su inicio la EATL, es la conformación de un grupo de técnicos con visión holística, esto derivado de las metas y directrices que persigue el mismo programa, para ello el grupo de trabajo de la coordinación nacional de la EATL ha sumado esfuerzos de colaboración y cooperación institucional, para dar capacitación técnica-práctica a su grupo de asesores técnicos de campo y técnicos coordinadores, esto con el apoyo de instituciones como: el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Veracruz, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), la Universidad Veracruzana (UV), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), el Fideicomiso Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), la paraestatal LICONSA, S.A. de C.V., entre otras. Esta vinculación, persigue fortalecer el perfil de los técnicos profesionistas, a través de facilitar y adaptar las últimas investigaciones en el tema lechero, así como los requerimientos solicitados por el mercado y las normas vigentes (Herrera, 2022).

En el cierre del primer año de operación de la EATL (2021-2022), se tienen datos interesantes, como la implementación de la estrategia en 110 municipios de 16 estados de la república, 2,378 productores participantes, 45 centros de Liconsa vinculados a la estrategia, los productores participantes utilizan diversos sistemas de producción, como el especializado, de pastoreo, de climas de transición, del altiplano, de ganadería doble propósito típica tropical, etc., es decir se observa la heterogeneidad de los sistemas de producción del país y con ello se vislumbra la complejidad para lograr dar cobertura a las demandas. Los principales temas abordados en las capacitaciones en el primer año fueron: calidad de leche, nutrición y fuentes de alimentación, administración del hato, sanidad, producción de forrajes, y crianza de reemplazos; y como temas de atención derivado de la experiencia, se facilitó la transferencia de tecnología en: forrajes alternos, sistemas silvopastoriles, instalaciones y equipo de ordeña, cultivos forrajeros tolerantes a la sequía, y producción de bioinsumos. Es importante destacar finalmente, que, para recopilar y sistematizar la información, se utilizó el software especializado Agropec Star® de forma inicial, aunque posteriormente se transitó al software Bovisoft®, lo cual arroja la línea base de la estrategia y en consecuencia será interesante analizarla en los subsecuentes años de implementación (Herrera, 2022).



Conclusiones

La EATL, es el resultado de una política pública que se orienta a fortalecer a las unidades de producción que existen en mayor porcentaje en el país que son las pequeñas, con el objetivo de transitar a una producción agroecológica y de una ganadería regenerativa, a través de poner a disposición las tecnologías desarrolladas por las instituciones y con ello se visualiza ese deseo que han perseguido los centros de investigación por décadas, de que sus resultados tengan una mayor aplicación en el agro mexicano. Por otro lado, el hecho de que la EATL no contempla el apoyo económico directo al productor, hace entrever diversos desafíos: el primero que los procesos de transferencia de tecnología y sus servicios inherentes, serán puestos a prueba constantemente por la necesidad de resultados y las necesidades socioeconómicas del productor; en segundo lugar, será el mantener y perseverar la visión holística de la estrategia en pro de su objetivo original y evitar desvirtuarse por las presiones de resultados inmediatos; tercer lugar, será el mantener la sintonía técnica y esencia del programa, por parte del grupo de asesores, coordinadores, becarios, interesados y de los mismos productores, en pro de generar una perspectiva a largo plazo y que pueda preservarse en las siguientes administraciones federales.

Literatura Citada

Agricultura (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2022. Transitemos hacia Prácticas Agrícolas Sustentables. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Gobierno de México. Acciones y Programas. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/componente-acompanamiento-tecnico-233999> [consultado el 15 de abril de 2022]

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2022. Plan Nacional de Desarrollo de México 2019-2024. Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo de América Latina y el Caribe. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-de-mexico-2019-2024> [consultado el 5 de junio de 2022]



DOF (Diario Oficial de la Federación). 2019a. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Plan Nacional de Desarrollo. 22 p.
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019 [consultado el 10 de abril de 2022]

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2019b. Lineamientos para la Operación del Programa Producción para el Bienestar para el ejercicio fiscal 2019. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 22 p.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5548620&fecha=23/01/2019#gsc.tab=0
[consultado el 15 de mayo de 2022]

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2019c. Lineamientos para operación del Programa Producción para el Bienestar para ejercicio fiscal 2019, publicado 23 de enero 2019. 15 p.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5560461&fecha=15/05/2019#gsc.tab=0
[consultado el 15 de mayo de 2022]

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020a. Reglas de Operación del Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el ejercicio fiscal 2021. 17 p.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5585830&fecha=07/02/2020#gsc.tab=0
[consultado el 15 de mayo de 2022]

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020b. Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 27 p.
https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5595549&fecha=25/06/2020#gsc.tab=0
[consultado el 10 de abril de 2022]

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2020c. Reglas de Operación del Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el ejercicio fiscal 2021. 17 p.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609033&fecha=28/12/2020#gsc.tab=0
[consultado el 15 de mayo de 2022]



DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. Reglas de Operación del Programa Producción para el Bienestar de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural para el ejercicio fiscal 2022. Diario Oficial de la Federación. 18 p. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5646225&fecha=18/03/2022 [consultado el 15 de mayo de 2022]

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2018. World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. En World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Roma. 220 p. <https://doi.org/10.4060/ca1201en> [consultado el 22 de mayo de 2022]

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2019. El sector pecuario en el mundo: Transformando el sector pecuario a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Resumen. Roma. 16 pp. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CA1177ES/> [consultado el 22 de mayo de 2022]

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2020. La ganadería y el medio ambiente. El papel de la FAO en la ganadería y el medio ambiente. <https://www.fao.org/livestock-environment/es>

FAOSTAT (Base de datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2022. Producción de leche en México para el 2020. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> [consultado el 22 de mayo de 2022]

FSS-ONU (Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios-Organización de las Naciones Unidas). 2021. Vías de Acción de la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios, septiembre de 2021 Nueva York, EE. UU. <https://www.un.org/es/food-systems-summit/action-tracks> [consultado el 15 de julio de 2022]



Herrera y Saldaña, R. 2022. Seminario: Estrategia de acompañamiento técnico para productores de leche Dr. Rolando Herrera y Saldaña. Secretaría de Agricultura. <https://www.youtube.com/watch?v=TgYISw5MD4o&t=1332s> [consultado el 15 de junio de 2022]

HPLE (Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria). 2016. Desarrollo agrícola sostenible para la seguridad alimentaria y la nutrición: ¿qué función desempeña la ganadería? Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Roma. 155 p. <https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/informes/es/> [consultado el 30 de mayo de 2022]

IPES-FOOD (International Panel of Experts on Sustainable Food Systems). 2015. La nueva ciencia de los sistemas alimentarios sostenibles. Superando las barreras a la reforma de los sistemas alimentarios. 25 p. <https://ipes-food.org/reports/> [consultado el 30 de mayo de 2022]

Martínez Hernández, L. M., y M. E. Leyva Arellano. 2014. Capítulo 3: Mapas mentales. p. 91-115. *In*: Martínez Hernández, L. M., M. E. Leyva Arellano, A. Barraza Macías, L. F. Félix Arellano, B. E. Sáenz Fuentes, K. K. Sánchez Torres, y V. Y. Flores Casas. Lo que sé de: mapas mentales, mapas conceptuales, diagramas de flujo y esquemas. Red Durango de Investigadores Educativos A. C. México.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2019. El futuro es ahora: La ciencia al servicio del desarrollo sostenible. En Informe Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. 228 p. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26929Spanish1918563_S_GlobalSusDevReport2019.pdf [consultado el 10 de mayo de 2022]

ONU-ODS (Organización de las Naciones Unidas-Objetivos del Desarrollo Sostenible). (2022). Objetivos y metas de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>



PMGS-FAO (Programa mundial para una ganadería sostenible-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2014. Programa mundial para una ganadería sostenible. Comité de Agricultura. 7 p. <https://www.fao.org/3/ml052s/ml052s.pdf> [consultado el 15 de mayo de 2022]

PMGS-FAO (Programa mundial para una ganadería sostenible-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016. Síntesis – Ganadería y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Programa Mundial de Ganadería Sostenible. 13 p. http://www.livestockdialogue.org/fileadmin/templates/res_livestock/docs/2016/Panama/FAO-AGAL_synthesis_Panama_Livestock_and_SDGs_SP.pdf [consultado el 15 de mayo de 2022]

SE (Secretaría de Economía). 2012. Análisis del sector lácteo en México, Secretaría de Economía. Dirección general de industrias básicas Gobierno de México. 29 p. https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf [consultado el 30 octubre de 2021]

Secretaría del Bienestar. 2021. Programa de apoyo al sector ganadero, crédito a la palabra, Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/credito-ganadero-a-la-palabra-un-apoyo-para-pequenos-ganaderos?idiom=es> [consultado 30 septiembre de 2021]

SEGOB (Secretaría de Gobernación). 2021. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Secretaría de Gobernación, Gobierno de México. 22 p. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha=12/07/2019 [consultado 30 septiembre de 2021]

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Boletín de leche enero-marzo 2021. Agricultura. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/documentos/boletin-de-leche?state=draft> [consultado 30 septiembre de 2021]



COMPARACIÓN DE LA EXPRESIÓN GÉNICA EN UNA CEPA ATENUADA Y UNA CEPA VIRULENTE DE *Babesia bigemina* EN MÉXICO

Rebeca Montserrat Santamaria Espinosa^{234*}, Karel Johan Estrada Guerra²³⁵, Grecia Martínez García²³⁴, José Juan Lira Amaya²³⁴, Carmen Rojas Martínez²³⁴, Antonio Álvarez Martínez, Fidel Alejandro Flores Sánchez^{235,236} y Julio Vicente Figueroa Millan²³⁴

Resumen

En nuestro país se cuenta con el sistema de cultivo *in vitro* de *Babesia* spp. establecido en el laboratorio, que permite el aislamiento, caracterización, selección y mantenimiento de cepas atenuadas que se han utilizado como vacuna viva atenuada en múltiples estudios a lo largo de 30 años de investigación. Sin embargo, actualmente se desconocen los mecanismos involucrados en el proceso de atenuación de *Babesia* spp., y es de suma importancia identificar los genes que se encuentran diferencialmente expresados transcripcionalmente, al comparar las cepas atenuada y virulenta de *B. bigemina*, derivadas originalmente de un caso clínico en México, y que han sido utilizadas como vacuna experimental y cepa de desafío, respectivamente. Se utilizó material biológico del CENID-SAI, Jiutepec, Morelos. Después de la extracción de RNA, se realizó un análisis transcriptómico (RNA-seq), seguido de un análisis bioinformático y enriquecimiento de términos basado en Ontología Génica (GO). Se logró obtener una secuenciación de alto rendimiento consistiendo en 9,504,000 - 9,656,000 y 13,400,000 - 15,750,000 lecturas de secuencia, para la cepa atenuada y la cepa virulenta, respectivamente, con longitud de las secuencias de 76 pb y 53% de contenido GC. Este análisis con el software FastQC reveló una buena calidad de las secuencias, con un valor Phred de ≥ 20 . Los reads de RNA-seq que se mapearon con el genoma de referencia de *Babesia bigemina*, permitieron obtener un total de 20,976,605 y 19,162,769 reads para la cepa virulenta y la cepa atenuada de *Babesia bigemina*, respectivamente. Para el análisis de expresión diferencial se utilizó el ensamblado global de *Babesia bigemina*. Se detectaron un total de 3544 genes expresados. Sin embargo, se detectaron 519 genes que se expresan diferencialmente, comparando la cepa virulenta y la cepa atenuada de *Babesia bigemina*.

²³⁴ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Salud Animal e Inocuidad, INIFAP. *santamaria.rebeca@inifap.gob.mx

²³⁵ Unidad Universitaria de Apoyo Bioinformático, Instituto de Biotecnología, UNAM.

²³⁶ Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva de DNA, Instituto de Biotecnología, UNAM.



Del total de genes expresados diferencialmente se logró identificar 482 correspondientes a sub-regulación y 37 genes están sobre expresados.

Palabras clave: babesiosis bovina, RNA-seq, expresión diferencial

Introducción

Babesia bigemina es un protozoo intraeritrocitario del *Phylum Apicomplexa*, y es uno de los agentes etiológicos de la babesiosis bovina en México y el mundo. La distribución de esta enfermedad está delimitada en áreas tropicales y subtropicales, es considerada una de las enfermedades más importantes transmitida por las garrapatas *Rhipicephalus microplus* y *Rhipicephalus annulatus* (Bock *et al.*, 2004). En México, las regiones tropicales y subtropicales representan aproximadamente el 53% del territorio nacional, donde más del 75% de la ganadería se concentra en estas regiones (Bautista y Martínez, 2012). Es decir, Vdel inventario nacional, aproximadamente 33,5 millones de cabezas de ganado, 25,1 millones se encuentran en áreas de alta endemicidad. En 2016 se realizó una estimación de pérdidas económicas anuales de \$68.878.694 dólares, generadas por la disminución de la producción de leche por la presencia de *Rhipicephalus microplus* (Rodríguez *et al.*, 2017); Mientras que las pérdidas en bovinos en el trópico de nuestro país (*Bos indicus* x *Bos Taurus*), se estimó una pérdida de US\$ 504.729.382 por infestaciones de vectores (Rodríguez *et al.*, 2017). Estamos hablando de grandes pérdidas económicas solo por la presencia del vector, sin embargo, hoy en día no existe una estimación nacional de las pérdidas generadas por la babesiosis bovina. Como estrategias de control y prevención se han utilizado durante muchos años diferentes metodologías, como el control de vectores, mediante el uso de ixodicidas, la implementación de ganado resistente o crianza con *Bos indicus*, y el control del movimiento de ganado especializado en áreas de alta endemicidad para Babesiosis (Solorio y Rodríguez, 1997). Por otro lado, se sabe que el ganado desarrolla inmunidad duradera después de la infección con *B. bovis* y/o *B. bigemina*, sin una inmunidad cruzada adecuada entre las dos especies (Vega *et al.*, 1999). De esta forma, la inmunización sería el procedimiento que mejores perspectivas ofrece para la prevención y control de la babesiosis bovina (Cantó *et al.*, 2003a; 2003b; Figueroa *et al.*, 1998). Además, se han publicado diferentes estudios de material vacunal, algunos basados en el uso de antígenos parasitarios obtenidos de lisados de eritrocitos infectados, también se han utilizado antígenos



solubles presentes en el sobrenadante de cultivos de *Babesia canis* (Schetters *et al.*, 2001), así como, *Babesia bovis* y *B. bigemina* (Montenegro *et al.*, 1987). En Australia se ha descrito el uso de vacunas vivas atenuadas por pases múltiples en terneros esplenectomizados (Callow, 1977), con las que se ha podido inducir una protección de hasta el 95%; sin embargo, se han presentado reacciones adversas, contaminación de la vacuna con organismos patógenos y sensibilización frente a otros grupos sanguíneos (Bock *et al.*, 2004). Actualmente, el uso de vacunas atenuadas es una de las mejores estrategias de intervención que lleva a la necesidad de una mejora continua de este tipo de vacunas vivas (Shkap *et al.*, 2007). Así, el desarrollo de inmunógenos vivos a partir de cepas atenuadas derivadas de cultivo *in vitro* se ha propuesto como una alternativa para el control de la babesiosis bovina (Cantó *et al.*, 1999). En México, el cultivo *in vitro* de *Babesia* spp. se mantiene con parásitos que fueron originalmente aislados de brotes de campo; así *B. bovis* y *B. bigemina* han sido adaptadas, clonadas y mantenidas en criopreservación y cultivo *in vitro* hasta la fecha (Rodríguez *et al.*, 1983; Vega *et al.*, 1986a; 1986b). Trabajos de investigación en CENID-SAI, INIFAP, han demostrado que una cepa de *B. bigemina* mantenida por pases continuos en cultivo *in vitro* se ha mantenido como una población atenuada al no afectar significativamente los valores hematológicos en animales inoculados (Figuroa *et al.*, 1998). La cepa atenuada de *B. bigemina* denominada “México” (Vega *et al.*, 1985) ha inducido protección frente al desafío heterólogo con sangre o garrapatas infectadas en condiciones controladas y de campo (Figuroa *et al.*, 1998; Álvarez *et al.*, 2004). Se han desarrollado cepas vacunales para conferir una protección adecuada sin ser transmitida por garrapatas, característica considerada ecológicamente deseable ya que evita la aparición de casos clínicos por transmisión de la cepa vacunal por garrapatas (Mangold *et al.*, 1993). Esta capacidad ha sido demostrada después del pase en ganado susceptible (Dalglish *et al.*, 1981; Hernández *et al.*, 1990; Timms *et al.*, 1990). Además, este tipo de vacuna viva atenuada tiene la gran ventaja que le confiere su producción *in vitro*: un bajo riesgo de contaminación con otros agentes infecciosos (Pipano, 1995; Rojas *et al.*, 2018a; 2018b); una suspensión de glóbulos rojos altamente parasitados y la posibilidad de producción de vacunas a escala relativamente grande (Timms y Stewart, 1989). Recientemente, y de manera importante, se demostró que la cepa atenuada de *Babesia bigemina* no fue transmitida por garrapatas después de varios pases en ganado susceptible. Se demostró la ausencia de reversión a la virulencia de esta cepa después de tres pases sucesivos en bovinos susceptibles y se confirmó que los parásitos mantenidos en cultivo *in vitro* perdieron la capacidad de multiplicarse en la garrapata vector durante un segundo pase por subinoculación en bovinos susceptibles. (Rojas *et al.*, 2011). Así mismo, es



importante mencionar que actualmente existen reportes sobre mutaciones asociadas a la virulencia, y posterior atenuación en bacterias y virus, sin embargo, aún no existe información sobre modificaciones genéticas asociadas a la virulencia en protozoos. Especialmente hablando de *Babesia* spp., que es un protozoo que tiene múltiples fases de desarrollo durante su ciclo biológico, y aunque respecto a *B. bovis* existe un estudio que menciona que la cepa virulenta puede ser atenuada estableciendo el parásito en cultivo *in vitro*, y posiblemente durante este proceso de atenuación se requieran estudios que involucren la era posgenómica (Pedroni *et al.*, 2013). Adicionalmente, existen estudios sobre la atenuación de patógenos intracelulares por cultivo *in vitro*. Es un fenómeno bien conocido y los patógenos de origen viral, rickettsial y protozoario (es decir, *B. bovis* y *B. divergens*) se han vuelto avirulentos o menos patógenos a través del crecimiento prolongado en cultivo celular (Yunker *et al.*, 1987; Kuttler *et al.*, 1988; Schuster, 2002). Por lo antes mencionado, es de suma importancia identificar qué genes se encuentran diferencialmente expresados transcripcionalmente, al comparar las cepas atenuadas y virulentas de *B. bigemina*, existentes en México y que han sido utilizadas como vacuna experimental y cepa de desafío, respectivamente (Figueroa *et al.*, 1998; Cantó *et al.*, 1999; 2003a; 2003b; Rojas *et al.*, 2018a).

Materiales y Métodos

Bovinos experimentales

Se utilizaron un total de siete bovinos *Bos taurus* libres de brucelosis y tuberculosis, como enfermedades de campaña a nivel nacional, además libres de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* y por ende libre de babesiosis bovina. Uno de los bovinos se esplenectomizó con la finalidad de activar la cepa virulenta, la cual se mantiene en condiciones de criopreservación. Posterior a la recuperación de la cepa virulenta, se inocularon tres bovinos con una dosis de 1×10^8 de eritrocitos infectados mediante vía IM (Grupo I). La cepa atenuada (vacuna viva atenuada) se inoculó a tres bovinos con una dosis de 1×10^8 de eritrocitos infectados, mediante la vía IM (Grupo II). Cabe mencionar que el manejo de los animales experimentales durante el estudio se realizará bajo las normas de control humanitario respaldado por el comité de bioética del CENID-SAI del INIFAP. Así mismo, se cuenta con la aprobación ante el Subcomité Institucional de la FMVZ de la UNAM, para el Cuidado y Uso de Animales Experimentales (Anexo. 1-SICUAE.DC-2022/1-3).



Concentración de eritrocitos infectados con *Babesia bigemina*

Se empleó un gradiente isoosmótico con Percoll al 68.46%, mezclando 30 mL de percoll y 4.8 mL de eritrocitos infectados con *B. bigemina* en solución Vega y Martínez (VYM), (volumen a volumen), en un tubo de policarbonato transparente de 14 x 70 mm, y centrifugando durante 6 min. a 30,000 x g. a 4°C con desaceleración, para posteriormente realizaron tres lavados con VYM a 4000 r. p. m. durante 15 min a 4°C (Vega *et al.*, 1986). Finalmente, se separaron las fases y se realizaron frotis. El pellet obtenido se congeló a -80 con RNAlater para su posterior extracción del RNA total.

Extracción de RNA total

El RNA total de los protozoarios fue extraído empleando el kit comercial Rneasy Mini (Qiagen®). Realizando algunas modificaciones, las moléculas de RNA fueron evaluadas para determinar su integridad mediante electroforesis en geles de agarosa para determinar calidad y abundancia (Ausubel *et al.*, 2006). Así mismo, las muestras de RNA fueron cuantificadas mediante un Implen NanoPhotometer®. También, se determinó el RIN (por sus siglas en inglés RNA Integrity Number), mediante un perfil generado por el equipo Agilent 2100 (Schroeder *et al.*, 2006; Mueller *et al.*, 2016).

Secuenciación

Se empleó la plataforma Illumina, MiSeq Next Generation Sequencing Technology (Sanger/Illumina 1.9) con un phred33, para llevar a cabo la secuenciación masiva de los transcritos de las cepas de *Babesia bigemina*. Los transcriptomas fueron generados en la unidad de Secuenciación y Bioinformática del Instituto de Biotecnología de la UNAM, utilizando un mínimo de 3 µg de RNA total de la más alta calidad posible, con un valor de RIN aceptable. Cabe mencionar que las bibliotecas se construyeron con lecturas pareadas y cadena específicas, con el kit TruSeq RNA Library Preparation, y a partir de tres replicas biológicas de cada cepa.

Análisis bioinformático

Posterior a la secuenciación, se obtuvieron los datos en forma de “reads” contenidas en formatos fasta y fastq, los pasos para el análisis bioinformático a realizar fueron: Análisis de la calidad y limpieza de las lecturas (análisis primario), ensamble y alineamiento, identificación de genes expresados.

Análisis de la calidad de las lecturas (“reads”)

La filtración de los “reads” de calidad se realizó con ayuda del software bioinformático FastQC versión 0.11.5 (<http://www.bioinformatics.babraham.ac.uk/projects/fastqc/>).

Limpieza de genoma contaminante. Previamente al ensamblaje se procedió a realizar una limpieza de “reads” provenientes del posible genoma contaminante de *Bos taurus*



(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/?term=genoma+Bos+taurus>) ya que es el hospedero del protozooario *Babesia bigemina*, mediante mapeo de las secuencias obtenidas contra el genoma del bovino y con ayuda del algoritmo Bowtie (<https://www.cbcu.umd.edu/software/>).

Ensamble de genoma de referencia y normalización

Las muestras se asignaron al genoma de referencia (cDNA de *B. bigemina* (GCF_000981445.1) descargadas de NCBI. Para ello se utilizó el programa BWA (v0.7.17-r1188) y se aplicaron filtros posteriores para separar las secuencias que se mapearon, ordenaron y marcaron duplicados ópticos. Se realizó un conteo y normalización de los mapeos, utilizando el programa Express (v1.5.1).

Expresión diferencial. El análisis de expresión diferencial se realizó utilizando tres réplicas biológicas de cada una de las cepas utilizadas en este estudio, a través del sitio web “IDEAMEX Integrated Differential Expression Analysis MultiEXperiment”, (IDEAmex) (<http://www.uusmb.unam.mx/ideamex/>) usando tres paquetes de expresión diferencial diferentes: edgeR, DESeq2 (Anders & Huber, 2010) y NOISeq (Tarazona *et al.*, 2011). Para reportar genes expresados diferencialmente, una línea de corte de "False Tasa de descubrimiento" (FDR) < 0,01 y logFC > 2. (Jiménez *et al.*, 2019).

Enriquecimiento de ontología génica

La anotación funcional se realizó asignando las categorías de ontología génica (GO), proceso biológico, función molecular y componente celular de cada gen anotado, lo anterior mediante el programa R “TopGO” (v2.46.0). Los términos GO con un valor de $p < 0,1$ se consideraron significativamente enriquecidos.

Resultados y Discusión

Concentración de eritrocitos infectados con *Babesia bigemina*

Para obtener la concentración de eritrocitos infectados con *Babesia bigemina* se utilizó un protocolo de gradiente de Percoll al 46%, formando tres fases; la fase delgada superior, una fase intermedia y una fase inferior. El análisis microscópico de estas fases indicó que la fase superior delgada contenía principalmente membranas celulares y algunos eritrocitos con trofozoítos, mientras que la fase intermedia contenía la mayoría de los eritrocitos parasitados con trofozoítos y merozoítos de *Babesia*



bigemina. Finalmente, en la fase inferior estaban las células mononucleares y trofozoitos/merozoitos libres (Figura 1).

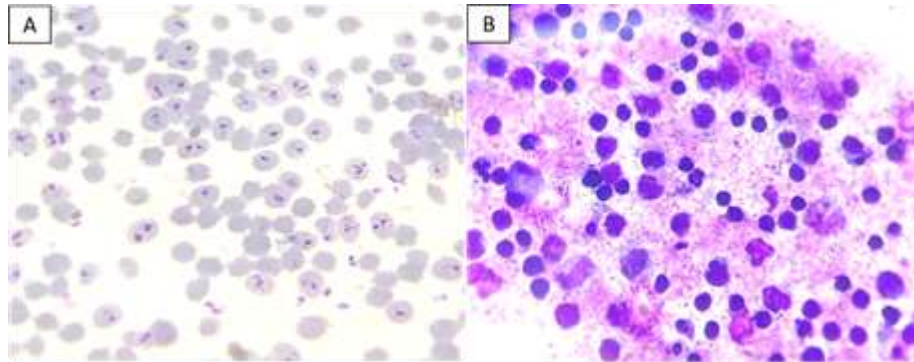


Figura 1. Concentración por percoll al 46%. A) Fase intermedia, se observan eritrocitos parasitados con trofozoitos y merozoitos de *Babesia bigemina*. B) Fase inferior, células mononucleares y trofozoitos/merozoitos libres. Frotis teñido con Giemsa, 100X. Unidad de Babesia del CENID-SAI, INIFAP.

Extracción de RNA

El RNA total extraído de las muestras de los bovinos inoculados con la cepa virulenta y de la cepa atenuada de *B. bigemina* mostraron concentraciones superiores a los 150 ng/ μ L, los valores de calidad de la absorbancia 260/280, fueron aproximadamente de 2.10 para las tres muestras. Al determinar la integridad en el gel de agarosa al 1% se observaron las bandas de las subunidades 28S y 18S de RNA ribosomal, sin presencia de gDNA, ya que durante la extracción se realizó una digestión con DNasa 1.

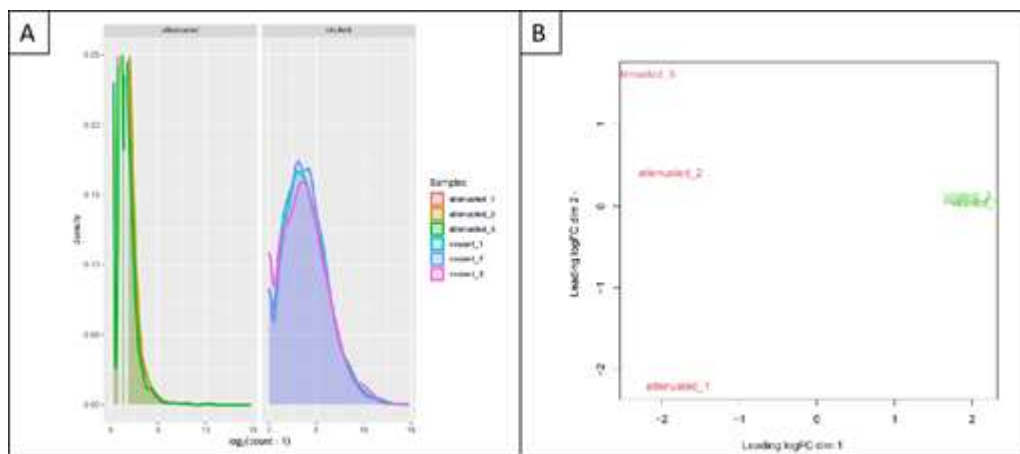
Análisis bioinformático (Análisis primario)

Los experimentos de RNA-Seq generan un gran volumen de “reads” de secuencia sin procesar, que deben ser procesados para generar información útil, para lo antes mencionado, se requiere una combinación de herramientas bioinformáticas que varían según el diseño experimental y los objetivos de los experimentos (Lowe *et al.*, 2017). El análisis de secuenciación del transcriptoma de la cepa virulenta y atenuada de *Babesia bigemina*, con la plataforma Sanger/Illumina 1.9, generó “reads” de aproximadamente 9, 504, 000 - 9, 656, 0000 y 13, 400, 000 - 15, 750, 000, para las muestras del GI y GII, respectivamente. Con longitud de las secuencias de 76 pb y 53% de GC. Este análisis con el software FastQC reveló una buena calidad de secuencia, con un valor Phred de ≥ 20 .



Mapeo con el genoma de referencia

Los reads de RNA-seq se mapearon con el genoma de referencia de *Babesia bigemina*, logrando obtener un promedio de 20,976,605 y 19,162,769 reads totales para la cepa virulenta y la cepa atenuada de *Babesia bigemina*, respectivamente, sin observar control de calidad fallido, ni duplicaciones. Respecto a la similitud y la variación entre las réplicas biológicas se puede visualizar mediante el patrón de proximidades (similitud, diferencia o distancia) entre el conjunto de réplicas biológicas de las muestras que representan la cepa virulenta vs la cepa atenuada, especialmente el escalado multidimensional (MDS), observándose una gran similitud sobre todo en las réplicas de la cepa atenuada, a diferencia de las réplicas de la cepa virulenta (Figura 2B). Además, podemos observar la distribución de conteo normalizada en el diagrama de densidad, detectando una disimilitud en el conteo de réplicas, al igual que las réplicas correspondientes a la cepa atenuada se superponen en gran medida, lo que indica una menor variabilidad (Figura 2A). Los resultados generados en la secuenciación presentaron una ligera variabilidad en las lecturas que pertenecen a las réplicas biológicas de la cepa atenuada (GII), esto se puede asociar a la variabilidad en la susceptibilidad del hospedero, hablando a nivel poblacional, ya que puede variar por la genética del huésped, el estado inmunológico del hospedero, etc.



Figura| 2. Representación de la similitud y variación entre las muestras biológicas de la cepa virulenta Vs la cepa atenuada de *Babesia bigemina*, respectivamente. A) Gráficos de densidad. B) Escalamiento multidimensional (MDS).

Para determinar la expresión diferencial se emplean varias herramientas de manera simultánea. Algunas herramientas para el análisis de expresiones diferenciales son: edgeR versión 3.24.3, usando el



método de normalización TMM, funciona con o sin réplicas (Anders y Huber, 2010); limma-Voom versión 3.38.3, emplea log₂- cuenta por millón método de normalización y solo funciona con replicas, basándose en el modelo lineal y desarrollado originalmente para analizar datos de microarreglos, sin embargo, actualmente también se emplea para el análisis de RNA-Seq. La guía del usuario de limma recomienda el uso de la normalización TMM del paquete edgeR asociado con el uso de la conversión de voom, que esencialmente transforma los recuentos normalizados en logaritmos de base 2 y estima la relación media-varianza para determinar cada observación inicialmente por un modelo lineal (Ritchie *et al.*, 2015); DESeq2 versión 1.22.2, con DESeq2- método de normalización predeterminado y funciona con o sin réplicas, se basa en una distribución binomial negativa, con varianza y media limitada por regresión local (Love *et al.*, 2014). NOIseq versión 2.26.1, con TMM método de normalización funciona con o sin réplicas, ya que adapta los datos no paramétricos, modela empíricamente el ruido en los datos de conteo y permite el análisis de datos sin replicación (Tarazona *et al.*, 2011). Para el análisis de expresión diferencial se utilizó el ensamblaje global de *Babesia bigemina*. Se detectaron un total de 3544 genes expresados, de los cuales 691 fueron detectados por edgeR, 2308 por NOIseq, 545 por DESeq2. Sin embargo, en la integración entre DESeq2 y NOIseq se detectaron 26 genes, entre edgeR y NOIseq 172 genes y entre edgeR, NOIseq y DESeq se detectaron 519 genes que expresan diferencialmente, comparando la cepa virulenta y la cepa atenuada de *Babesia bigemina*.

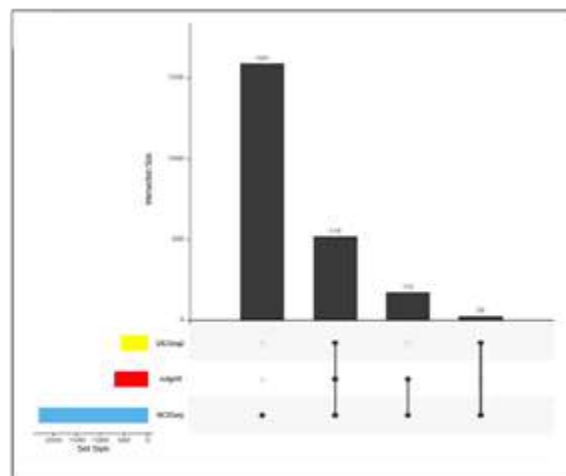


Figura 3. Upset plot. Resumen de integración con la intersección de los métodos NOIseq, edgeR y DESeq2.



Enriquecimiento de ontología génica

Del total de genes expresados diferencialmente se logró identificar 482 correspondientes a subregulación y 37 genes están sobreexpresados, la categorización de la ontología génica en cuanto a subregulación se clasificaron 16 términos pertenecientes a procesos biológicos, 9 en el componente celular y 10 en funciones moleculares. En cuanto a la categorización de términos para genes sobre expresados, 21 términos se asociaron con procesos biológicos, 6 con componentes celulares y 4 con funciones moleculares. La categoría asociada con procesos biológicos con mayor frecuencia fue la traducción GO:0006412, sin embargo, los genes posiblemente asociados con la virulencia, siguiendo el gráfico acíclico en las tres categorías corresponden a XP_012766447, proteína con dominio de quinasa, putativa, XP_012768872, proteína ribosómica ácida 60S. Por otro lado, los genes sobreexpresados XP_012768736, la proteína activadora de GTPasa, miembro de la familia del dominio TBC1, XP_012766060, una proteína conservada, XP_012770178, proteína helicasa de DNA, tipo RuvB 2 y XP_012770153, proteína que contiene el dominio de repetición MORN, putativo. Es importante mencionar que un estudio previo sobre la comparación genómica de estas mismas cepas virulenta y atenuada de *Babesia bigemina*, dio como resultado 27 genes asociados a la virulencia, de los cuales solo cinco fueron identificados en la cepa atenuada, algunos de los genes con función virulenta como la proteína quinasa 4 dependiente de calcio (XM_012911530.1), proteína quinasa 2 de dominio de calmodulina (XM_012910710.1), proteína *quinasa dependiente* de AMPc (XM_012914446.1), caseína quinasa I (XM_012913338.1), por nombrar algunas. Sin embargo, la mayoría pertenecen a la familia de las quinasas (Sachman *et al.*, 2021). Es importante mencionar que la mayoría de los genes de virulencia son proteínas quinasas (PKA), que es una familia de enzimas que modifican otras proteínas añadiendo fosfatos.

Conclusiones

En resumen, este estudio pudo comparar por primera vez el transcriptoma de una cepa virulenta y una cepa atenuada de *Babesia bigemina*, utilizando RNA-seq mediante secuenciación Illumina, estos datos brindaron información importante para comprender mejor los procesos biológicos de cada una de las cepas de *Babesia bigemina* utilizadas en este estudio. Esto permitirá disponer de genes diana para



diseñar estrategias de intervención específicas, como el desarrollo de nuevas herramientas de diagnóstico, vacunas y medicamentos innovadores.

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado en su totalidad por el proyecto titulado “Estudio comparativo genómico y transcriptómico de cepas atenuada y virulenta de *Babesia bigemina*” CONACYT No. A1-S-43508. (Ahora CONAHCYT).

Literatura Citada

- Álvarez, J.A, A.J. Ramos, E. Rojas, J.J. Mosqueda, M.C. Vega, M.J. Olvera F. y A.G. Cantó. 2004. Field challenge of cattle vaccinated with a combined *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* frozen immunogen. *Anns. NY Acad. Scie.* (1026): 277-283.
- Anders, S and W. Huber. 2010. Differential expression analysis for sequence count data. *Genome Biol.* 11(10): R106.
- Ausubel, FM, R. Brent, R.E. Kingston, D.D. Moore, J.G. Seidman, J.A. Smith, and K. Struhl. 2006. *Current Protocols in Molecular Biology.* J. Wiley & Sons Inc., New York.
- Bautista, G.C.R. and I.F. Martínez. 2012. Experiences on the control of cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in Mexico. En: *Ticks: Disease, management and control.* Moges Woldemeskel editor. Nova Science Publishers, Inc. pp. 205-216.
- Bock, R.E., L. Jackson, A.J. De Vos and W. Jorgensen. 2004. Babesiosis of cattle. *Parasitol;* (4):247-269.



- Callow, LL. 1977. Vaccination Against Bovine Babesiosis. En: Miller L.H., Pino J.A., McKelvey J.J. (eds), Immunity to Blood Parasites of Animals and Man. Adv Exp Med Biol. 93: 121-149.
- Cantó, G.J., J.A. Álvarez, E.E. Rojas, J.A. Ramos, J.J. Mosqueda, C.A. Vega y J.V. Figueroa. 2003a. Protección contra babesiosis bovina con una vacuna mixta de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* derivada de cultivo *in vitro* bajo una confrontación de campo. I. Inmunización en un área libre de la enfermedad. Vet. Méx. (34):323-332.
- Cantó, A.G.J., E.E. Rojas, J.A. Álvarez, J.A. Ramos, J.J. Mosqueda, C.A. Vega y J.V. Figueroa. 2003b. Protección contra babesiosis con una vacuna mixta de *B. bovis* y *B. bigemina* derivada de cultivo *in vitro* en una confrontación de campo. II Inmunización en un área endémica. Téc. Pecu. Méx. 4(3):307-315.
- Cantó, G.J., J.V. Figueroa, J.A. Ramos, J.J. Mosqueda, C.A y Vega. 1999. Evaluación de la capacidad protectora de un inmunógeno fresco combinado de *Babesia bigemina* y *Babesia bovis*. Vet. Mex. (30):215-219.
- Dalgliesh, R.J., L.L. Callow, L.T. Mellors, W. McGregor, and W. 1981. Development of a highly infective *Babesia bigemina* vaccine of reduced virulence. Aust. Vet. J. 57: 8-11.
- Figueroa, J.V., G.J. Cantó, J.A. Álvarez, G.R. Loza, J.A. Ramos y C.A. Vega. 1998. Capacidad protectora en bovinos de una cepa de *Babesia bigemina* derivada del cultivo *in vitro*. Tec. Pecu. Mex. 36(2):95-107.
- Hernández, OR, J.J. Álvarez M, G.M. Buening, G.J. Cantó A, M.M. Basillio, J.A. Ramos A y C.A. Vega M. 1990. Diferencias en la virulencia y en la inducción de protección de aislamientos de *Babesia bigemina* derivados de cultivo *in vitro*. Téc. Pecu. Méx. 28 (2): 51-62.
- Jiménez, J.V., F.A. Sánchez y A.L. Vega. 2019. Integrative Differential Expression Analysis for Multiple experiments (IDEAMEX): A Web Server Tool for Integrated RNA-Seq Data Analysis. 10; 279



- Kuttler, L., J.L. Zaugg and C.E. Yunker. 1988. The pathogenicity and immunologic relationship of a virulent and a tissue-culture-adapted *Babesia bovis*. *Vet. Parasitol.* 27: 239–244.
- Love, M.I., W. Huber and S. Anders. 2014. Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. *Genome Biol.* 15:550.
- Lowe, R., N. Shirley, Bleackley M, S. Dolan and T. Shafee. 2017. Transcriptomics technologies. *PLoS Comput Biol.* 18;13(5).
- Mangold. A.J., D.H. Aguirre, M.M. Cafrune, S.T. Echaide and A.A. Guglielmo. 1993. Evaluation of the infectivity of a vaccinal and a pathogenic *Babesia bovis* strain from Argentina to *Boophilus microplus*. *Vet.Para.* 51(1):143-148.
- Mueller, O., S. Lightfoot and A. Schroeder. 2016. RNA Integrity Number (RIN) – Standardization of RNA Quality Control. Agilent Technologies. 5989-1165EN. 1-8.
- Pedroni, M.J., K.S. Sondgeroth, G.M. GallegoL and Ot LA Echaide. 2013. Comparative transcriptome analysis of geographically distinct virulent and attenuated *Babesia bovis* strains reveals similar gene expression changes through attenuation. *BMC Gen.* (6) 14:763
- Pipano, E. 1995. Live vaccines against hemoparasitic diseases in livestock. *Parasitol.* 57: 213-231.
- Ritchie, M.E., B. Phipson, D. Wu, Y. Hu, C.W. Law and W. Shi *et al.* 2015. Limma powers differential expression analyses for RNA-sequencing and microarray studies. *Nucleic Acids Res.* 20;43(7): e47.
- Rodríguez SD, Buening GM, Green TJ, Carson CA. 1983. Cloning of *Babesia bovis*.
- Rodríguez, VRI, L. Grisi, A.A. Pérez L, H. Silva V., J.F. Torres A., H. Fragoso S., *et al.* 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico. *Review. Rev. Mex. Cienc. Pecu.* (8):61-74.



- Rojas, M.C., R.I. Rodríguez V., J.V. Figueroa M, K.Y. Acosta V, E.J. Gutiérrez R, C.R. Bautista G., *et al.* 2018a. *Babesia bigemina*: Advances in continuous *in vitro* culture using serum-free medium supplemented with insulin, transferrin, selenite, and putrescine. *Parasitol. Int.* (67): 294–301.
- Rojas, M.C., R.I. Rodríguez V., J.V. Figueroa M., C.R. Bautista G., R.O. Castañeda A., J.J. Lira A., *et al.* 2018b. Bovine babesiosis: Cattle protected in the field with a frozen vaccine containing *Babesia bovis* and *Babesia bigemina* cultured *in vitro* with a serum-free medium. *Parasitol. Int.* 67(2):190-195.
- Rojas, R.E.E., J.J. Mosqueda G., J.A. Álvarez M., R. Hernández O., J.A. Ramos A., C. Rojas M., *et al.* 2011. Transmissibility of *Babesia bigemina* and *Babesia bovis* attenuated strains by *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* ticks. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2(3):267-281.
- Sachman, R.B., L. Lozano, J.J. Lira, G. Martínez, C. Rojas, J.A. Álvarez y J.V. Figueroa. 2021. Comparative genomic study of attenuated and virulent strains of *Babesia bigemina*. *Pathogens.* (10), 318: 1-11.
- Schettters, T.P., J.A. Kleuskens, N.C. Scholtes, A. Gorenflot, K. Moubri and A.N. Vermeulen. 2001. Vaccination of dogs against heterologous *Babesia canis* infection using antigens from culture supernatants. *Vet. Parasitol.* 100(1-2):75-86.
- Schroeder, A., O. Mueller, S. Stocker, R. Salowsky, M. Leiber, M. Gassmann, *et al.* 2006. The RIN: an RNA integrity number for assigning integrity values to RNA measurements. *BMC Mol. Biol.* 7, 3.
- Shkap, V., A.J. de Vos, E. Zwegarth and F. Jongejan. 2007. Attenuated vaccines for tropical theileriosis, babesiosis and heartwater: the continuing necessity. *Trends Parasitol.* 23(9):420-426.
- Schuster, F.L. 2002. Cultivation of *Plasmodium* spp. *Clin. Microbiol. Rev.* 15(3): 365–373.



- Solorio, R.J.L. y R.I. Rodríguez V. 1997. Epidemiología de la babesiosis bovina. II. Indicadores epidemiológicos y elementos para el diseño de estrategias de control. *Rev. Biomed.* 8(2): 95-105.
- Tarazona, S, A.F. García, J. Dopazo, A. Ferrer and A. Conesa. 2011. Differential expression in RNA-seq: a matter of depth. *Genome Res.* 21, 2213–2223.
- Timms, P. and N.P. Stewart. 1989. Growth of *Babesia bovis* parasites in stationery and suspension cultures and their use experimental vaccination of cattle. *Res. Vet. Sci.* 47: 309-314.
- Timms, P., N.P. Stewart and A.J. De Vos. 1990. Study of virulence and vector transmission of *Babesia bovis* by use of cloned parasite lines. *Infect. Immun.* 58 (7): 2171-2176.
- Vega, C.A., G.M. Buening, S.D. Rodriguez, C. A. Carson, and K. McLaughlin. 1985. Cryopreservation of *Babesia bigemina* for *in vitro* cultivation. *Am. J. Vet. Res.* 46:421.
- Vega, C.A., G.M. Buening, S.D. Rodriguez, and C.A. Carson. 1986a. Cloning of *in vitro* propagated *Babesia bigemina*. *Vet. Parasitol.* 22(3-4): 223-233.
- Vega, CA, M.G. Buening, S.D. Rodríguez, and C.A. Carson. 1986b. Concentration and enzyme content of *in vitro*-cultured *Babesia bigemina*-infected erythrocyte. *J. Protozool.* 33(44): 514-518.
- Vega, C.A., J.V. Figueroa M., E. Rojas R., J.A. Ramos A. y G. Cantó A. 1999. Insuficiente inmunidad cruzada en bovinos por *Babesia bigemina* y *Babesia bovis* derivadas de cultivo *in vitro*. *Tec. Pecu. Méx.* 37(1):13-22.
- Yunker, C.E., K.L. Kuttler and L.W. Johnson. 1987. Attenuation of *Babesia bovis* by *in vitro* cultivation. *Vet. Parasitol.* 24: 7-13.



INFECCIÓN EXPERIMENTAL DE BOVINOS CON CEPAS VIRULENTA Y ATENUADA DE *Babesia bigemina*: MONITOREO CLÍNICO-SEROLÓGICO

Tomás Valdemar Santamaria Espinosa^{237*}, Julio Vicente Figueroa Millán²³⁸, Rebeca Montserrat Santamaria Espinosa²³⁸, Grecia Martínez García²³⁸, José Juan Lira Amaya, Carmen Rojas Martínez²³⁸ y Jesús Antonio Álvarez Martínez²³⁸

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar un seguimiento clínico y serológico comparativo de animales inoculados con microorganismos virulentos y atenuados de *B. bigemina*. El grupo I (GI) se inoculó con 1×10^8 eritrocitos infectados con *B. bigemina* (cepa virulenta) mientras que el grupo II (GII) fue inoculado con 1×10^8 eritrocitos infectados con *B. bigemina* (cepa atenuada) derivada de cultivo *in vitro*. El monitoreo diario incluyó el registro de la temperatura rectal ($^{\circ}\text{C}$) y muestreo sanguíneo para determinar: Volumen celular aglomerado (VCA) y el Porcentaje de eritrocitos parasitados (PEP). Además, se utilizó la técnica de Inmunofluorescencia indirecta (IFI) para obtener el título de anticuerpos anti-*B. bigemina*. En el bovino que fue esplenectomizado se detectó un PEP $>9\%$ y a partir de ese bovino se obtuvo material biológico para inocular a los bovinos del GI. Los animales del GI mostraron signos clínicos asociados a una babesiosis aguda severa, con fiebre $>41^{\circ}\text{C}$, hemoglobinuria, PPE $>5\%$ en el día 5-6 Post-Inoculación (PI); y disminución del VCA a partir del día 4 PI, con un VCA mínimo del 11.3% al final del seguimiento clínico. A los animales se les dio muerte experimental una vez que se obtuvieron los resultados esperados, mediante la administración de un tratamiento babesiacida. El GII no presentó fiebre ni signos de babesiosis aguda, presentando solo una ligera disminución de VCA (valor de HT del 25%) y PEP $<0.1\%$. Ningún bovino del GII requirió tratamiento. La seroconversión se identificó el día 7 PI, con un título de anticuerpos máximo de 1:1280 el día 14 PI en los animales del GI. En el GII se determinó un título máximo de anticuerpos de 1:2560. Se concluye que la cepa mantenida en criopreservación conserva su virulencia al ser reactivada en un bovino esplenectomizado, observándose signos clínicos severos en los animales inoculados. La cepa atenuada que ha sido mantenida en cultivo *in vitro* y utilizada como vacuna viva atenuada, no ha revertido a la virulencia, es inocua y sigue siendo inmunogénica.

²³⁷ MVZ responsable de VET-LEWE.

²³⁸ CENID-Salud Animal e Inocuidad, INIFAP.



Palabras clave: molecular, babesiosis, inmunidad

Introducción

Actualmente, se sabe que las enfermedades parasitarias e infecciosas transmitidas por garrapatas e insectos hematófagos, son calificadas como problemas de alto impacto económico en la producción ganadera tropical en el mundo, y la babesiosis bovina está incluida en esta categoría (Cipolini *et al.*, 2003; Ríos *et al.*, 2010). Esta enfermedad es causada por protozoarios intraeritrocíticos del género *Babesia*, cuyo vector es la garrapata *Rhipicephalus* spp. su distribución es principalmente en zonas tropicales y subtropicales del mundo (Smith, 1978; Bock, 2004). La especie *B. bigemina* es una de las involucradas en infectar al ganado bovino en México, por tal motivo es de importancia en la ganadería mexicana (Rojas *et al.*, 2004). Existen investigaciones en donde se menciona que hasta ahora el uso de vacunas atenuadas es una de las mejores estrategias para el control de enfermedades transmitidas por vector (Shkap *et al.*, 2007). Sin embargo, en nuestro país actualmente no existe una vacuna comercialmente disponible. Finalmente, es importante mencionar que durante más de 30 años se han realizado estudios en el CENID-PAVET, ahora CENID-SAI, INIFAP, que incluyen el desarrollo de una metodología para la elaboración de una vacuna mixta viva atenuada contra *B. bigemina* y *Babesia bovis*, derivadas de cepas mantenidas bajo condiciones de laboratorio en cultivo *in vitro* (Bautista *et al.*, 2012). Por lo antes mencionado, el objetivo de este estudio es comparar de manera clínica, serológica y molecular una cepa virulenta y una cepa atenuada (cepa vacunal) de *Babesia bigemina* originarias de México.

Materiales y Métodos

Localización: El estudio se llevó a cabo en el CENID-SAI del INIFAP, ubicado en carretera Cuernavaca-Cuautla No. 8534, Colonia Progreso, C.P. 62574 Jiutepec, Mor.

Bovinos y diseño experimental

Se utilizaron siete bovinos nativos de una zona libre de garrapatas. Uno de los bovinos fue esplenectomizado, para posteriormente ser inoculado con una cepa virulenta de *B. bigemina* con el fin



de reactivar la cepa criopreservada. Los seis bovinos restantes se dividieron aleatoriamente en dos grupos, los bovinos del Grupo I (GI), fueron inoculados con 1×10^8 eritrocitos infectados (EI) derivados del bovino esplenectomizado inoculado con la cepa virulenta de *B. bigemina*. Los bovinos del Grupo II (GII), fueron inoculados con 1×10^8 EI de una cepa atenuada (cepa vacunal) procedente del cultivo *in vitro*, ambos grupos fueron inoculados por vía IM.

Monitoreo clínico

Se mantuvieron en monitoreo diario, registrando la temperatura rectal (TR) y el volumen celular aglomerado (VCA) por la técnica de microhematocrito. Así mismo, se obtuvieron muestras sanguíneas y se determinó el porcentaje de eritrocitos infectados PEP mediante microscopia con la lectura de frotis sanguíneos teñidos con colorante de Giemsa (Rojas *et al.*, 2011).

Monitoreo inmunológico

La cinética de anticuerpos anti-*Babesia bigemina* se determinó mediante la técnica de Inmunofluorescencia indirecta (IFI) (Bautista *et al.*, 2012). La obtención del antígeno fue mediante la elaboración de extensiones con eritrocitos infectados del bovino previamente esplenectomizado. Para determinar los títulos de anticuerpos en los sueros problema se realizaron diluciones seriadas dobles a partir de 1:80 a 1:10240 en PBS. Como segundo anticuerpo se usó conjugado anti-IgG de bovino preparado en ovino, marcado con Alexa, y la visualización fue bajo la lectura de los frotis en un microscopio de epifluorescencia (Rodríguez y Cob, 2005). Para el monitoreo inmunológico también se instrumentó la técnica de Ensayo Inmunoenzimático Indirecto (ELISAI), utilizando como antígeno la proteína recombinante RAP-1 (Proteína Asociada a Roptrias-1), específica para *B. bigemina*. Brevemente, las placas de poliestireno fueron sensibilizadas usando un volumen de 100 μ L/pozo de la proteína, diluida en un buffer de carbonatos (pH 9.6). Se realizó un bloqueo con Albumina de Suero de Bovino (BSA) al 3%, en PBS-Tween al 0.1% y posteriormente se agregaron 50 μ L de los sueros controles positivos, negativos y sueros problema, utilizando una dilución de 1: 100 en PBS. Se incubaron a 37°C durante una hora, como paso siguiente se realizaron 3 lavados. Subsecuentemente, se adicionaron 100 μ L del conjugado anti-IgG de bovino preparado en cabra, marcado con peroxidasa, a una dilución 1:10,000 en PBS y se incubaron a 37°C, durante 30 min. Continuando con sus respectivos 3 lavados, se adicionó a cada pozo de la placa 50 μ L de sustrato TMB (3,3',5,5'-tetrametil-benzidina). Finalmente, se realizó la lectura en un espectrofotómetro, determinando los valores de absorbancia a una densidad óptica 650 nm (Santamaria *et al.*, 2020).



Monitoreo molecular

La detección de ADN de *Babesia bigemina* se realizó mediante la prueba de Reacción en Cadena de la Polimerasa en formato Anidado (PCR-A), utilizando secuencias específicas de iniciadores y protocolos de amplificación publicados anteriormente (Figuroa *et al.*, 1993). Finalmente, se realizó la electroforesis para la visualización de los productos de amplificación de un tamaño esperado de 170 pb.

Resultados y Discusión

Monitoreo clínico

En el bovino esplenectomizado, se observó la signología clínica asociada a la babesiosis bovina al día cinco post-inoculación (PI), mostrando fiebre de 41°C, hemoglobinuria, VCA del 16% y un PEP del $\geq 9.0\%$. Por lo anterior, se tomó la decisión de obtener el material biológico para inocular a los tres bovinos del grupo I, con una dosis de 1×10^8 EI. Una vez sangrado, el bovino fue tratado con diaceturato de diazoaminodibenzamidina, dipirona sódica y se administró suero por vía IV. Los tres bovinos del GI inoculados con la cepa virulenta, presentaron fiebre (superior a los 40°C.) al día 4 PI (Figura 1), y el VCA descendió a partir del día 5 PI, llegando al 11.3% en un bovino al final del monitoreo (Figura 2).

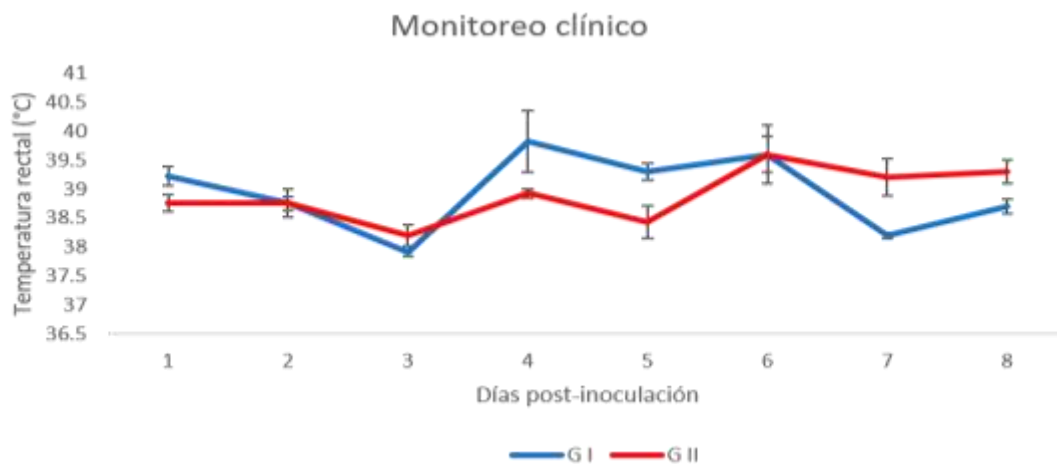


Figura 1. Monitoreo de la temperatura rectal (Promedio \pm EE) en bovinos inoculados con una cepa virulenta (G I) y con una cepa atenuada (G II) de *B. bigemina*. El aumento de temperatura que manifestaron clínicamente los bovinos coincide con la presentación de la parasitemia, ocurriendo a partir del día 4 PI en el G I y con un promedio más alto, a diferencia del G I inoculado con la cepa atenuada que tuvo un retraso de 2 días en presentarse la elevación de la temperatura que en promedio se mantuvo más baja.

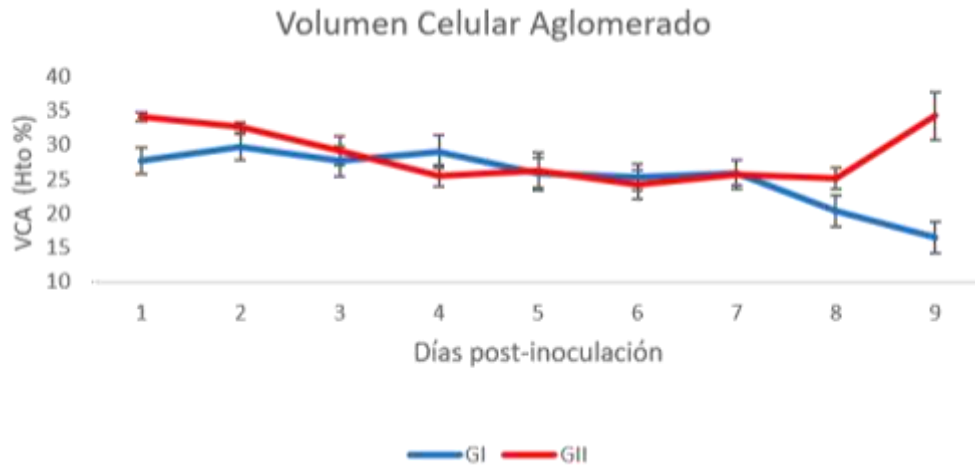


Figura 2. Valores promedio de VCA (Promedio \pm EE) durante la infección experimental. La línea azul representa el G I inoculado con una cepa virulenta y la línea roja representa al G II inoculado con una cepa atenuada. El VCA de los animales del G I se mantuvo en niveles basales desde el día 5 PI que se considera como el inicio de la parasitemia, hasta llegar al valor más bajo al día 9 PI, mientras que el VCA del G II tuvo ligeras variaciones, pero al final del monitoreo se recuperó el VCA sin tratamiento alguno.

La presencia de los protozoarios se determinó mediante microscopía con la lectura de los frotis sanguíneos al día 5-6 PI, logrando obtener el mayor PEP en uno de los bovinos al día 8 PI y al día 9 PI en los otros dos bovinos. Posteriormente y para evitar su muerte, se trataron los bovinos con los mismos principios activos utilizados en el animal esplenectomizado. Mientras que los bovinos del GII inoculados con la cepa atenuada (vacunal), a lo largo del monitoreo no presentaron fiebre y en el caso del VCA solo se presentó un pequeño descenso entre los días 3-7 PI (Figuras 1 y 2), es importante mencionar que ninguno de los bovinos del G I requirió tratamiento y los valores de PEP fueron mínimos, del 0.1%.

Monitoreo inmunológico

A la lectura en el microscopio de epifluorescencia se observó que en promedio en el GI se determinaron títulos de anticuerpos 1:80 a partir del día 7 PI, incrementándose a 1:160 en el día 8 PI, para posteriormente subir a 1:320 desde el día 9 PI hasta el día 12 PI, día en el que se obtuvieron títulos de anticuerpos de 1:640. Finalmente, en el día 14 PI se encontró el mayor título de anticuerpos llegando hasta 1:1280. En el GII, se observaron valores similares, seroconvirtiéndose al día 7 PI a una dilución 1:80, llegando a un máximo de títulos de anticuerpos al día 21 PI con 1:2560 (Figura 3). Con la técnica de ELISAi la cinética de anticuerpos específicos contra *Babesia bigemina* se muestran en la Figura 4. El punto de corte se estableció en 0.2 unidades de absorbancia a una Densidad Óptica (DO) de 650 nm.

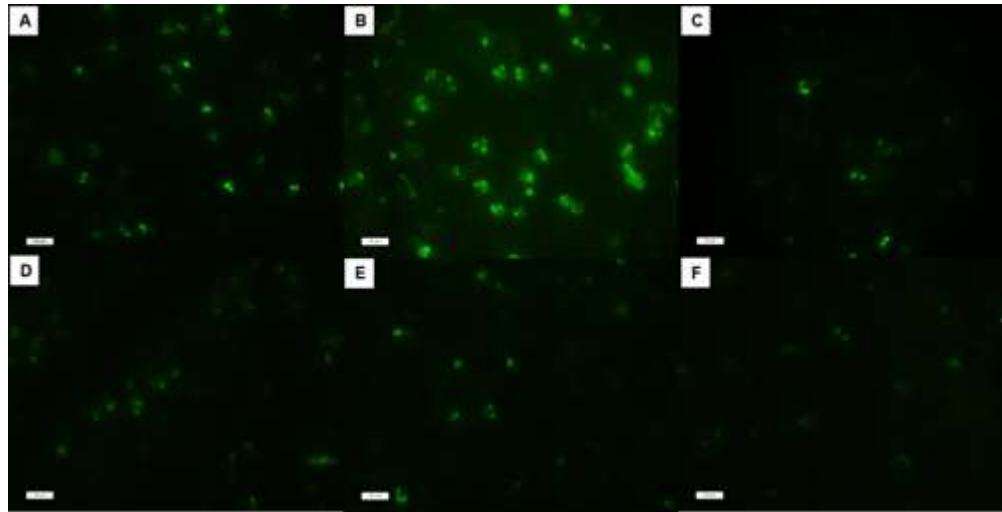


Figura 3. Representativa de la cinética y título de anticuerpos específicos contra *Babesia bigemina*, mediante la técnica de Inmunofluorescencia indirecta. A-F: diluciones dobles seriada de 1:80-1:2560, respectivamente. Fotografías tomadas bajo el microscopio de epifluorescencia, 100 X.



Figura 4. Representativa de la cinética de anticuerpos específicos contra *Babesia bigemina*, utilizando la prueba de ELISAi. 1-7: diluciones dobles seriada de 1:80 – 1:10240.

Monitoreo molecular

Mediante microscopía de la lectura de los frotis sanguíneos se determinó una baja parasitemia (< 0.1%) en los bovinos inoculados con la cepa vacunal (GII), sin embargo, a nivel molecular se determinó la detección y establecimiento de los parásitos virulentos y vacunales, logrando visualizar el fragmento de amplificación de 170 pb en el formato de PCR-A (Reacción en Cadena de la Polimerasa-Anidado).



Mediante la PCR- A, se logró detectar el ADN del parásito a partir del día 4 PI en los animales de ambos grupos (Figura 5).



Figura 5. Visualización de los productos de amplificación por PCR-A, mediante el análisis del gel de agarosa al 2.5% teñido con bromuro de etidio. Resultado representativo de un animal del grupo GI M: marcador molecular de 100 pb; E: espacio; 2-8: días PI, a partir del día 1 al día 7 PI; 9: control negativo; 10: control de H₂O.

Desde el día que se inició el monitoreo de temperatura hasta el día que se dio tratamiento a los dos grupos de bovinos se lograron obtener parámetros y una signología exclusivamente de una infección ocasionada por *B. bigemina*, tal y como es descrita en la literatura (Bock *et al*, 2004; Bautista *et al*, 2012). El trabajo experimental realizado en los dos grupos de bovinos fue bajo condiciones de un ambiente controlado, teniendo como resultado una infección virulenta esperada en los animales del GI, ya que el PEP determinado fue >1%, se presentó fiebre en todos los animales y hubo un descenso mínimo del 50% en el valor del hematocrito, a diferencia del GII que se inoculó con una cepa atenuada. Además, se obtuvieron resultados similares a los encontrados en estudios previos tanto en valores de TR, VCA y Parasitemia en frotis sanguíneo en los que se reporta que el establecimiento de las cepas vacunales en los bovinos inoculados solo alcanza PEP del 0.01% para *Babesia* spp. (Bautista *et al*, 2012; Cantò *et al*, 1996; 2003) por lo cual resulta más complicado la identificación de trofozoítos en los grupos de animales inoculados con cepas vacunales. Por otro lado, la literatura menciona que la respuesta protectora involucra células T cooperadoras de tipo Th1 y la producción de anticuerpos opsonizantes y fijadores de complemento, así como también a la función efectora de los macrófagos (Bautista *et al*, 2012). En la parte molecular se demostró la presencia de parásitos mediante la prueba de PCR específica para *Babesia bigemina* en ambos grupos de bovinos a partir del día 4-5 PI



demostrando la alta especificidad y sensibilidad de esta prueba. Finalmente, a lo largo del estudio se logró demostrar que la cepa virulenta mantenida en criopreservación en nitrógeno líquido, continúa con su elevada virulencia, una vez que se activa en un hospedero, para la recuperación y su posterior inoculación. Respecto a la cepa vacunal se sigue demostrando que no genera ninguna reacción anafiláctica, al ser una vacuna viva atenuada, y tampoco hay una reversión a la virulencia, logrando estimular de manera eficaz el sistema inmunológico de los bovinos del GII, al igual que lo reportado en estudios previos de la vacuna viva atenuada y derivada de cultivo *in vitro* contra la babesiosis bovina. (Cantó *et al.*, 1996, Cantó *et al.*, 2003, Bautista *et al.*, 2012). Adicionalmente se ha demostrado su margen de seguridad, al no transmitirse por la garrapata vector *Rhipicephalus* spp., al menos después de dos pases sucesivos en bovinos (Rojas *et al.*, 2011).

Conclusiones

Por medio del uso de un bovino previamente esplenectomizado e inoculado con una cepa virulenta de *Babesia bigemina* fue posible reactivar la cepa que se encontraba en criopreservación. Así mismo, fue posible inocularla en un grupo de animales clínicamente sanos e inducirles una parasitemia, estos bovinos presentaron signología clínica de una infección por *B. bigemina*. Mediante el monitoreo diario se pudo determinar la temperatura rectal, el porcentaje de hematocrito y la detección del parásito en frotis sanguíneo. A pesar de que la cepa virulenta se ha mantenido en criopreservación por varios años, esta ha mantenido su virulencia, permitiendo además obtener más material biológico para continuar realizando tanto pruebas serológicas como moleculares para el beneficio del estudio de la babesiosis bovina en futuras investigaciones. Finalmente, se sabe que, a diferencia en la presentación severa de signos clínicos con la inoculación de la cepa virulenta, la cepa atenuada (vacunal) de *Babesia bigemina*, además de inocua confiere una adecuada protección en bovinos inmunizados y desafiados posteriormente bajo condiciones controladas y de campo, como se ha reportado en previos estudios. Por ello, resulta de gran importancia el realizar futuras investigaciones para conocer a nivel genómico y/o transcriptómico, los cambios existentes que hacen clínicamente diferentes a las poblaciones atenuadas de las virulentas, y poder así dilucidar los factores de virulencia que permitan obtener nuevos blancos a nivel molecular, ya sea para diagnóstico y/o profilaxis de la babesiosis bovina.



Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado en su totalidad por el proyecto titulado “Estudio comparativo genómico y transcriptómico de cepas atenuada y virulenta de *Babesia bigemina*”. CONACYT No. A1-S-4350.

Literatura Citada

- Bautista, G.C.R., R. Castañeda A., J. Álvarez M., CRojas R., J.V. Figueroa M. y A. Rodríguez L. 2012. La vacunación simultanea de bovinos con *Lactibacillus casei* y la vacuna bivalente contra babesiosis bovina genera una mejor protección contra *B. bovis* y *B. bigemina* transmitidas por garrapatas en condiciones extremas de campo. *Vét Méx.* 43(3),189-200.
- Bock, R.E., L. Jackson, A.J. de Vos and W. Jorgensen. 2004. Babesiosis of cattle. *Parasitology.* 129, 247-269
- Cantó, G.J., J.V. Figueroa, J.A. Álvarez y C.A. Vega. 1996. Capacidad inmunoprotectora de una clona irradiada de *Babesia bovis* derivada de cultivo *in vitro*. *Tec Pecu Mex.* 34,127-135.
- Cantó, G.J., E.E. Rojas, J.A. Álvarez, J.A. Ramos, J.J. Mosqueda, C.A. Vega y J.V. Figueroa. 2003. Protección contra babesiosis con una vacuna mixta de *B. bovis* y *B. bigemina* derivada de cultivo *in vitro* en una confrontación de campo. II Inmunización en un área endémica. *Téc. Pecu Méx.* 4(3),307-315.
- Cipolini, M.F., R.A. Jacobo, B. Draghi, J.P. Resoagli, C. A. Storani, B. Dansey, D. Martínez, *et al.* 2003. Resultados preliminares del seguimiento serológico del complejo Tristeza bovina, como medida de prevención de brotes. Universidad Nacional del nordeste de Columbia. comunicaciones científicas y tecnológicas. 5(9), 1-3.



- Figuroa, J.V., L.P. Chieves, G.S. Jhonson and G.M. Buening. 1993. Multiplex polymerase chain reaction based assay for the detection of *Babesia bigemina*, *Babesia bovis* and *Anaplasma marginale* DNA in bovine blood. *Vet Parasitol.* 50,69-81.
- Ríos, O.L.A., S.L. Zapata, J. Reyes, J. Mejía y A. Baena. 2010. Estabilidad enzoótica de babesiosis bovina en la región de puerto Berrío, Colombia. *Rev. Cient.* 20(5), 485-492.
- Rodríguez, Vivas y G.L. Cob. 2005. Técnicas diagnósticas en parasitología veterinaria. Segunda ed. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Rojas, E., P. Domínguez, M. García, V.C. Cruz, J. Figuroa y J. Ramos. 2004. Prevalencia e incidencia de *Babesia bovis* y *Babesia bigemina* en un hato bovino en Axochiapan, Morelos. *Avances Invest Agropec.* 8 (2), 1-8. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83780207>
- Rojas, R.E.E., J.J. Mosqueda G., J.A. Álvarez M., R. Hernández O., J.A. Ramos A., C. Rojas *et al.* 2011. Transmisión de cepas atenuadas de *Babesia bigemina* y *Babesia bovis* por garrapatas *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Rev Mex Cienc Pecu.*2(3),267-281.
- Santamaria, E.R.M., J.J. Lira A., P. Vargas U., J.A. Álvarez M., C. Rojas M. y V. Figuroa M. 2020. Validation of an indirect ELISA using recombinant proteins as antigen to identify animals exposed to *Babesia bigemina*. *Transb Emer Dis.* 67(2), 201-207.
- Shkap, V, de A.J. Vos, E. Zweygarth and F. Jongejan. 2007. Attenuated vaccines for tropical theileriosis, babesiosis and heartwater: the continuing necessity. *Trenes Parasitol.* 23(9),420-426.
- Smith, R.D. 1978. Ciclo biológico de *Babesia* en la garrapata. INIP. SARH; 2: 234- 264.



INTEGRACIÓN DEL PRODUCTOR BOVINO DOBLE PROPÓSITO A LA CADENA DE VALOR LECHE

Jaime Rangel Quintos^{239*}, Maribel Montero Lagunes²³⁹, Ana Karen Pérez Godínez²⁴⁰ y Laura Hernández Andrade²³⁹

Resumen

Los enlaces entre la agroindustria rural y la producción primaria suelen ser de vital importancia para el sostenimiento de la cadena de valor en un territorio, debido a que contribuyen al sostenimiento de medios de vida y seguridad alimentaria tanto de actores directos e indirectos de la población. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar e identificar la problemática de la integración de la producción primaria de leche producida bajo el sistema doble propósito con el eslabón de transformación, de tal forma que se pueda identificar opciones de mejora que garanticen la viabilidad del alimento producido. Se aplicó una encuesta por el método de muestreo no probabilístico discrecional a 72 productores de leche y otra encuesta a 42 queseros de los municipios de Tlaxicoyan, Medellín de Bravo, Cotaxtla e Ignacio de la Llave de la región Centro del estado de Veracruz. También, mediante el método de observación participante se trabajó con queserías cooperantes para determinar el proceso de recolección de leche. La cadena de valor se integra por los eslabones de: preproducción, productores proveedores de leche y por queseros. Los resultados arrojaron información que indica que la producción primaria se desarrolla bajo poco control de las condiciones higiénico sanitarias, así como una baja proyección de la producción. Existe una demanda todo el año por leche, lo cual significa la venta asegurada de la misma independientemente de la calidad higiénico sanitaria. Se identificó que la recolección de leche la realiza el mismo quesero en la mayoría de los casos. El productor se ubica en ranchos alejados de zonas urbanas por lo que la recolección de la leche se dificulta y pueden pasar muchas horas desde que la leche es ordeñada hasta que se empieza a procesar en las queserías. Se concluye que la cadena de valor leche en el territorio genera importantes vínculos para el sostenimiento económico de los medios de vida. No obstante, los eslabones primarios y de

²³⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Autor de correspondencia: *jquntos@yahoo.com

²⁴⁰ Universidad Autónoma Chapingo.



recolección requieren desarrollar un sistema eficiente, factible y asequible para la recolección y transporte de la leche para mejorar su calidad e inocuidad.

Palabras clave: queso artesanal, medios de vida, cadena de suministro

Introducción

Los sistemas de producción de alimentos actualmente viven una presión que involucra la necesidad de producir más con menos recursos, asociados a una baja en la calidad del producto final (FAO, 2021). Existen implicaciones sociales en los cambios tecnológicos en los sistemas alimentarios y el sector ganadero, de tal manera que pueda cumplir con la demanda de alimentos y la seguridad alimentaria. El crecimiento tecnológico ha beneficiado solo a unos cuantos ganaderos mientras aquellos que producen bajo sistemas con menos recursos poco a poco se van marginando más, el cuestionamiento es cómo se pueden incorporar al desarrollo.

Si bien, los mercados tienen sus nichos propios para abastecer, existe una economía de escala que permite a los pequeños productores crear medios de sobrevivencia que, a pesar de no obtener ganancias extraordinarias, si les permite cubrir sus demandas básicas de ingreso (FAO, 2019). El planteamiento de esta economía de escala involucra un proceso de diversidad en los medios de vida lo cual ofrece disminuir la vulnerabilidad de estos pequeños productores (Henriksen, 2009). De una o de otra manera tanto los pequeños como los grandes productores se involucran dentro de una cadena de valor, la cual busca o debería ser competitiva de acuerdo a sus características de volumen y calidad de la producción generada, por lo que existirá el acceso a grandes mercados nacionales o bien el acceso a pequeños mercados regionales y locales (Gil *et al.*, 2014).

Las agroindustrias en los territorios rurales tienen un papel de enlace y coexistencia con las unidades de producción primaria contribuyendo en un impacto global significativo en el desarrollo económico y la reducción de la pobreza (Da Silva y Baker, 2013).

El desarrollo de las cadenas de valor agroalimentarias representa una oportunidad para que millones de personas puedan salir de la pobreza, sobre todo en países en desarrollo. No obstante, las cadenas de valor suelen ser sistemas muy complejos con diferentes puntos críticos que no siempre son evidentes a primera vista. La mejora de la cadena de valor implica una necesidad de colaboración entre los



diferentes actores, desde los productores de insumos, productores primarios, transformadores, transportistas, comerciantes, hasta la participación de complementadores como los gobiernos, la sociedad civil, fuentes financieras, etcétera (La Gra *et al.*, 2016).

La cadena láctea juega un rol importante en las economías y el bienestar de los consumidores de los territorios tropicales, debido a su capacidad para crear redes complejas y extensas de valor, dándole un potencial de entrelazarse con otras industrias dentro y fuera del sector pecuario por medio de encadenamientos productivos, generación de valor, así como su dinamización en la economía local contribuyendo a la inserción laboral especialmente de jóvenes y mujeres dentro de la cadena (Acosta *et al.*, 2022).

La producción lechera en el trópico se genera principalmente en sistemas de producción de bovinos doble propósito (Rangel, 2020), no obstante, de acuerdo a Acosta *et al.* (2022), el volumen de producción de la leche producida bajo este sistema es de 20% del total del país.

La cadena agroalimentaria de leche de bovino en el estado de Veracruz contribuye de manera significativa al abasto de la misma, ocupando el sexto lugar nacional en producción de leche fresca con 767,058 t (SIAP, 2021). No obstante, el 80% de la producción se genera en el sistema doble propósito, el cual tiene parámetros de producción de leche no superiores a los cinco litros por vaca por día en promedio con una producción anual entre 722 a 937 litros por vaca con periodos de lactación entre los 150 a 300 días (Noyola *et al.*, 2011 y Rangel *et al.*, 2020). Estos sistemas se caracterizan por sus bajos niveles tecnológicos en todas sus áreas, sobretodo en la alimentación, manejo de praderas y la ordeña, esta última actividad se realiza prácticamente sin cuidados higiénico sanitarios, además de que el productor difícilmente cuenta con una sala de ordeño (Rangel *et al.*, 2017). La leche se vende caliente, por lo que tiene un alto riesgo de contaminación y de cambiar sus propiedades intrínsecas.

En la región Centro costa de Veracruz, la producción de leche en el sistema bovino de doble propósito generalmente se enlaza con la pequeña agroindustria rural procesadora de lácteos. Siendo la producción de quesos de forma artesanal en empresas que son preponderantemente familiares, asociadas a su casa habitación, producen bajo métodos no industriales, con uso mínimo de maquinaria, su mercado se limita a la venta local regional, aunque hay algunas queserías que distribuyen a mercados nacionales que poseen alcances limitados (Figueroa-Rodríguez *et al.*, 2012).

A pesar de su creciente demanda, la producción de quesos artesanales frescos generalmente se hace con leche cruda sin pasteurizar y con limitado nivel tecnológico, lo que puede generar riesgos para la salud pública, de acuerdo al incumplimiento en las normas que rigen a las empresas que elaboran quesos en



México (Figueroa- Rodríguez *et. al.*, 2012). No obstante, el enlace entre los dos eslabones juega un punto crítico en la sostenibilidad de la cadena ya que intervienen tanto factores asociados a la logística como factores del mantenimiento de la calidad higiénico sanitaria de la leche durante la entrega y recolección de la leche. El objetivo del presente trabajo es caracterizar el enlace y la problemática de la cadena de suministros en el eslabón de la producción primaria de leche producida bajo el sistema doble propósito con el eslabón de transformación, de tal forma que se pueda identificar opciones de mejora que garanticen la viabilidad del alimento producido.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la región Centro - Costa de Veracruz, en los municipios de Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, Medellín de Bravo y Cotaxtla. En el territorio se desarrollan principalmente actividades agrícolas y ganaderas.

La región es característica del trópico seco donde predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, la precipitación media anual de 1,564 mm, la cual se concentra en un 80% en los meses de julio a octubre. La temperatura media anual es de 26°C, alcanzándose hasta 44 grados en verano. La región es muy susceptible a fenómenos climáticos como vientos de norte con velocidades desde 45 km/h hasta llegar a los 120 km/h. La población de la región de estudio es de 814,494 habitantes (11.79%) de la población estatal, distribuidos en 1,399 localidades, con una superficie de 4,543.68 km². Aproximadamente el 35% de la Población económicamente activa se dedica a las actividades primarias, el 14.5% a actividades secundarias de transformación y el 48.4% a actividades terciarias (INEGI, 2015).

Esta región es productora de leche con 38,134.95 miles de litros producidos en el 2017, con un valor de la producción de 285,434.6 pesos en el 2022. La mayor parte se produce bajo el sistema de doble propósito.

La metodología propuesta se realizó bajo el planteamiento metodológico para evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos propuesto por el IICA (La Gra *et al.*, 2016). De acuerdo lo anterior y al objetivo general se establecieron las siguientes fases: 1. Revisión de literatura, informes y registros; 2. Colección de datos de origen primario; y 3. Análisis de etapas y componentes de la cadena.



Por el método de muestreo no probabilístico por conveniencia se aplicó un cuestionario dirigido a 42 queseros y 72 productores proveedores de leche, con preguntas estructuradas sobre aspectos del manejo de la ordeña, alimentación del ganado, sanidad, características socioeconómicas y entrega de leche, mientras que para los queseros se les cuestionó sobre aspectos de recolección de la leche. Para el caso de la logística de recolección, se obtuvo a través de la información de seis queserías cooperantes, con quienes se interactuó con las personas que realizan las operaciones unitarias y el personal encargado de la logística, incorporándose bajo la metodología de observación participante en recorridos de recolección en donde se observó lo siguiente: tiempos, distancias, equipo, vehículos, personal, métodos de conservación, manipulación de la materia prima, condiciones de entrega y recepción en la quesería. Para el análisis de la información se utilizó estadística descriptiva, la cadena se definirá por mapeo de procesos.

Resultados y Discusión

La cadena agroalimentaria láctea en la zona de estudio está dirigida principalmente a la elaboración de quesos artesanales. Si bien, se pueden distinguir el eslabón desde la preproducción y producción primaria, pasando por la transformación con su respectiva comercialización. La cadena se integra verticalmente, es decir, cuando una sola empresa posee varias etapas en la cadena agroalimentaria (Iglesias, 2002), en este caso, el actor del eslabón secundario (el quesero), puede tomar roles diferentes o adicionales en la cadena, desde ser productor de leche, acopiador y distribuidor del mismo queso. La responsabilidad del mantenimiento de la cadena fría y de calidad del alimento depende en buena parte de este actor.

Características generales producción primaria

La producción primaria es desarrollada principalmente bajo el sistema de doble propósito, con el objetivo de producir leche diariamente, así como becerros destetados en pie, el sistema se caracteriza por utilizar niveles tecnológicos muy bajos, y baja productividad, limitada calidad higiénico sanitaria de la leche y acceso a mercados locales (García *et al.*, 2015).

Los productores entrevistados viven en localidades rurales caracterizadas por ser de alta y muy alta marginación (CONAPO, 2021) y con vulnerabilidad ambiental alta (CONABIO, 2012), dependen de sus actividades agropecuarias, siendo la ganadería una de las actividades que generan ingresos a la



familia e implica un bajo riesgo y bajo costo, pero también baja producción tal como lo mencionan Herrero *et al.* (2013). Los productores tuvieron un promedio de escolaridad de secundaria inconclusa (siete años), cuentan con una experiencia de más de 30 años como ganaderos.

El promedio de personas involucradas específicamente en la ordeña es de dos con un máximo de cuatro. El 91% indicó que el mismo jefe de familia ordeña, mientras que el 48% contratan personal para realizar la ordeña o apoyarlos durante la ordeña.

Los productores cuentan con un hato promedio integrado por 83 cabezas. El número de vacas adultas en promedio es de 30.46, de las cuales 19 vacas están producción, estos resultados se asemejan a los encontrados por Rangel *et al.* (2017) donde ubican una media 29.58 vacas adultas para granjas doble propósito de tamaño mediano.

La alimentación del ganado se fundamenta en el pastoreo extensivo en agostaderos y en praderas cultivadas. El alimento suplementario o concentrado es de bajo uso por los productores. Solo 30% manifestaron utilizar ensilados o henificados. El productor trata de utilizar al máximo sus agostaderos y pastos durante todo el año y evita lo más posible gastos en la compra de alimentos (Rangel *et al.*, 2017).

En el aspecto sanitario se indicó la presencia de algunas enfermedades infecciosas pueden asociadas a ciertas épocas del año o formas de manejo. Las condiciones agroclimáticas que afectan la salud son los nortes (vientos fuertes) aumentan problemas de respiratorios; las lluvias (mayor humedad ambiental) generan presencia de gabarro y el aumento de la frecuencia de vacas con problemas de mastitis; la sequía origina animales desnutridos, provocando una disminución de las defensas inmunológicas contra infecciones. Es común observar también la mayor presencia de garrapatas en el ganado, la tristeza parasitaria bovina, y la papilomatosis

No obstante, la cultura diagnóstica es muy limitada en los productores, el 50% indicó participar en campañas zoonitarias, especialmente contra *Brucella* y tuberculosis. Cabe destacar que más del 90% de los productores indicaron realizar tanto desparasitación interna como externa.

Ante esta situación, los productores utilizan medicamentos para el control de enfermedades basados en su experiencia o bien en el consejo de la tienda de insumos veterinarios. El principal problema sanitario reconocido por los productores fue la mastitis en un 45.5%, la mastitis es tratada principalmente con antibióticos. De acuerdo con Miranda *et al.* (2018) el uso desmedido de fármacos veterinarios especialmente antibióticos, hormonas, y antiparasitarios, representan un riesgo para la salud pública debido a su susceptibilidad para transferir enfermedades ocasionadas por la presencia de



microorganismos y residuos de medicamentos, la leche no debe contener residuos ni sedimentos, además de cumplir con una serie de parámetros que garanticen su inocuidad para el consumo humano.

El ordeño se realiza en forma manual (94.4%), las vacas son ordeñadas en su mayoría (52.8%) en el corral de manejo o espacio para la ordeña. La principal forma de abastecimiento de agua (91.1%) utilizada para el ordeño proviene de pozos artesanales. El no contar con un área de ordeño dificulta el cumplimiento de las condiciones mínimas de las normas señaladas en el Manual de buenas prácticas pecuarias, sistema de explotación extensivo y semi-extensivo de ganado bovino de doble propósito de SENASICA (2014).

El proceso de ordeño comienza por la mañana a partir de las 06:17 a.m. \pm 45 minutos y finaliza en promedio a las 08:07 a.m. \pm 49 minutos. En promedio el tiempo que dura esta actividad es de 1 hora 50 minutos \pm 51 minutos. El 86.1% de los productores realiza el ordeño a puño cerrado, tarda aproximadamente entre 3 a 7 minutos por vaca. El 86.1% indicó estimular la liberación de la leche con apoyo del becerro al pie de la vaca y el 27.8% reportó utilizar hormona (oxitocina) para este mismo fin. Al becerro se le proporciona la leche residual o bien, el contenido de una teta de la vaca. La leche ordeñada de la ubre se recoge en una cubeta y posteriormente se vierte a un envase concentrador. Solo el 33% de los productores lava los pezones de las vacas antes del apoyo del becerro, y muy pocos (8.3%) realizan prueba de mastitis. Solo el 34% comentó no realizar limpieza del espacio de ordeña. La leche producida en establo es recolectada en cubetas de plástico (80.6%) o aluminio (20.9%).

Cuando el productor debe llevar la leche a un punto de encuentro, la media de tiempo de traslado es de 31.73 min \pm 32.55 min, aunque es variable ya que se encontró productores que tardan hasta más de dos horas en trasladarse al punto de encuentro con el recolector. Se pudo observar que por condiciones de practicidad para entrega la leche es trasladada en botellas de plástico PET, galones o envases reciclados. La limpieza de los contenedores se utilizó principalmente detergente comercial (77.8%), cloro (59.7%), esponjas (40.3%), cepillos (18.1%).

Recolección de leche

La venta de la leche se realiza caliente (100%). La forma de adquisición es principalmente por medio del crédito. Hay una relación de confianza, donde el quesero recolecta la leche diariamente y anota la cantidad acopiada, los pagos se realizan semanalmente por el total acopiado en ese periodo. Para proveer leche a la quesería, el 88.1% de los queseros la adquieren directamente con el productor, creando así la necesidad de establecer rutas para su recolección en función a puntos estratégicos de entrega, considerando desde sitios alejados hasta los más cercanos (Figura 1). Generalmente la entrega



de la leche se realiza a pie de rancho (77.8%), aunque existen ranchos que se encuentran en zonas alejadas o con difícil acceso (carreteras de terracería en mal estado o se carece de caminos), por lo que el productor traslada su leche a un punto de entrega dependiendo del trato con el quesero-acopiador que pudiera ser a pie de carretera, en una casa (9.8%) o bien directamente en la quesería (6.9%).

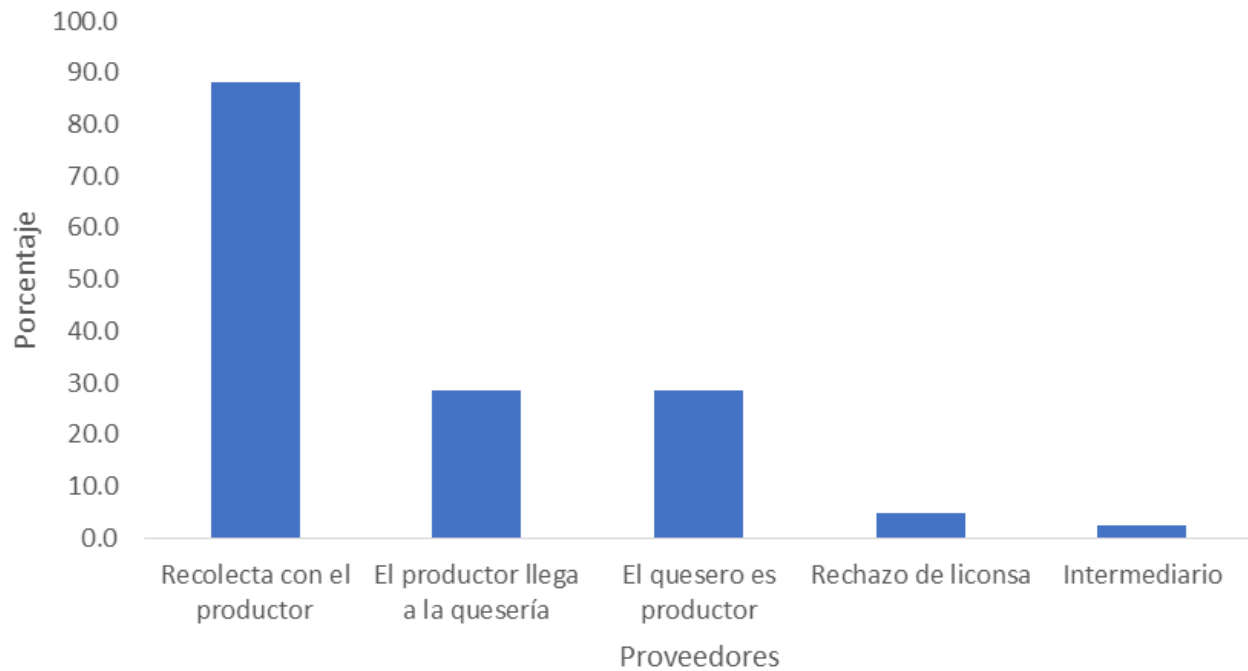


Figura 13. Formas de proveeduría y acopio de leche.

El tiempo promedio que transcurre desde el término del ordeño de las vacas por los productores hasta la entrega de la leche es de aproximadamente de 1 hora y 18 minutos \pm 58 minutos. De acuerdo con Romero y Fuenmayor (2017), la leche cruda no puede viajar más allá del mercado local por lo que sus oportunidades de expansión son limitadas. En este sentido, los tratos entre el proveedor de leche y el comprador para la recolección son importantes para mantener la calidad del producto. Cabe mencionar que los productores colocan la leche producida en diversos envases que el productor tiene a su alcance desde ánforas de lámina, botes, garrafones de agua o envases de desecho de refrescos u otros líquidos.

El volumen total diario de leche para venta por rancho en promedio fue de 88.18 litros con un precio promedio de \$7.24 MXN.



La cantidad de proveedores de leche por quesería varía en función a la capacidad y requerimiento de esta última. La media es de 17.74 ± 16.87 productores proveedores por quesería, con un máximo de hasta 70 productores/quesería.

Las rutas de cada quesería son estratégicas de acuerdo a ubicación, distancias, tipo y número de vehículos con los que disponen los recolectores, así como, la capacidad de acopio y procesamiento de la quesería en particular. La media de rutas por quesería es de 2.1 ± 1.52 . El tipo de transporte utilizado para realizar las rutas puede tener ventajas y desventajas (Cuadro 1). Las rutas son definidas de acuerdo a distancias, cantidad de leche a recolectar y acuerdos con sus proveedores, lo que implica una estrecha relación de confianza entre los actores de ambos eslabones.

El vehículo más utilizado son las camionetas pick up de 6 u 8 cilindros, que les permite recolectar mayor volumen de leche. No cuentan con tanques enfriadores, por lo que la leche es transportada en botes de plástico de 220 litros.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas para recolección por tipo de vehículos.

Vehículo	Ventajas	Desventajas
Motocicleta	Menor gasto de combustible Mejor acceso a ranchos (por caminos angostos y puntos alejados) Recorridos más cortos y en menor tiempo	Menor volumen de leche recolectada Mayor número de recorridos
Camioneta Pick up	Mayor volumen de leche recolectada	Mayor gasto de combustible Difícil acceso a ranchos (por lejanía o por caminos) Recorridos más largos que requieren más tiempo

La media del tiempo de recolección por ruta es de 3.02 ± 1.37 horas por ruta. Los recorridos se realizan en mayor medida por caminos mixtos (asfalto y terracería) o traslados completamente por terracería que sucede en el caso de queserías que están inmersas en localidades lejanas y de alta marginación. Solo el 26% traslada la leche en con motocicleta, pueden llegar a realizar hasta ocho rutas en diferentes horarios, puesto que cuentan con una o dos motocicletas, sin embargo, su capacidad de acopio es menor, por lo que se utiliza para circuitos más cortos.



El 90.5% de los queseros mezclan la leche de sus diferentes proveedores cuando la van recolectando, solo el 7.1% no mezcla, el 2.4% indicó hacerlo en ocasiones.

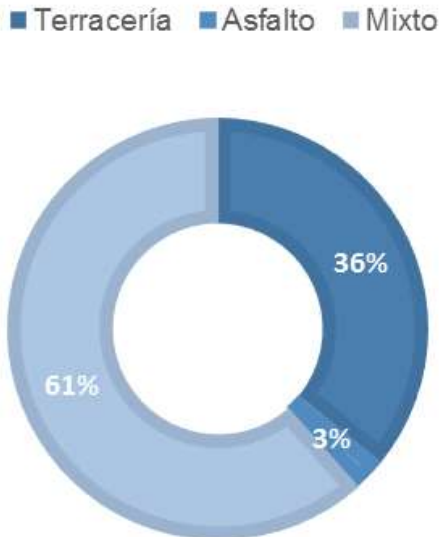


Figura 14. Tipos de caminos prevalecientes en las rutas de recolección.

La recolección de la leche comienza en promedio a partir de las 8:00 am, no obstante, había queseros que comenzaban su recorrido a las 6:15 am y otros hasta las 11:00 am. El final de los recorridos es entre las 11:00 am hasta las 13:00 horas. Los recorridos realizados son en promedio de 55.47 km en 354 minutos (5.9 horas). Los caminos que se recorren en un 61.5% son mixtos que incluyen carreteras pavimentadas y de terracería, mientras que 31% indicaron que la mayor parte del camino es de terracería (Figura 2).

Para la recolección se utilizan preponderantemente tambos o bidones de plástico con tapa generalmente con capacidad de 220 litros, el 26% utiliza botes lecheros o cantarás con menor capacidad.

El proceso de recolección de leche se expone en la Figura 3, éste comienza desde el acondicionamiento de vehículos y materiales para el acopio y finaliza con la entrega de la leche a la quesería.

Los recolectores indicaron que ninguno de sus vehículos cuenta con equipo de enfriamiento ni otro aditamento para la conservación de la leche. Antes de iniciar las colectas quienes optan por utilizar neutralizantes (principalmente $\text{BNaO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) el 33.3% reportó utilizarlo durante la ruta para evitar la acidificación de la leche por la falta de refrigeración, en otros casos emplean compuestos clorados, principalmente ClO_2 .



Figura 15. Proceso de recolección de leche.

La leche se vierte a tambos de plástico con capacidad de 220 L, hay tambos que se encuentran adaptados con tela, lo que permitirá una primera filtración. El 32.4% filtra mientras que el 67.6% no lo hace. El operario lleva consigo una libreta donde registra la información de la recolección de leche con datos de fecha, día de la semana y nombre del productor, en seguida de acopiar la leche, anota el volumen recolectado por productor. Sin importar el tamaño de la quesería, el recolector no sólo se limita a conducir y acopiar la leche, además se encarga de la recepción de leche y posteriores actividades para la elaboración de queso.

La problemática identificada durante los recorridos fue la siguiente:

- Exposición directa al sol de la leche.
- Materia extraña del ambiente (pelos, tierra, estiércol, etc.)



- Tiempos muy prolongados de recolección repercutiendo en el grado de acidez desarrollada.
- Uso de barras de hielo.

Los problemas que afectaron la recolección de leche de acuerdo a lo reportado por los productores fueron los factores ambientales (99%) destacando las altas temperaturas, sequía y los “nortes”. Cabe destacar que la venta de leche está prácticamente asegurada más allá de la calidad e inocuidad final de la misma, ya que, al manifestar los queseros escases del producto, se ha recurrido al uso de productos sustitutos como la leche en polvo y grasa vegetal, lo anterior se visualiza como puntos críticos los tiempos y condiciones de entrega de leche. De acuerdo con Romero y Fuenmayor (2017), la leche ingresa a los mercados formales e informales, y el equilibrio entre los dos sistemas de comercialización es delicado y está lleno de intereses en conflicto entre los actores involucrados. En la integración de este eslabón de la cadena debido a que la leche es un producto perecedero en función a aspectos ligados a la conservación de la inocuidad y calidad alimenticia, con alto riesgo de crear adulteración y el manejo antihigiénico de la leche ante una infraestructura y un sistema de transporte deficientes en un entorno con una temperatura ambiente alta fácilmente da como resultado que la leche se acidifique antes de llegar a un destino para su transformación distante o a una planta de procesamiento. Situación que pudiera mejorarse mediante la capacitación y la concesión de licencias a los vendedores de leche en función de las normas para la manipulación y comercialización higiénica de la leche de acuerdo a Henriksen (2009).

Conclusiones

1. La cadena de valor de leche y su transformación a queso artesanal generado a nivel local forma parte de las actividades económicas importantes del territorio de estudio, creando vínculos comerciales entre actores de la cadena fijos de circuito corto que se manejan como la entrega de una estafeta donde la leche es producida dentro de los ranchos, posteriormente es entregada al acopiador de leche que en este caso generalmente el quesero y este se encarga de trasladarla hacia la quesería.
2. La cadena de valor de la leche producida bajo el sistema doble propósito en sus eslabones primario y de recolección requiere desarrollar un sistema eficiente, factible y asequible para la recolección y transporte.



3. La caracterización y detección de la problemática de la cadena permiten establecer opciones de mejora tanto del volumen de la calidad higiénico sanitaria de la leche

Literatura Citada

Acosta, A., A. Galetto, A. Valdés y A. Londinsky. 2022. Más allá de la finca lechera - Enmarcando el diálogo de política lechera en América Latina. FAO y FEPALE. Rome. 46 p. <https://doi.org/10.4060/cc2188es>

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2012. Portal de geoinformación: Sistema nacional de información sobre biodiversidad. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [consultado el 7 de febrero de 2023].

Da Silva C. A. y D. Baker. 2013. Agroindustrias para el desarrollo. Roma. 306 p.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2021. Índices de marginación 2020. <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372> [consultado el 14 de octubre de 2021].

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. The future of food safety. Roma. 25 pp.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2021. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021. Lograr que los sistemas agroalimentarios sean más resilientes a las perturbaciones y tensiones. Roma. 222 p.

Figuroa-Rodríguez, K. A., B. Figuroa-Sandoval y F. Hernández R. 2012. Estudio exploratorio del nivel de producción e inocuidad en empresas lácteas del Estado de Veracruz, México. Revista Científica 22(5):451-458.



- García M. A., B. Albarrán P., F. Avilés N. 2015. Dynamics and trends in dual purpose cattle management in southern Estado de México. *Agrociencia* 49:125-139
- Henriksen, J. 2009. Milk for health and wealth. Diversification booklet number 6. FAO. Rome. 57 p.
- Gil G., G. I., L. A. García H., V. E. Espinosa O., C. Nazzaro, B. Simonetti y G. Marotta. 2014. Importancia de la generación de valor en la cadena agroalimentaria de la leche en México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* 14(28):141-172.
- Herrero M, D. Grace, J. Njuki, N. Johnson, D. Enahor, S. Silvestri and M. C. Rufino. 2013. The roles of livestock in developing countries. *Animal* 7:3-18.
- Iglesias, D. H. 2002. Cadenas de valor como estrategia: las cadenas de valor en el sector agroalimentario. La Pampa, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Anguil. Argentina. 25 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2015. Encuesta Intercensal 2015. <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- La Gra, J., L. Kitinoja y K. Alpízar. 2016. Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos un primer paso para la disminución de pérdidas de alimentos No. IICA E10 1290. IICA. San José, Costa Rica.
- Miranda M., A., A. J. Sánchez, A. C. A. Domínguez, L. A. Pérez-Enríquez y E. V. Domingo. 2018. Medicamentos, productos sanitarios y protección del consumidor. Reus. España. 197 p.
- Noyola, V. O., P. Díaz R., J. Vilaboa A., J. P. Martínez D. y G. Torres H. 2011. Caracterización por grupos tecnológicos de los hatos ganaderos doble propósito en el municipio de las Choapas, Veracruz, México. *Revista Científica* 21(1):57-63.



- Rangel, J., J. A Espinosa, C. de Pablos H., C. Barba, C., A. Velez I., J. Rivas, *et al.* 2017. Adopción de innovaciones y prácticas organizativas de manejo, alimentación y reproducción en pequeñas unidades de producción de vacunos de doble propósito en México. *Revista Científica* 27(1):44-55.
- Rangel, J., J. Perea, C. De-Pablos-Heredero, J. A. Espinosa G., P. Mujica, T., M. Feijoo, *et al.* 2020. Structural and technological characterization of tropical smallholder farms of dual-purpose cattle in Mexico. *Animals* 10(1):86.
- Romero, R. M., y J. Fuenmayor V. 2017. Proceso de comercialización de productos derivados de la ganadería bovina doble propósito. *Negotium* 13(37):47-61.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2014. Manual de buenas prácticas sistema de explotación extensivo y semi-extensivo de ganado bovino de doble propósito.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2021). Información: Datos abiertos. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>



EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp

Abigail Castro González²⁴¹, Maribel Montero Lagunes²⁴², Francisco I. Juárez Lagunes^{241*} y José M. Martínez Hernández²⁴¹

Resumen

Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp es una leguminosa utilizada en la alimentación de bovinos en el trópico por su alto contenido de proteína cruda (PC). Sin embargo, la calidad de los forrajes se ve afectada por la época del año. El objetivo del presente estudio fue evaluar la época sobre la calidad nutricional de *G. sepium*. La investigación fue realizada en clima cálido sub-húmedo (Aw_1). Se usó *G. sepium* de 1.5 m de altura. Las parcelas midieron 2 x 5 m con tres repeticiones y cortes cada 42 días. La composición química se determinó de acuerdo con la AOAC y las fracciones de carbohidratos y proteínas según el Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS v 6.5.). El diseño estadístico fue completamente al azar con dos tratamientos: época: seca y lluvias; y tres repeticiones. Las medias se compararon por Tukey ($P \leq 0.05$). El efecto de la época sobre composición química influyó en el contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina ($P \leq 0.05$), el mayor contenido se presentó en la época de lluvias. La PC permaneció estable en ambas épocas ($P \geq 0.05$). Los carbohidratos totales (CT), carbohidratos no fibrosos (CNF,%CT) y carbohidratos fibrosos (CF,%CT) fueron afectados por la época ($P \leq 0.05$); los contenidos de estas fracciones fueron mayores en época seca. La época solo tuvo efecto sobre las fracciones de proteína verdadera fibrosa (PVF) y proteína indigestible (PI) ($P \leq 0.05$). La PVF fue mayor en la época seca y PI fue menor en la época seca. La fracción de proteína verdadera soluble (PVS) representó más del 50% de la PC total en *G. sepium*. El nitrógeno no proteico (NNP) representó el 25% del contenido de PC total. El 75% de la PC total en *G. sepium*, es proteína degradable en rumen que permanecen estable en ambas épocas. Se concluye que la época seca favorece la calidad del forraje de *G. sepium* al permanecer estable el contenido de PC y mayor concentración de CNF en esta época.

²⁴¹ Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Autor para correspondencia juarezf@hotmail.com

²⁴² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Posta.



Palabras clave: cocuite, composición química, fracciones de carbohidratos, fracciones de proteína

Introducción

La producción animal en las regiones tropicales de México es desarrollada principalmente bajo condiciones de pastoreo extensivo en su mayoría monocultivos de gramíneas. La producción de forraje durante el año es irregular en cantidad y calidad debido a las características de las especies y factores climáticos, principalmente. Dentro de esta última, la época del año es el principal factor (Muñoz-González *et al.*, 2016). Una de las características de las gramíneas tropicales es la deficiencia de proteína que impide mantener o elevar la productividad animal. Para corregir la deficiencia de proteína de los pastos, se utiliza la suplementación proteica con forraje de leguminosas arbóreas como estrategia de alimentación para mantener o incrementar la productividad animal. Las leguminosas arbóreas son una alternativa importante como fuente de proteína de buena calidad. Se entiende por calidad nutricional del forraje a la disponibilidad de sus nutrientes para apoyar las funciones de mantenimiento y producción de los animales que alimenta (Shimada, 2018). Sin embargo, los impactos potenciales del cambio climático como el aumento de las temperaturas y las condiciones de sequía podrían afectar las concentraciones y disponibilidad de carbohidratos y proteína de los forrajes (Rojas-Downing *et al.*, 2017).

Entre las leguminosas conocidas e investigadas destaca *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp que es una especie nativa de América Central y México. Esta especie forrajera tiene la capacidad para crecer en una amplia gama de tipos de suelos y altitudes. *G. sepium* tolera el corte repetido y rebrota vigorosamente después del corte; su alta producción de biomasa y buena calidad de la hoja la convierten en un importante cultivo forrajero (Sileshi *et al.*, 2020). Además, puede contribuir a mejorar la sustentabilidad en los agroecosistemas tropicales, debido a que aporta beneficios ecológicos en los agroecosistemas: contribuye a mejorar la calidad de la dieta para los animales (por su alto contenido de PC > 20%) (Lee, 2018); apoya en el control biológico de insectos plagas a través del uso de extractos para tal fin (Canul *et al.*, 2018), apoya en la fijación simbiótica de nitrógeno y también se usa como productora de estacas vivas (Alamu *et al.*, 2023).

En nutrición de rumiantes, *G. sepium* ha mostrado mejorar el consumo y digestibilidad de los nutrientes, sin embargo en proporciones altas en la dieta de rumiantes (40%) se ha reportado pérdida de



N en orina (Rusdy *et al.*, 2020). También se ha reportado que la composición química de *G. sepium* cambia entre épocas del año (Silva *et al.*, 2017) afectando su calidad como forraje. A pesar de que *G. sepium* cuenta con una gran cantidad de importantes evaluaciones de tipo agronómico (Canul *et al.*, 2018), se tiene poca información sobre la calidad nutricional en términos de proteína y energía de este recurso forrajero. Mientras no se describan estas fracciones proteicas en los forrajes arbóreos, particularmente los proteicos, no se podrá estimar su calidad nutricional para optimizar la eficiencia en la síntesis ruminal de proteína microbiana. Por ello, es necesario conocer estos valores para mejorar la eficiencia con la cual el ganado utiliza los nutrientes, es decir, saber qué tipo de nutrientes aporta *G. sepium* y como el ganado podría aprovechar este forraje.

Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar la calidad de *G. sepium* en términos de fracciones de proteína y carbohidratos que permitan conocer la disponibilidad de estos nutrientes acorde a las épocas del año para el uso eficiente del nitrógeno en la alimentación de bovinos en el trópico. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la época sobre la calidad nutricional del forraje de *G. sepium* en términos de fracciones de proteínas y carbohidratos para optimizar el uso de esta leguminosa como suplemento proteico en bovinos en el trópico.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación fue realizada en el Campo Experimental “La Posta” del INIFAP en Paso del Toro, Veracruz, ubicado a los 19° 02' LN y 96° 08' LO y altitud de 16 m. El clima corresponde al tipo cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw_1) (García, 2004), con temperaturas media, máxima y mínima de 25.4, 31.3 y 19.5°C, respectivamente y precipitación pluvial de 1336.8 mm de agosto de 2011 a julio de 2012 (Figura 1). Los suelos predominantes son del tipo vertisol, pH ácido de 5.4, textura franca y 2.6% de materia orgánica.

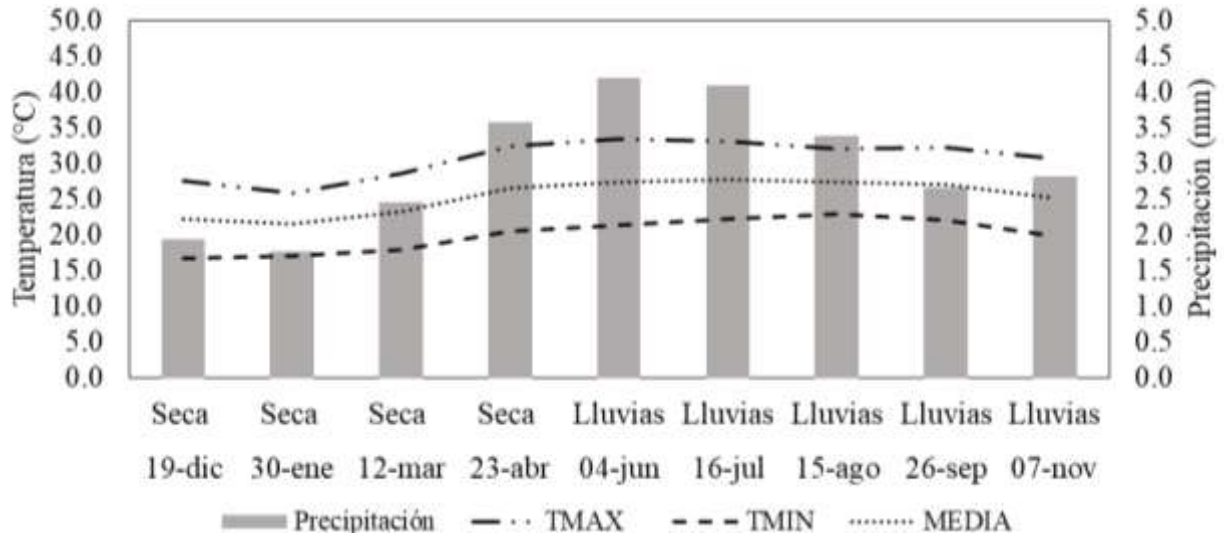


Figura 1. Temperaturas promedio y precipitación por fecha de muestreo de forraje de *G. sepium* durante el ciclo 2011-2012. Estación climática “El Tejar” Veracruz, México (CONAGUA, 2021) ubicado a 5 km del C. E. La Posta.

Material experimental

El material fue forraje comestible de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Calp. de 1.5 m de altura. Las parcelas midieron 2 x 5 m las cuales constituyeron las unidades experimentales distribuidas al azar con tres repeticiones. Se realizaron cortes cada 42 días de forraje comestible: hojas y tallos menores a 5 mm de diámetro.

Datos meteorológicos

Los datos de temperatura máxima, temperatura mínima (°C) y precipitación pluvial (mm/d), fueron recopilados de la estación climática “El Tejar” Veracruz, México (CONAGUA, 2021) ubicado a cinco km del C. E. La Posta. Los datos de temperaturas y precipitación utilizados para este estudio fueron los promedios correspondientes a los períodos de rebrote de *G. sepium* calculados por las fechas de corte (Figura 1), derivando estas en dos épocas del año: seca (noviembre-mayo) y lluvias (junio a octubre).

Composición química

Los análisis de composición química se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal del C. E. La Posta del INIFAP. Procedimientos estándar del AOAC (1990) fueron usados para medir contenidos de cenizas, extracto etéreo y proteína cruda. Las fracciones de Nitrógeno se determinaron por las técnicas descritas por Licitra *et al.* (1996); la fibra detergente neutra (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) de acuerdo con Van Soest (2018) y la lignina (Lig) usando los procedimientos de Goering y Soest (1970).



Fracciones de carbohidratos

La estimación de carbohidratos totales y fracciones de carbohidratos se adaptaron de las ecuaciones descritas por Lanzas *et al.* (2007):

$$\text{Carbohidratos totales (CT, \%MS)} = 100 - PC - EE - \text{Cenizas} - \text{Lignina}$$

$$\text{Carbohidratos no fibrosos (CNF, \%MS)} = 100 - \text{Cenizas} - EE - PC - (FDN-N)$$

$$\text{Carbohidratos fibrosos (CF, \%MS)} = (FDN-N) - \text{Lignina}$$

Fracciones de proteínas

La estimación de las fracciones de proteína se adaptó de las ecuaciones descritas por Hernández *et al.* (2021) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Equivalencias de las fracciones químicas proteicas con las fracciones nutricionales proteicas.

Fracciones químicas	Fracción nutricionales
PC	Proteína Cruda (N*6.25)
NNP	Nitrógeno no proteico
PC – NNP	PV (proteína verdadera)
PC – PIDN	PS (proteína soluble). PS es un paso intermedio para obtener la proteína verdadera soluble (PVS)
PS – NNP	PVS: proteína verdadera soluble
PIDN – PIDA	Proteína insoluble
PIDA	Proteína indigestible

PIDN: Proteína insoluble en solución detergente neutro; PIDA: proteína insoluble en solución detergente ácido.

Diseño experimental y análisis estadístico

Las variables de composición química, fracciones de carbohidratos y proteínas se sometieron a análisis de varianza para un diseño completamente al azar con dos tratamientos (épocas: seca y lluvias) y tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.1 (SAS, 2003). Las medias de cuadrados mínimos de los tratamientos fueron estimadas con la opción LSMEANS, mientras que las comparaciones entre ellas se realizaron mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).



Resultados y Discusión

Composición química

El efecto de la época en la composición química de *G. sepium* fue significativo ($P \leq 0.05$) para las variables: FDN, FDA y Lig (Cuadro 2), lo cual es indicativo de la variación entre las condiciones climáticas a través del año. Las altas temperaturas aumentan la tasa de maduración de la planta y la lignificación de la pared celular, lo que reduce la calidad del forraje (Katoch, 2023a).

Cuadro 2. Composición química (% materia seca) de *G. sepium* a 42 días de corte por efecto época.

Época	Seca	Lluvias	RECM	Pr > F
Cenizas	7.73a	6.99a	12.43	0.12
Extracto etéreo (EE)	2.61b	3.59a	0.50	0.00
Proteína cruda (PC)	27.33a	26.89a	6.63	0.63
Nitrógeno no proteico (NNP)	7.01a	6.85a	2.45	0.90
Fibra detergente neutro (FDN)	33.98b	38.00a	2.20	0.00
Fibra detergente ácido (FDA)	23.14b	28.48a	1.20	<.0001
Proteína insoluble en detergente neutro (PIDN)	6.61a	6.61a	1.04	0.99
Proteína insoluble en detergente (PIDA)	3.98b	5.02a	0.98	0.05
Lignina (LIG)	9.47b	12.51a	0.53	<.0001

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). RECM: Raíz del error cuadrático medio.

Los contenidos de FDN, FDA y Lig en el forraje de *G. sepium* fueron mayores en la época de lluvias ($P \leq 0.05$) donde las altas temperaturas y precipitación favorecen la maduración de los forrajes (Figura 1). En contraste, el menor contenido de FDN, FDA y lignina en *G. sepium* se presentaron en la época seca (Cuadro 2), este comportamiento pudo ser debido a que el estrés por sequía puede retrasar la madurez de las plantas (Katoch, 2023a).

En los forrajes la fibra es un factor importante para proporcionar el buen funcionamiento del rumen, FDN y FDA están relacionadas con el potencial de consumo y digestibilidad del forraje. En el presente estudio, a pesar de que la época tuvo efecto sobre el contenido de FDN y FDA ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2), el contenido de FDN en promedio fue de 36%. Al respecto, los forrajes de leguminosas se consideran de



buena calidad cuando el contenido de FDN es $\leq 40\%$ (Katoch, 2023b). Bajo este contexto, *G. sepium* proporciona fibra de buena calidad para la alimentación de bovinos en el trópico. El contenido de PC fue constante entre épocas ($P \geq 0.05$), este resultado pudo deberse a que los árboles de *G. sepium* tiene la capacidad de fijar N_2 atmosférico (Kaba *et al.*, 2019). La renodulación y el inicio de la fijación de N_2 luego de la poda pueden satisfacer, al menos en parte, las necesidades de N de sus brotes de rápido crecimiento (época de lluvias). Además, la sequía es un factor de estrés ambiental multidimensional; por lo tanto, sus efectos en las plantas son complejos y pueden afectar diferentes aspectos del crecimiento, desarrollo y metabolismo de las plantas (Salehi-Lisar y Bakhshayeshan-Agdam, 2020).

A pesar de que los valores de PC no fueron diferentes ($P \geq 0.05$), entre épocas, el contenido de este nutriente en promedio fue 27%. Esto demuestra la calidad de *G. sepium* como forraje, ya que la proteína es el nutriente más caro de la dieta. Estos valores son superiores a los reportados en gramíneas y superiores al mínimo recomendado para rumiantes (7% de PC) para evitar reducción de digestibilidad y consumo por Van Soest (2018).

Fraciones de carbohidratos

De acuerdo con el análisis de varianza, la época influyo sobre el contenido de carbohidratos totales (CT, %MS) y sus fracciones CNF, % CT y CF, %CT ($P \leq 0.05$) (Cuadro 3). Se observó que, el mayor contenido de CT (%MS) fue en la época seca. Los CNF representan la fracción más digerible de los CT, la concentración más alta de CNF, %CT en *G. sepium* se encontró en la época seca ($P \leq 0.05$). Mientras que, la menor concentración de CNF, %CT, se registró en la época de lluvias (Cuadro 3).

Cuadro 3. Fracciones de carbohidratos y fibras de *G. sepium* a 42 días de corte por efecto época.

Época	Seca	Lluvias	RECM	Pr > F
Carbohidratos totales (CT)	52.87a	50.02b	2.34	0.03
Carbohidratos no fibrosos (CNF)	34.98a	31.14b	2.35	0.00
Carbohidratos fibrosos (CF)	17.89a	18.89a	1.86	0.30
CNF,% CT	66.03a	62.30b	3.29	0.04
CF,% CT	33.97b	37.70a	3.29	0.04

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). RECM: Raíz del error cuadrático medio.

En las plantas, los CNF juegan un papel importante en la resistencia a la sequía, como fuentes de solutos para la osmorregulación y el mantenimiento de la turgencia (Zhang *et al.*, 2022). Al respecto, la



mayor concentración de los CNF, %CT de *G. sepium* en la época seca (Cuadro 3) pudo deberse a que las leguminosas tropicales pueden tener mecanismos de adaptación que les permiten acumular o preservar los CNF (azúcares) durante la sequía (Zhang *et al.*, 2022).

En la nutrición de rumiantes, los CNF tiene una relación positiva con la utilización del nitrógeno amoniacal en el rumen, debido a que la utilización de nitrógeno por los microorganismos del rumen está relacionada con la cantidad de energía fermentable.

Fraciones de proteína

En este estudio, las fracciones de proteína NNP, %PC y PVS, %PC no fueron afectadas por la época ($P \geq 0.05$) (Cuadro 4). Mientras que, las fracciones PVF y PI fueron afectadas por la época ($P \leq 0.05$). En la época seca PVF, %PC fue mayor ($P \leq 0.05$) y la PI, %PC fue menor (Cuadro 4).

El alto contenido de PC ($> 26\%$) (Cuadro 4), en *G. sepium*, confirmó el potencial del uso de esta especie como fuente de proteína en la alimentación de rumiantes. Sin embargo formular dietas para los bovinos teniendo en cuenta solo el contenido de PC del alimento, sin conocer la disponibilidad de proteínas, puede comprometer la eficiencia de la síntesis de proteínas microbianas y la pérdida de nitrógeno en orina. Para minimizar las pérdidas de nitrógeno los sistemas de nutrición incluyen el conocimiento de la cantidad y proporción de proteína degradable y no degradable en el rumen, así como las cantidades necesarias de energía para el desarrollo suficiente de los microorganismos del rumen.

Cuadro 4. Fracciones de proteína de *G. sepium* a 42 días de corte por efecto de época.

Época	Seca	Lluvias	RECM	Pr > F
PC,% MS	27.33a	26.89a	6.63	0.63
NNP,%PC	25.61a	25.12a	8.20	0.91
PVS,% PC	50.22a	50.29a	10.21	0.99
PVF,% PC	9.67a	5.84b	3.29	0.03
PI,% PC	14.50b	18.75a	3.60	0.03

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). RECM: Raíz del error cuadrático medio. PC = proteína cruda, NNP = nitrógeno no proteico, PVS: Proteína verdadera soluble, PVF = proteína verdadera fibrosa, PI = proteína indigestible, MS = materia seca.

Como resultado del fraccionamiento de proteínas, *G. sepium* mostró estar constituida principalmente por la fracción PVS ($> 50\%$). La fracción de PVS,%PC es de degradación rápida e intermedia. Le



siguió la fracción NNP que representó el 25% de la proteína total en *G. sepium*. La fracción NNP, es importante porque es soluble y rápidamente se convierte en amoníaco en el rumen. Ambas fracciones se mantiene estables entre épocas, por tanto, *G. sepium* pueden servir como fuente de proteína durante ambas épocas para mejorar la dieta de bovinos sobre todo en la época seca sabiendo que la disponibilidad de los pastos en este momento es menor, pero que puede compensarse con la calidad que aporta *G. sepium*.

La fracción PI,%PC está compuesta por proteínas asociadas a la lignina, complejos taninos-proteína, así como productos Maillard que son altamente resistentes a la hidrólisis por enzimas microbianas, lo cual provoca que no pueda ser digerida en el rumen. Al respecto, el mayor contenido de PI (18.8%) (Cuadro 4) y el mayor contenido de lignina (12.5%) (Cuadro 2) se presentaron en la época de lluvias donde las condiciones climáticas tienen efecto sobre la madurez (lignificación) de la planta.

De acuerdo con los resultados de las fracciones de proteína, más del 75% de la proteína total de *G. sepium* es degradable en el rumen (Cuadro 4); por lo tanto, para que esta proteína se utilice de forma eficiente en la dieta de bovinos en el trópico es necesario integrar carbohidratos que se fermenten fácilmente en el rumen.

Conclusiones

1. La época seca favorece la calidad de la proteína y carbohidratos de *G. sepium*.
2. El alto contenido de PC en *G. sepium* en ambas épocas (seca y lluvias), confirma el potencial de uso de esta especie como fuente de proteína disponible para la alimentación de rumiantes durante todo el año.
3. El 75% de la PC presente en *G. sepium* es proteína degradable en rumen (50% PVS y 25% NNP), y se mantiene estable en ambas épocas (seca y lluvias).

Agradecimientos

Trabajo parcialmente financiado por el Megaproyecto “Mejoramiento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México” con clave de



registro: SAGARPA-CONACYT-2010-144591. Como parte del subproyecto “Tecnología de alimentación para mejorar la productividad de bovinos lecheros en pastoreo en el trópico mexicano” en su Etapa 1 “Caracterización del valor nutritivo de los forrajes tropicales según la estructura del CNCPS para ganado lechero en pastoreo en trópico mexicano”. En la sección “Evaluación nutricional de leguminosas arbustivas forrajeras”.

Literatura Citada

- Alamu, E. O., M. Adesokan., S. Fawole., B. Maziya-Dixon., T. Mehreteab and D. Chikoye. 2023. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp applications for enhancing soil fertility and crop nutritional qualities: a review. *Forests* 14(3):3. <https://doi.org/10.3390/f14030635>
- AOAC (Association of Official Analytical Collaboration). 1990. *Official Methods of Analysis* 1990. 15a ed. AOAC. Washington D.C., USA. 870 p.
- Canul-Solís, J., C. Alvarado-Canché, L. Castillo-Sánchez., J. Sandoval-Gío., J. Alayón-Gamboa., A. Piñeiro-Vázquez, *et al.* 2018. *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. una especie arbórea multipropósito para la sustentabilidad de los agroecosistemas tropicales. *Agroproductividad* 11(10):195-201.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Base de datos climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/30056.txt>
- García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. 5a ed. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- Goering, H. K., and P. J. V. Soest. 1970. *Forage fiber analysis: apparatus, reagents, procedures and some applications*. U.S.D.A. Agricultural Research Service.



- Hernández, E. A., M. Montero-Lagunes., J. F. Enríquez-Quiróz., F. I. Juárez-Lagunes., R. Basurto-Gutierrez, y E. Ramírez-Rodríguez. 2021. Espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para estimar fracciones proteicas en pasto *Urochloa*. Rev. Fitotec 44(4-A):781-781.
- Kaba, J. S., S. Zerbe., M. Agnolucci., F. Scandellari., A. A. Abunyewa., M. Giovannetti. *et al.* 2019. Atmospheric nitrogen fixation by gliricidia trees (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) intercropped with cocoa (*Theobroma cacao* L.). Plant Soil 435(1):323–336. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3897-x>
- Katoch, R. 2028a. Factors affecting forage quality. p. 199–210. *In*: Katoch, R. (Ed.). Techniques in forage quality analysis. Springer Nature. Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6020-8_16
- Katoch, R. 2023b. Forage quality components. p. 17–32. *In*: Katoch, R. (Ed.). Techniques in forage quality analysis. Springer Nature. Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-6020-8_4
- Lanzas C., C. J. Sniffen, S. A. Seo, L. O. Tedeschi and D. G. Fox. 2007. A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. 136(3-4):167-190.
- Lee, M. A. 2018. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. J. Plant Res. 131(4): 641–654. <https://doi.org/10.1007/s10265-018-1024-y>
- Licitra, G., T. M. Hernandez and P. J. Van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim Feed Sci Technol. 57(4):347–358. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)
- Muñoz-González, J. C., M. Huerta-Bravo, A. Lara-Bueno, R. Rangel-Santos y J. L. de la Rosa-Arana. 2016. Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. REMEXCA 7:3315–3327.



- Rojas-Downing, M. M., A. P. Nejadhashemi, T. Harrigan and S. A. Woznicki. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Clim. Risk Manag.* 16:145–163. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rusdy, M., M. Yusuf. and Ismartoyo. 2020. Utilization of *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* as supplements by goats fed *Panicum maximum* basal diet. *Trop Anim Health Prod.* 52(2):541–545. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02040-8>
- Salehi-Lisar, S.Y. and H. Bakhshayeshan-Agdam. 2020. Agronomic crop responses and tolerance to drought stress. p 63–91. *In: Hasanuzzaman, M. (ed.) Agronomic Crops.* Springer. Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0025-1_5
- SAS (Statistical Analysis System). 2003. SAS Release 9.1 for windows. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Shimada, M. A. 2018. *Nutrición Animal.* 4a ed. Editorial Trillas. México. 390 p.
- Sileshi, G. W., F. K. Akinnifesi, P. L. Mafongoya, E. Kuntashula, and O. C. Ajayi. 2020. Potential of gliricidia-based agroforestry systems for resource-limited agroecosystems. p. 255–282 *In: J. C. Dagar, S. R. Gupta and D. Teketay (ed.). Agroforestry for degraded landscapes: recent advances and emerging challenges.* Vol. 1. Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4136-0_9
- Silva, S. F., M. S. de S. Carneiro, R. L. Edvan, E. S. Pereira, L. B. de M. Neto, A. P. Pinto *et al.* 2017. Agronomic characteristics and chemical composition of *Gliricidia sepium* grown under different residual heights in different seasons. *Cienc Investig Agrar.* 44(1):35-42. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i1.1579>
- Van Soest, P. J. 2018. *Nutritional ecology of the ruminant.* Cornell University press. Ithaca, New York, USA. 488 p.



Zhang, G., Z. Mao., C. Fortunel., J. Martínez-Vilalta., G. Viennois., P. Maillard et al. 2022. Parenchyma fractions drive the storage capacity of nonstructural carbohydrates across a broad range of tree species. *Am J. Bot.* 109(4):535-549. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1838>



PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO SUPLEMENTADAS CON *Gliricidia sepium* Y CÁSCARA DE NARANJA

Maribel Montero Lagunes²⁴³, Francisco Indalecio Juárez Lagunes^{244*}, Javier Francisco Enríquez Quiroz²⁴³,
Abigail Castro González²⁴⁴, Erika Andrea Hernández²⁴³ y Juan Prisciliano Zárate Martínez²⁴³

Resumen

Después de la *Leucaena leucocephala* (Leucaena), la *Gliricidia sepium* (conocida como cocuite) es la segunda leguminosa arbustiva más utilizada en las regiones tropicales como fuente de proteína para los rumiantes. El objetivo fue evaluar la suplementación con Cocuite y cáscara de naranja a vacas lactando cruzadas europeo x cebú, en pastoreo en clima tropical para mejorar producción y composición nutricional de la leche. El estudio se realizó en el Campo Experimental La Posta del INIFAP. El clima de la región es Aw caliente subhúmedo. Se utilizaron seis vacas lactando multíparas europeo x Cebú en diseño cuadrado latino doble 3x3. La principal fuente de alimentación fue el pastoreo en zacate *Megathyrsus máximus* cv. Tanzania y suplementación con concentrado comercial con 18% de proteína cruda (PC). La evaluación de la inclusión de cocuite se llevó a cabo con tres tratamientos alimenticios: Tratamiento Testigo (T): consistió en pastoreo + concentrado (2 kg/vaca/día); Tratamiento Leguminosa (L): T + (2 kg de Cocuite + 1 kg de melaza/vaca/día); Tratamiento Leguminosa + cítricos (LC): L + (2 kg de cáscara de naranja deshidratada/vaca/día); también se compararon con el Pastoreo exclusivo. Las variables de respuesta fueron: producción diaria (PL) y composición química de la leche, peso corporal y calificación de condición corporal. La PL fue de 5.6^d, 10.2^c, 10.6^b y 11.1^a kg/d para el Pastoreo, T, L y LC respectivamente. La excreción de Urea en leche (mg/dL) fue de 15.6^a, 13.2^c, 13.0^c y 14.^b para los respectivos tratamientos. Los pesos (480^b, 516^a, 503^a y 501^a) y las condiciones corporales (2.50^b, 3.62^a, 3.12^a y 3.25^a) fueron diferentes con pastoreo vs tratamientos, pero sin diferencia entre tratamientos. Se concluye que, la suplementación con proteína y carbohidratos adicionales al pastoreo duplican la producción de leche, mejoran las características químico-nutricionales de la leche, permiten mayor peso corporal y mejor calificación de condición corporal en vacas cruzadas lactando en pastoreo, y que, el aporte de proteína por parte de la leguminosa arbustiva *Gliricidia sepium* (Cocuite) y de

²⁴³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP) Campo Experimental "La Posta".

²⁴⁴ Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Autor por correspondencia: juarezf@hotmail.com



carbohidratos solubles por parte de la cáscara de naranja deshidratada aumentan entre 10 y 15% la respuesta del animal en adición al concentrado comercial.

Palabras clave: leguminosas arbustivas, pulpa de cítricos, ganado doble propósito

Introducción

Los pronósticos de incremento en la población a nivel mundial obligan a duplicar para el año 2050 la producción global de leche (FAO, 2021). Las áreas tropicales tienen el potencial forrajero y ganadero para alcanzar esta meta (CIAT, 2017). Una limitante es el bajo contenido de proteína cruda (PC) (con valores de $\leq 8\%$) de los pastos tropicales que restringe la producción de leche (Juárez-Lagunes *et al.*, 2018). Con el uso de leguminosas arbustivas nativas ($\geq 18\%$ PC) se podría solventar este inconveniente; sin embargo, ambos forrajes son deficientes en carbohidratos solubles (CS) ($\leq 15\%$) para la alimentación de vacas lecheras (Castro-González *et al.*, 2022). Una fuente de CS abundante en el trópico mexicano es la pulpa de cítricos. Se plantea la hipótesis de que el ganado cruzado europeo x Cebú en pastoreo en clima tropical mejora su productividad de leche cuando es suplementado con leguminosas arbustivas y pulpa de cítricos en adición a la alimentación tradicional. Mediante modelación usando el programa computacional Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS v. 6.5), análisis químico-nutricional de pasto Tanzania (*Megathyrsus maximus* cv. Tanzania) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*), y el comportamiento de las vacas del Módulo de producción de leche en sistema de Doble Propósito del Campo Experimental La Posta (INIFAP), fue posible estimar los niveles de suplementación óptimos de Leucaena y pulpa de cítricos para incrementar la producción de leche en pastoreo en clima tropical (Montero *et al.*, 2021). El presente estudio pretende validar la información generada por el modelo, suplementando con *Gliricidia sepium* (Cocuite) y cáscara de naranja a vacas cruzadas Holstein x Cebú y Suizo Pardo x Cebú en pastoreo, en clima tropical, durante los primeros 90 días de lactación, para mejorar producción y composición nutricional de la leche.



Materiales y Métodos

Localidad

El estudio se realizó en el Campo Experimental (C.E.) La Posta. INIFAP, ubicado en la localidad de Paso del Toro, municipio de Medellín, Veracruz, México, km 22.5 carretera Veracruz-Córdoba, desde agosto hasta octubre de 2022. El clima de la región es Aw caliente subhúmedo con temperatura, precipitación pluvial y humedad relativa promedio anual de 25°C, 1461mm y 75%, respectivamente (García, 2004). La altura sobre el nivel del mar es de 16 m. La posición geoespacial comprende los paralelos 19°02' de Latitud Norte y 96°08' de Longitud Oeste.

Animales

Se utilizaron seis vacas multíparas europeo x Cebú (tres vacas Holstein x cebú y tres vacas Suizo Pardo x Cebú) del módulo de producción de leche en sistema de doble propósito del C.E. La Posta. Las vacas ingresaron al experimento los primeros 90 días en lactación.

Pastoreo

La principal fuente de alimentación fue el pastoreo rotacional, en 40 hectáreas empastadas con zacate *Megathyrsus máximus* cv. Tanzania, junto con el resto del hato el cual consiste en 35 vacas en ordeño y 25 vacas secas. En el manejo tradicional del módulo se suplementa la deficiencia de nutrientes del pasto con concentrado comercial con 18% de PC a razón de 2 kg/vaca/día. De la leguminosa arbustiva (cocuite) se colectaron hojas y tallos tiernos comestibles (hasta aproximadamente 3 mm de diámetro) y se pusieron a secar al sol durante 72 h. Posteriormente se molieron en molino de martillo. La cáscara de naranja deshidratada se adquirió de una planta procesadora en Martínez de la Torre, Veracruz; y la melaza, de la asociación ganadera local de Alvarado, Veracruz.

Manejo del ordeño

Las vacas se ordeñaron a las 6 de la mañana, con ordeño mecánico, apoyo del becerro y amamantamiento de la leche residual por una hora.

Tratamientos

La evaluación de la suplementación con leguminosas arbustivas se llevó a cabo con tres tratamientos alimenticios: Tratamiento testigo (T): consistió en el manejo tradicional pastoreo + concentrado (2 kg/vaca/día); Tratamiento Leguminosa (L): consistió en el tratamiento T + (2 kg de Cocuite + 1 kg de melaza/vaca/día); Tratamiento Leguminosa + cítricos (LC): consistió en el tratamiento L + (2 kg de cáscara de naranja deshidratada/vaca/día), todas se compararon con el Pastoreo exclusivo. Se hicieron



análisis bromatológicos para conocer su composición química nutricional: materia seca (MS), cenizas, PC, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con la metodología de AOAC (2023).

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño cuadrado latino 3 x 3 doble, de tal manera que todas las permutaciones al azar estuvieran representadas (Cuadro 1). Los períodos experimentales (filas) constaron de 28 días, de los cuales, los primeros 14 días fueron de adaptación al tratamiento y los siguientes 14 días de recolección de muestras. Los meses fueron los Períodos (renglones). Las vacas (sorteadas por columnas) estuvieron representadas por la literal del tratamiento en cada cuadro.

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos en un arreglo Cuadrado Latino duplicado 3 x 3.

Cuadro 1				Cuadro 2			
Período	Vaca			Período	Vaca		
	1-SP	2-SP	3-Ho		4-Ho	5-Ho	6-SP
Agosto	T	L	LC	Agosto	LC	T	L
Septiembre	LC	T	L	Septiembre	L	LC	T
Octubre	L	LC	T	Octubre	T	L	LC

T = (concentrado); L = (concentrado + cocuite); LC = (concentrado + cocuite + cáscara de naranja); Número-SP = Número de vaca y raza Suizo Pardo; Número-Hs = Número de vaca y raza Holstein.

El modelo estadístico que representó al diseño fue:

$$y_{ij} = \mu + p_i + r_j + t_k + e_{ij}$$

Donde y_{ij} es la observación de la unidad experimental (vaca) en la i -ésima fila (mes) y la j -ésima columna (vaca) del diseño. Los efectos de fila (mes) y columna (vaca) son p_i y r_j respectivamente; t_k es el efecto del k -ésimo tratamiento (T, L, LC); y e_{ij} son los errores experimentales independientes con media 0 y varianza δ^2 .

VARIABLES DE RESPUESTA DEL ALIMENTO

Composición química de los forrajes y los suplementos. El contenido de nutrientes en la dieta se determinó tomando una sola muestra al concentrado, al cocuite y a la cáscara de naranja, ya que, provienen de un solo lote para realizar análisis de composición química. Para concentrado y forraje se tomaron dos muestras de 500g cada uno. Una muestra se secó a 100°C durante 24h para determinar contenido de MS y se desechó. La otra se secó a 55°C hasta peso constante. Esta última se molió en



molino Wiley (Model 4, Arthur H. Thomas Co. Philadelphia, PA) con malla de 1 mm. Se determinó MS, cenizas, grasa y proteína cruda; las fracciones de fibra: FDN, FDA y Lignina (AOAC, 2023) (Cuadro 2). En el Cuadro 3 se presentan las cantidades de los ingredientes en las dietas experimentales ofrecidas en cada tratamiento.

Cuadro 2. Composición química (% en base húmeda) de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales.

Nutriente	Tanzania	Concentrado	Cocuete	C. Naranja	Melaza
Materia Seca	25.9	86.83	90.47	91.94	73.0
Proteína Cruda	9.89	21.38	20.52	5.41	4.0
Grasa Cruda	2.86	2.64	2.66	0.94	0.1
FDN	66.0	21.43	37.32	34.09	0.6
FDA	42.7	11.21	35.58	23.66	0.4
Cenizas	11.9	10.27	8.22	11.29	12.3
CHOS solubles	17.0	31.11	21.75	40.21	56.0

CHOS solubles = carbohidratos solubles; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido.

Cuadro 3. Cantidad (kg en base húmeda) de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales.

Ingrediente	T = concentrado	L = leguminosa	LC = Leguminosa + naranja
Concentrado	2	2	2
Cocuete	0	2	2
Naranja	0	0	2
Melaza	0	1	1
Total	2	5	7

Variables de Respuesta en Vacas

Producción de leche. Se pesó diariamente en forma individual, se anotó en hojas semanales y se registró en hojas computacionales de Excel para su cuantificación. Composición de la leche. Cada 14 días se tomaron muestras individuales de leche para su análisis con un espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIRS) FOSS Milkoscan FT-120 para estimar composición de la leche.



Consumo de suplemento. Diario se pesó, en bascula digital con capacidad para 10 kg, el alimento de acuerdo con la cantidad correspondiente a cada tratamiento. Las comparaciones entre los tratamientos se analizaron por la prueba de Tukey. Se presentan las medias, errores estándar de la media y el valor de Tukey ($p \leq 0.05$). En el Cuadro 4 se cuantifica el aporte diario de nutrientes (kg en base seca) por vaca por ración experimental en adición al pasto.

Cuadro 4. Aporte diario de nutrientes (kg en base seca) por vaca por ración experimental.

Nutriente	Solo Pasto	T = concentrado	L = leguminosa	LC = leguminosa + naranja
Materia Seca	8.171	1.737	4.276	6.115
Proteína Cruda	0.808	0.430	0.880	0.986
Grasa Cruda	0.234	0.053	0.107	0.126
FDN	5.393	0.429	1.181	1.863
Cenizas	0.972	0.205	0.492	0.719
CHOS solubles	1.389	0.622	1.617	2.421

CHOS solubles = carbohidratos solubles; FDN = fibra detergente neutro.

Resultados y Discusión

La producción de leche de bovino en el trópico mexicano en sistemas de doble propósito en pastoreo es de 5.62 L/vaca/día, con peso promedio de 480 kg y condición corporal de 2.5 en escala de 1 a 5 (INIFAP, 2018). La baja productividad se debe principalmente al escaso índice de adopción de tecnología, tanto en el manejo de los pastos como en el manejo nutricional (Rangel *et al.*, 2017). Por las características propias del suelo (bajos en nitrógeno); de las altas temperaturas ambientales; y la estacionalidad de las lluvias, los pastos adaptados a estas condiciones resultan ser altos en fibra y bajos en proteína (Rusinowski *et al.*, 2019). Condicionantes que limitan el consumo de nutrientes por la vaca en pastoreo para cubrir sus demandas de producción de leche, sobre todo al inicio de la lactación. Para solventar las deficiencias de proteína Castro-González *et al.* (2022) ofreció Leucaena a vaquillas de reemplazo encontrando que inclusión del 20% en la ración complementa las deficiencias de proteína en la dieta de las vaquillas; así mismo, detectaron que el siguiente nutrimento limitante eran los carbohidratos solubles (CHOS solubles); por lo que sugieren incorporar alguna fuente de este



nutrimento. En el presente estudio suplementando a vacas en ordeña con cocuite y fuentes de CHOS solubles se encontró incremento en producción de leche del 10% con relación al concentrado (Cuadro 5) y del 100% con relación al promedio regional. Con relación a la composición química de la leche, se distingue incremento en la concentración de urea con la adición de cocuite + CHOS solubles. Valores de referencia estimados por Penn State Extension (2023) indican que vacas consumiendo entre 16 y 18% de PC en la ración muestran concentración entre 12 y 14 mg/dL de Urea en leche. Las vacas de este estudio (Cuadro 5) contienen rangos entre 13.02 y 14.08, siendo el valor más alto ($p \leq 0.05$) el de cocuite + CHOS solubles. Montero *et al.* (2021) registraron un promedio de 16.1 mg/dL para vacas de la región del Sotavento veracruzano. Entre mayor sea el valor de urea en leche mayor será la ineficiencia en el uso de la proteína de la dieta por vacas lecheras. De hecho, concentraciones de urea entre 8 y 12 mg/dL se logran cuando se tienen bien balanceadas las fracciones de proteína y de carbohidratos en la dieta para maximizar el uso del nitrógeno microbiano en rumen (Penn State Extension, 2023).

Cuadro 5. Producción y composición de leche de vacas lactando en pastoreo suplementadas con Cocuite (*Gliricidia sepium*), melaza y cáscara de naranja.

Variable	Pastoreo*	Concentrado	CoLeMe	CoLeCiMe	RMSE	P
Leche (kg/d)	5.62	10.18 c	10.56 b	11.12 a	0.6209	<.0001
Urea (mg/dL)	15.6	13.17 b	13.02 bc	14.08 a	0.8568	0.001
Grasa (%)	3.92	3.48 a	3.20 a	3.20 a	0.3953	0.0536
PC (%)	2.97	3.10 a	3.10 a	3.10 a	0.0623	0.9943
Lactosa (%)	4.47	4.71 b	4.76 ab	4.80 a	0.1049	0.0455
ST (%)	12.07	11.91 a	11.27 bc	11.44 b	0.4063	<.0001
SNG (%)	7.97	8.60 a	8.64 a	8.66 a	0.0911	0.1465

CoLeMe= concentrado+leguminosa+melaza; CoLeCiMe= concentrado+leguminosa+cáscara de naranja+melaza; RMSE = raíz cuadrada del cuadrado medio del error; P = valor de P; PC = proteína cruda; ST = Sólidos totales; SNG = Sólidos no Grasos. *Los valores de vacas en pastoreo son el promedio del tanque de 56 ranchos aledaños al CE. La Posta (Montero *et al.*, 2021).

La misma institución menciona que urea en leche mayor a 12 mg/dL incrementa la excreción de N urinario y que, por lo tanto, hay todavía oportunidades de mejoramiento de la dieta. Modesta pero significativa, dentro del estudio, fue la mayor concentración de lactosa (4.8%) en leche de vacas consumiendo cocuite + CHOS solubles. Aunque referenciada contra el promedio regional (4.5%)



refleja (se sugiere) la mayor disponibilidad de CHOS solubles para síntesis de glucosa-lactosa por la glándula mamaria y por consiguiente más leche (Aschenbach *et al.*, 2010).

La producción y la composición de la leche de las vacas solo en pastoreo reflejan mucho su desbalance nutricional (Cuadro 5). Tomando como referencia las vacas suplementadas, además de que solo pastoreo produce la mitad de leche al día (kg de leche/día), su composición indica altos niveles de urea que se puede interpretar como excreción de nitrógeno ureico no utilizado que puede provenir de dos orígenes: uno, que puede ser ruminal por insuficiencia de CHOS solubles para utilizar el NH₃ para síntesis de proteína microbiana; y otro que puede ser de origen endógeno por utilización de proteína corporal para cubrir algún déficit de energía y/o proteína. También la baja concentración de proteína en leche (2.97%), cuando el valor de referencia es 3.2, indica deficiencia de proteína en la dieta. Asociado al déficit de proteína se tiene también deficiencia de glucosa al mostrar la leche de vacas en pastoreo baja concentración de lactosa en leche y de sólidos no grasos. El único nutriente favorable en la leche de vacas en pastoreo es la grasa, cuyo principal sustrato es la fibra del pasto.

Otros detalles importantes que no se deben soslayar son el peso y la condición corporales de las vacas que inician lactancia (Cuadro 6). En condiciones de pastoreo sin suplementación, las vacas que se ordeñan en los sistemas de doble propósito alledaños a La Posta (INIFAP) promedian bajo peso corporal (< de 500 kg) y baja condición corporal (< 2.50). Cuando estas vacas se suplementan, no es raro que desvíen los nutrientes adicionales hacia recuperar peso y condición corporal, y muy poco hacia producción de leche (considerando que son vacas cruzadas para carne y leche). En el Cuadro 6, se aprecia que las vacas suplementadas no llegaron a producir 12 kg de leche/día (de acuerdo con sus requerimientos y nivel de suplementación) sino que en su lugar mantuvieron pesos arriba de 500 kg y Condición Corporal > 3.0 puntos de calificación. Situación similar encontró Zárate-Martínez *et al.* (2022) al suplementar vacas con 3.0 y 4.5 kg de concentrado, no encontró diferencias en producción de leche, pero si mejoras en calificación de condición corporal.

Cuadro 6. Peso corporal y calificación de condición corporal (escala 1-5) de las vacas experimentales por tratamiento.

Variable	Pastoreo	Concentrado	CoLeMe	CoLeCiMe	EEM
Peso corporal, kg	480 b	516 a	503 a	501 a	26.8
Condición corporal	2.50 b	3.62 a	3.12 a	3.25 a	0.408

CoLeMe= concentrado+leguminosa+melaza; CoLeCiMe= concentrado+leguminosa+cáscara de naranja+melaza.



Es difícil encontrar un solo grupo genético tanto en los hatos comerciales como en el del C. E. La Posta. Por lo que se tuvieron que balancear los cuadrados latinos por cruza siendo estas Hs x C y SP x C. En los Cuadros 7 y 8 se muestran la producción y composición química de la leche de estos grupos genéticos siendo muy similares en su comportamiento productivo.

Cuadro 7. Producción y composición de leche de vacas Holstein lactando en pastoreo suplementadas con *Gliricidia sepium*, melaza y cáscara de naranja.

Variable	Concentrado	CoLeMe	CoLeCiMe	RMSE	P
Leche, kg/d	9.90 c	10.55 b	11.22 a	0.5600	<0.0001
Urea	12.83 b	13.61 a	14.27 a	0.6648	0.0007
Grasa	3.41 a	3.31 a	3.17 a	0.3557	0.359
Proteína	3.04 a	3.08 a	3.08 a	0.0671	0.3714
Lactosa	4.81a	4.86a	4.88a	0.1271	0.5106
ST	11.87a	11.18bc	11.35b	0.3358	0.0008
SNG	8.62a	8.66a	8.67a	0.0574	0.2502

CoLeMe = concentrado+leguminosa+melaza; CoLeCiMe = concentrado+leguminosa+cáscara de naranja+melaza; RMSE = raíz cuadrada del cuadrado medio del error; P = valor de P.

Cuadro 8. Producción y composición de leche de vacas Suizo Pardo lactando en pastoreo suplementadas con *Gliricidia sepium*, melaza y cáscara de naranja.

Variable	Concentrado	CoLeMe	CoLeCiMe	RMSE	P
Leche kg/d	10.49 b	10.58 ab	11.03 a	0.65	0.0515
Urea	13.51 a	12.42 b	13.89 a	0.84	0.0037
Grasa	3.55 a	3.09 a	3.23 a	0.43	0.0867
Proteína	3.16 a	3.12 a	3.13 a	0.05	0.1943
Lactosa	4.61 b	4.66 ab	4.72 a	0.08	0.0336
ST	11.95 a	11.37 b	11.52 ab	0.48	0.0477
SNG	8.57 a	8.61 a	8.65 a	0.12	0.4057

CoLeMe= concentrado+leguminosa+melaza; CoLeCiMe= concentrado+leguminosa+cáscara de naranja+melaza; RMSE = raíz cuadrada del cuadrado medio del error; P = valor de P.

Por último, se comparan los pesos y las calificaciones de condición corporal de estos grupos genéticos (Hs x C y SP x C). Se aprecia en el Cuadro 9 que no hubo diferencias significativas en estas variables



de comportamiento. Sin embargo, se observa cierta tendencia a que las cruzas SP x C son ligeramente más pesadas y presentan mejor condición corporal que sus pares Hs x C.

Cuadro 9. Peso corporal y calificación de condición corporal (escala 1-5) de las vacas experimentales por grupo genético.

Variable	Holstein x Cebú	Suizo Pardo x Cebú	EEM
Peso corporal, kg	493	522	21.8
Condición corporal	3.17	3.5	0.333

Conclusiones

La suplementación con proteína y carbohidratos adicionales al pastoreo duplican la producción de leche, mejoran las características químico-nutricionales de la leche, permiten mayor peso corporal y mejor calificación de condición corporal en vacas cruzadas manejadas en pastoreo bajo el sistema de doble propósito en condiciones tropicales.

El aporte de proteína por parte de la leguminosa arbustiva *Gliricidia sepium* (cocuite) y de carbohidratos solubles por parte de la cáscara de naranja deshidratada aumentan entre 10 y 15% la respuesta del animal en adición al concentrado comercial.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con financiamiento de recursos fiscales INIFAP asignados a la Ficha de Validación de Tecnología “Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con *Leucaena leucocephala* y pulpa de cítricos”, como resultado de la Ficha de Generación de Tecnología con el mismo nombre, y en seguimiento al Megaproyecto “Mejoramiento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México” con clave de registro: SAGARPA-CONACYT-2010-144591. Como parte del subproyecto “Tecnología de alimentación para mejorar la productividad de bovinos lecheros en pastoreo en el trópico mexicano” en su Etapa 1 “Caracterización del valor nutritivo de los forrajes tropicales según la estructura del CNCPS para



ganado lechero en pastoreo en trópico mexicano. Sección “Evaluación nutricional de leguminosas arbustivas forrajeras”.

Literatura Citada

AOAC. 2023. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL (22 Ed.) <https://doi.org/10.1093/9780197610145.001.0001>. [Consultado el 26 de junio de 2023].

Aschenbach, J. R, N. B. Kristensen, S. S. Donkin, H. M. Hammon and G. B. Penner. 2010. Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. IUBMB Life 62(12):869-877.

Castro-González, A., M. Montero-Lagunes, A. Ríos-Utrera, A. J. Ayala-Burgos and F. I. Juárez-Lagunes. 2022. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit as protein supply for heifers. Agro Productividad EARLY ACCESS (7):70-77.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2017. Siempre pioneros – CIAT: 50 años contribuyendo a la sostenibilidad alimentaria futura Resumen. Publicación CIAT No. 447. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 41 p. <http://hdl.handle.net/10568/89083>. [Consultado el 26 de junio de 2023].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Seguimiento de los progresos relativos a los indicadores de los ODS relacionados con la alimentación y la agricultura correspondientes a 2021. Informe sobre los indicadores de los que es responsable la FAO. Roma. <https://doi.org/10.4060/cb6872es> [Consultado el 26 de junio de 2023].

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libro. No. 6. Quinta Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 p.



INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2018. Análisis de producción de leche en el sistema bovinos doble propósito. <https://www.gob.mx/inifap/prensa/analisis-de-produccion-de-leche-en-el-sistema-bovinos-doble-proposito>. [Consultado el 09 de julio de 2023].

Juárez-Lagunes F. I., A. N. Pell, R. W. Blake, M. Montero L. and J. M. Pinos R. 2018. *In vitro* ruminal degradation of neutral detergent fiber insoluble protein from tropical pastures fertilized with nitrogen. *Rev Mex Cienc Pecu.* 9(3):588-600.

Montero L. M., F. I. Juárez L., J. F. Enríquez Q. y F. T. Barradas P. 2021. Producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas con *Leucaena leucocephala* y pulpa de cítricos. Tecnología generada del Centro de Investigación Regional del Golfo Centro (CIRGOC) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Derivada del proyecto de investigación No.1318392121 titulado “Mejoramiento de la Productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México”. Tecnología generada en (2012) y reportada en (diciembre de 2021). Medellín, Veracruz, México.

Penn State Extension. 2023. Interpretation of Milk Urea Nitrogen (MUN) Values. <https://extension.psu.edu/interpretation-of-milk-urea-nitrogen-mun-values>. [Consultado el 07 de junio de 2023].

Rangel Q. J., J. A. Espinosa, H. C. de Pablos, B. C. Cecilio, I. A. Vélez, J. Rivas *et al.* 2017. Adopción de innovaciones y prácticas organizativas de manejo, alimentación y reproducción en pequeñas unidades de producción de bovino de doble propósito en México. *Revista Científica* 27(1):44-55.

Rusinowski, S., J. Krzyżak, K. Sitko, H. M. Kalaji, E. Jensen and M. Pogrzeba. 2019. Cultivation of C4 perennial energy grasses on heavy metal contaminated arable land: impact on soil, biomass, and photosynthetic traits. *Environ. Pollut.* 250: 300-311.



Zárate-Martínez, J. P., F. I. Juárez-Lagunes, Á. Ríos-Utrera, M. Montero-Lagunes, A. Fragoso-Islas. 2022. Consumo de FDN y su efecto sobre la respuesta a la IATF en vacas del trópico de México. Rev. MVZ Córdoba 27(1):e2121.



EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit

Abigail Castro González²⁴⁵, Maribel Montero Lagunes²⁴⁶, Francisco Indalecio Juárez Lagunes^{245*}
y José Manuel Martínez Hernández²⁴⁵

Resumen

En el trópico, la *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit es una leguminosa utilizada en la alimentación de bovinos por su alto contenido de proteína cruda (PC). Sin embargo, su calidad se ve afectada por la época del año. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la época del año sobre la calidad nutricional de *L. leucocephala*. La investigación fue realizada en clima cálido sub-húmedo (Aw1). Se usó *L. leucocephala* de 1.5 m de altura. Las parcelas midieron 2 x 5 m con tres repeticiones y cortes cada 42 días durante un año. La composición química se determinó de acuerdo con la AOAC y la calidad nutricional se estimó con las ecuaciones del Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS v 6.5.). El diseño experimental fue completamente al azar con dos tratamientos (época: seca y lluvias). Las medias se compararon por Tukey ($P \leq 0.05$). El efecto de la época sobre composición química influyó en el contenido de PC ($P \leq 0.05$), el mayor contenido se presentó en la época seca. Mientras los contenidos de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) permanecieron estables en ambas épocas ($P \geq 0.05$). Los carbohidratos totales, no fueron afectados por la época ($P \geq 0.05$), mientras que, la fracción de carbohidratos no fibrosos (CNF) fue mayor en la época de lluvias. La época también afectó la fracción de proteína indigestible (PI) ($P \leq 0.05$). La PI fue menor en la época seca. La fracción proteína verdadera soluble (PVS) representó más del 70% de la PC en *L. leucocephala*. El nitrógeno no proteico (NNP) representó el 20% de la PC. Se concluye que la época seca favorece la calidad de *L. leucocephala* en términos de PC. El 90% de la PC en *L. leucocephala*, es proteína degradable en rumen que permanece estable en ambas épocas. En términos de proteína la época seca favoreció la calidad de *L. leucocephala* mientras que la época de lluvias favorece a la acumulación de CNF.

²⁴⁵ Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Autor por correspondencia: juarezf@hotmail.com

²⁴⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Posta.



Palabras clave: leguminosas, fracciones de carbohidratos, fracciones de proteína

Introducción

Se entiende por calidad nutricional del forraje a la disponibilidad de sus nutrientes para apoyar las funciones de mantenimiento y producción de los animales que alimenta. La principal contribución de los forrajes al sustento animal es a través del suministro de componentes nitrogenados y carbohidratos (Vanzant *et al.*, 2020). La calidad del forraje es afectada principalmente por la especie y las condiciones climáticas. Dentro de esta última, la época del año es el principal factor (Muñoz-González *et al.*, 2016). Además, los impactos potenciales del cambio climático como el aumento de las temperaturas y las condiciones de sequía podrían afectar las concentraciones y disponibilidad de carbohidratos y proteína de los forrajes (Rojas-Downing *et al.*, 2017). Se ha observado que la calidad del forraje mejora a medida que aumenta su contenido de nitrógeno, pero disminuye cuando su contenido de fibra aumenta (Berauer *et al.*, 2020). Los principales determinantes de la calidad nutricional de los forrajes son la disponibilidad de proteína y de carbohidratos. Ambos aportan cadenas carbonadas y nitrógeno para el microbioma del rumen. Las cadenas carbonadas en términos de carbohidratos fibrosos (CF) y no fibrosos (CNF), basándose en el esquema de fraccionamiento de la fibra de Goering y Soest (1970), son metabolizados por el microbioma ruminal hasta ácidos grasos volátiles que son los precursores de la energía metabolizable para el animal rumiante. Los CF corresponden a la celulosa y hemicelulosa contenidas en la fibra, mientras que los CNF comprenden el resto de los carbohidratos (ácidos orgánicos, azúcares, almidón, fructosanas, galactanas, pectinas y β -glucanos). El aporte de nitrógeno ha estado pobremente descrito, particularmente para arbustivas forrajeras, donde el solo valor de proteína cruda no es suficiente para explicar la disponibilidad del nitrógeno en el rumen para síntesis de proteína microbiana. Por esto, se requiere desagregar la proteína en sus diferentes fracciones químicas, de acuerdo con su solubilidad y a la población microbiana que las utiliza por ejemplo, el nitrógeno no proteico, es de solubilidad inmediata y utilizado en forma de NH_3 principalmente por bacterias que degradan CF; La proteína verdadera soluble es de solubilidad rápida e intermedia utilizada como aminoácidos principalmente por bacterias proteolíticas y utilizadoras de CNF, estas fracciones de proteína se utilizan para síntesis de proteína microbiana (principal fuente de proteína para el rumiante); la proteína insoluble es digerida en abomaso y duodeno,



y es absorbida como aminoácidos por el animal; y está también la proteína indigestible que se excreta en las heces (Licitra *et al.*, 1996). Mientras no se describan estas fracciones proteicas en los forrajes, particularmente los proteicos como son las herbáceas arbustivas (leguminosas o no), no se podrá estimar su calidad nutricional para optimizar la eficiencia en la síntesis ruminal de proteína microbiana y minimizar la excreción de urea en orina.

La *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, es una leguminosa arbórea ampliamente utilizada en la alimentación de rumiantes principalmente por su alto contenido de PC (> 24%) (Thamaga *et al.*, 2021) y su capacidad para tolerar diversos estreses abióticos y bióticos, su adaptación a diversos ambientes tropicales y subtropicales (De Angelis *et al.*, 2021). Otra ventaja de *L. leucocephala* es que bajo un manejo adecuado conserva sus hojas verdes en la época seca y se convierte en la fuente más importante de forraje proteico, durante esa época (Hernández-Hernández *et al.*, 2020) cuando la disponibilidad de pasto es menor. En el trópico, en los sistemas de producción de bovinos doble propósito, *L. leucocephala* es utilizada como suplemento proteico para mejorar la calidad de la dieta de los animales (Arjona-Alcocer *et al.*, 2020). Bajo condiciones de pastoreo se han obtenido resultados similares en la producción de leche en vacas doble propósito con suplementación a base de concentrados comerciales en comparación con vacas suplementadas solo con *L. leucocephala* (Flores-Cocas *et al.*, 2021). En consecuencia, la inclusión de la *L. leucocephala* en la dieta puede ser una opción estratégica para reducir el costo de alimentación por el uso de alimentos concentrados en la alimentación del ganado. A pesar de que la *L. leucocephala* ha mostrado mejorar la respuesta animal al ser usada como suplemento proteico, se han reportado pérdidas de nitrógeno en orina con niveles de *L. leucocephala* en la dieta mayores a 20% (Castro González *et al.*, 2022), incluso con suplementación energética (Arjona-Alcocer *et al.*, 2020). Por ello, surge la necesidad de evaluar la calidad de la *L. leucocephala* en términos de fracciones de proteína y carbohidratos que permitan conocer la disponibilidad de estos nutrientes para el uso eficiente del nitrógeno en la alimentación de bovinos en el trópico. Con base en lo anterior, el estudio tuvo como objetivo evaluar la época sobre la calidad nutricional del forraje de *L. leucocephala* en términos de fracciones de proteínas y carbohidratos para optimizar el uso de esta leguminosa como suplemento proteico en bovinos en el trópico.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación fue realizada en el Campo Experimental La Posta del INIFAP, en la localidad de Paso del Toro, Medellín, Veracruz, ubicado a los 19° 02' LN y 96° 08' LO y altitud de 16 m. El clima corresponde al tipo cálido sub-húmedo con lluvias en verano (Aw1) (García, 2004), con temperaturas media, máxima y mínima de 25.4, 31.3 y 19.5°C, respectivamente y precipitación pluvial de 1336.8 mm de agosto de 2011 a julio de 2012 (Figura 1). Los suelos predominantes son del tipo vertisol, pH ácido de 5.4, textura franca y 2.6% de materia orgánica.

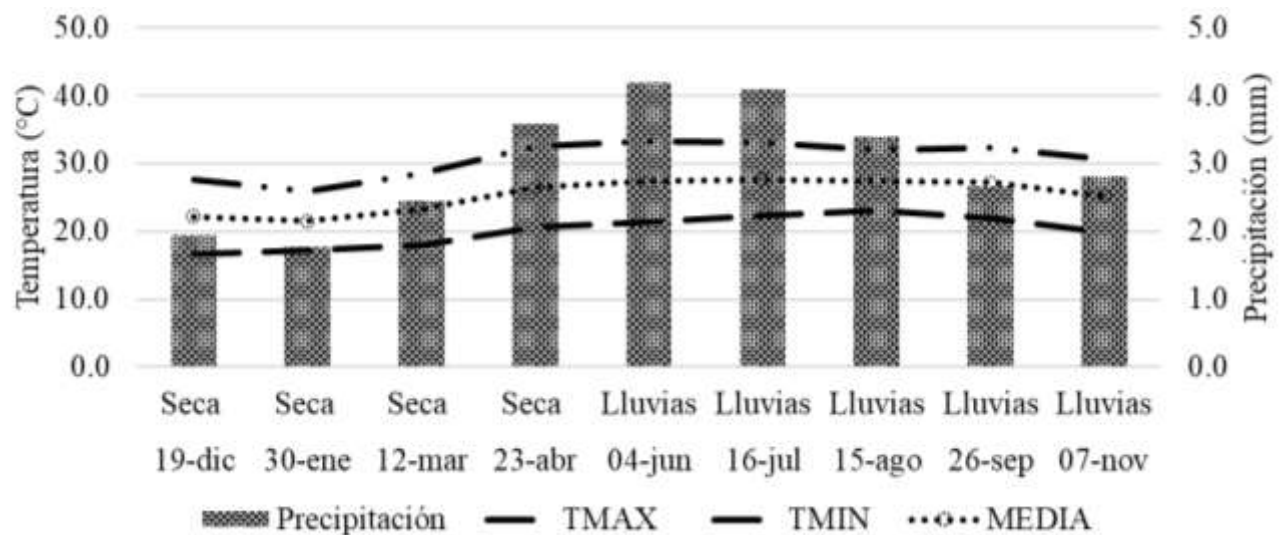


Figura 1. Temperaturas promedio y precipitación por fecha de muestreo de forraje de la *L. leucocephala* durante el ciclo 2011-2012. estación climática “El tejlar” Veracruz, México (CONAGUA, 2021) ubicado a 5 km del Campo Experimental La Posta.

Material experimental

El material fue el forraje comestible de *L. leucocephala* (Lam.) de Wit de 1.5 m de altura. Las parcelas midieron 2 x 5 m las cuales constituyeron las unidades experimentales distribuidas al azar con tres repeticiones. Se realizaron cortes de forraje comestible (hojas y los tallos < 5mm de diámetro), cada 42 días.

Tratamientos

Los tratamientos fueron las épocas del año quedando de la siguiente manera: seca (diciembre-mayo) y lluvias (junio a noviembre).



VARIABLES ESTUDIADAS

Composición química. Los análisis de composición química se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal del C.E. La Posta del INIFAP. Procedimientos estándar del AOAC (1990) fueron usados para medir contenidos de cenizas, extracto etéreo y proteína cruda. Las fracciones de Nitrógeno se determinaron por las técnicas descritas por Licitra *et al.* (1996): nitrógeno no proteico por la técnica del ácido túngstico; proteína soluble utilizando como amortiguador el borato-fosfato; proteína en paredes celulares con solución detergente neutra; proteína indigestible con solución detergente ácido. Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest, 2018). Lignina, usando los procedimientos de Goering y Van Soest (1970).

Fracciones de carbohidratos. La estimación de carbohidratos totales y fracciones de carbohidratos se adaptaron de las ecuaciones descritas por Lanzas *et al.* (2007):

Carbohidratos totales (CT, %MS) = $100 - PC - \text{Extracto Etéreo (EE)} - \text{Cenizas} - \text{Lignina}$

Carbohidratos no fibrosos (CNF, %MS) = $100 - \text{Cenizas} - \text{EE} - \text{PC} - (\text{FDN}-N)$

Carbohidratos fibrosos (CF, %MS) = $(\text{FDN}-N) - \text{Lignina}$

Fracciones de proteínas. La estimación de las fracciones de proteína se adaptó de las ecuaciones descritas por Hernández *et al.* (2021) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Equivalencias de las fracciones químicas proteicas con las fracciones nutricionales proteicas.

Fracciones químicas	Fracción nutricionales
PC	Proteína Cruda (N*6.25)
NNP	Nitrógeno no proteico
PC – NNP	PV (proteína verdadera)
PC – PIDN	PS (proteína soluble). PS es un paso intermedio para obtener la proteína verdadera soluble (PVS)
PS – NNP	PVS: proteína verdadera soluble
PIDN – PIDA	Proteína insoluble
PIDA	Proteína indigestible

PIDN: Proteína insoluble en solución detergente neutro; PIDA: proteína insoluble en solución detergente ácido.



Diseño experimental y Análisis estadístico

Las variables de composición química, fracciones de carbohidratos y proteínas se sometieron a análisis de varianza para un diseño completamente al azar con dos tratamientos (épocas: seca y lluvias) y tres repeticiones por tratamiento. Se utilizó el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.1 (SAS, 2003). Las medias de cuadrados mínimos de los tratamientos fueron estimadas con la opción LSMEANS, mientras que, las comparaciones entre ellas se realizaron mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Composición química

El efecto de la época en la composición química de la *L. leucocephala*, fue altamente significativo para las variables: cenizas, EE, PC, NNP y Lig (Cuadro 2), lo cual es indicativo de la variación entre las condiciones climáticas a través del año. Los contenidos de PC y NNP en el forraje de *L. leucocephala* fueron mayores en la época seca; mientras que, los contenidos de EE y Lig fueron menores en esta época. El mayor contenido de PC de *L. leucocephala* durante la época seca pudo deberse a que la sequía es un factor de estrés ambiental multidimensional; por lo tanto, sus efectos en las plantas son complejos y pueden afectar diferentes aspectos del crecimiento, desarrollo y metabolismo de las plantas (Salehi-Lisar y Bakhshayeshan-Agdam, 2020). En el trópico, la calidad de los forrajes es influenciada por la precipitación pluvial y la temperatura. Las altas temperaturas aumentan la tasa de maduración de la planta y la lignificación de la pared celular, lo que reduce la digestibilidad y reduce la calidad del alimento (Katoch, 2023a). Al respecto, en el presente estudio la *L. leucocephala* mostró mayor concentración de lignina en la época de lluvias, donde las altas temperaturas y precipitación favorecen la maduración de los forrajes (Figura 1). En contraste, el menor contenido de lignina en *L. leucocephala* se presentó en la época seca (Cuadro 2), este comportamiento pudo ser debido a que el estrés por sequía puede retrasar la madurez de las plantas (Katoch, 2023a).



Cuadro 2. Composición química (% materia seca) de *Leucaena leucocephala* a 42 días de corte por efecto época.

	Época		RMSE	P
	Seca	Lluvias		
Cenizas	7.45 a	6.50 b	0.8	0.01
EE	2.91 b	4.06 a	0.92	0.00
PC	28.53 a	23.54 b	1.97	<.0001
NNP	6.13 a	5.17 b	0.91	0.01
FDN	39.32 a	38.23 a	3.49	0.43
FDA	24.05 a	25.25 a	2.92	0.30
PIDN	1.5 a	1.42 a	0.53	0.51
PIDA	0.46 a	0.58 a	0.19	0.11
LIG	8.74 b	12.28 a	1.75	<.0001

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). EE - Extracto etéreo. PC - proteína cruda. NNP - Nitrógeno no proteico. PIDN - Proteína insoluble en detergente neutro. PIDA - Proteína insoluble en detergente ácido. FDN - Fibra detergente neutro. FDA - Fibra detergente ácido. LIG - Lignina.

La época no tuvo efecto sobre el contenido de FDN y FDA (Cuadro 2), sin embargo, los forrajes de leguminosas se consideran de buena calidad cuando el contenido de FDN es $\leq 40\%$ (Katoch, 2023b). De acuerdo con Ball *et al.* (2001), los forrajes con contenido $\leq 27\%$ de FDA, son considerados forrajes de alta calidad. En la presente investigación, el contenido de FDN (39%) y FDA (25%) se mantuvieron estables durante ambas épocas, por lo tanto, la *L. leucocephala* proporciona fibra de buena calidad para la alimentación de bovinos en el trópico.

Fraciones de carbohidratos

De acuerdo con el análisis de varianza, la época no influyó, sobre el contenido de carbohidratos totales (CT, %MS). Sin embargo, las fracciones de carbohidratos fueron afectadas por la época. Se observó que, en la época de lluvias, la concentración de CNF (%CT) fue mayor que en la época seca. En contraste, la mayor concentración de CF (%CT) se observó en la época seca (Cuadro 3).

Los resultados del presente estudio revelan que el mayor contenido de PC (28%) en la época seca (Cuadro 2) pudo ser debido a que los aminoácidos y proteínas en las plantas se sintetizan a partir de CNF. Lo anterior, concuerda con los resultados de CNF, se observa una disminución de 54.2 a 44.3% (Cuadro 3), lo que representa una disminución del 19% de los CNF (%CT) durante la época seca, esta



disminución se ve reflejada en un incremento del 21% en el contenido de PC y %MS durante época seca (Cuadro 2).

Cuadro 3. Fracciones de carbohidratos de *Leucaena leucocephala* a 42 días de corte por efecto época.

	Época		RMSE	P
	Seca	Lluvias		
CT, MS	52.38 a	53.62 a	3.37	0.35
CNF, MS	23.35 b	29.09 a	3.43	0.00
CF, MS	29.03 a	24.53 b	2.32	<.0001
CNF, CT	44.39 b	54.22 a	4.49	<.0001
CF, CT	55.61 a	45.78 b	4.49	<.0001

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). CT - Carbohidratos totales. CNF - Carbohidratos no fibrosos. CF - Carbohidratos fibrosos. MS - materia seca.

Los CNF representan la fracción más digerible de los CT, la concentración más alta de CNF en la *L. leucocephala* se encontró en la época de lluvias; mientras que, la menor concentración de CNF (%CT), se registró en la época seca. Los CNF tiene una relación positiva con la utilización del nitrógeno amoniacal en el rumen, debido a que, la utilización de nitrógeno por los microorganismos del rumen está relacionada con la cantidad de energía fermentable.

Fracciones de proteína

En este estudio, las fracciones de proteína: NNP, PVS y PVF no fueron afectadas por la época (Cuadro 4); mientras que, la fracción PI fue afectada por la época, teniendo mayor valor en la época lluvias. El alto contenido de PC (23-28%) (Cuadro 4) en *L. leucocephala* confirmó el potencial del uso de esta especie como fuente de proteína en la alimentación de rumiantes. Sin embargo, formular dietas para los bovinos teniendo en cuenta solo el contenido de PC del alimento, sin conocer la disponibilidad de proteínas, puede comprometer la eficiencia de la síntesis de proteínas microbianas y la pérdida de nitrógeno en orina. Para minimizar las pérdidas de nitrógeno los sistemas de nutrición incluyen el conocimiento de la cantidad y proporción de proteína degradable y no degradable en el rumen, así como las cantidades necesarias de energía para el desarrollo suficiente de los microorganismos del rumen.



Cuadro 4. Fracciones de proteína de la *Leucaena leucocephala* a 42 días de corte por efecto de época.

	Época		RMSE	P
	Seca	Lluvias		
PC	28.53 a	23.54 b	1.97	<.0001
NNP, PC	21.46 a	22.09 a	3.51	0.65
PVS, PC	73.08 a	71.80 a	3.88	0.40
PVF, PC	3.83 a	3.64 a	2.26	0.83
PI, PC	1.63 b	2.47 a	0.7	0.00

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). PC - proteína cruda. NNP - nitrógeno no proteico. PVS - Proteína verdadera soluble, PVF - proteína verdadera fibrosa. PI - proteína indigestible.

Como resultado del fraccionamiento de proteínas, la *L. leucocephala* mostró estar constituida principalmente por la fracción PVS (>70%). La fracción de PVS, %PC es de degradación rápida e intermedia. Le siguió la fracción NNP que representó el 20% de la proteína total en la *L. leucocephala*. La fracción NNP, es importante porque es soluble y rápidamente se convierte en amoníaco en el rumen. Ambas fracciones se mantiene estables entre épocas, por tanto, la *L. leucocephala* pueden servir como fuente de proteína durante todo el año para mejorar la dieta de bovinos sobre todo en la época seca sabiendo que la calidad nutritiva de los pastos en este momento es menor, pero que puede compensarse con la calidad que aporta *L. leucocephala*.

La fracción PI, %PC está compuesta por proteínas asociadas a la lignina, complejos taninos-proteína, así como productos Maillard que son altamente resistentes a la hidrólisis enzimática, lo cual provoca que no pueda ser digeridas. Al respecto, el mayor contenido de PI (2.4%) (Cuadro 4) y el mayor contenido de lignina (12.2%) (Cuadro 2) se presentaron en la época de lluvias donde las condiciones climáticas tienen efecto sobre la madurez (lignificación) de la planta.

De acuerdo con los resultados de las fracciones de proteína, más del 90% de la proteína total de la *L. leucocephala* es degradable en el rumen (Cuadro 4), Por lo tanto, para que esta proteína se utilice de forma eficiente en la dieta de bovinos en el trópico es necesario integrar carbohidratos que se fermenten fácilmente en el rumen.



Conclusiones

La época seca favorece la calidad de la proteína mientras que la época de lluvias favorece la calidad de los carbohidratos de *Leucaena leucocephala*.

El alto contenido de PC en *L. leucocephala* en ambas épocas (secas y lluvias), confirma el potencial de uso de esta especie como fuente de proteína disponible para la alimentación de rumiantes durante todo el año.

El 90% de la PC presente en *L. leucocephala* es proteína degradable en rumen (70% PVS y 20% NNP), y se mantienen estables en ambas épocas (lluvias y seca).

Agradecimientos

Trabajo parcialmente financiado por el Megaproyecto “Mejoramiento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México” con clave de registro: SAGARPA-CONACYT-2010-144591. Como parte del subproyecto “Tecnología de alimentación para mejorar la productividad de bovinos lecheros en pastoreo en el trópico mexicano” en su Etapa 1 “Caracterización del valor nutritivo de los forrajes tropicales según la estructura del CNCPS para ganado lechero en pastoreo en trópico mexicano. Sección “Evaluación nutricional de leguminosas arbustivas forrajeras”.

Literatura Citada

AOAC (Asociación of Official Methods of Analysis). 1990. Association of Official Analytical Chemist (AOAC), 15th Edition, Washington D.C. 870 p.

Arjona-Alcocer, V. A., C. F. Aguilar-Pérez., J. C. Ku-Vera., L. Ramírez-Avilés y F. J. Solorio-Sánchez. 2020. Influence of energy supplementation on dietary nitrogen utilization and milk production in cows fed foliage of *Leucaena leucocephala*. Trop. Anim. Health Prod. 52(5):2319–2325.



- Ball, D. M., M. Collins, G. D. Lacefield, N. P. Martin, D. A. Mertens, K. E. P. Olson. *et al.* 2001 Understanding forage quality. American Farm Bureau Federation Publication 1-01, Park Ridge, Illinois, USA. 21 p.
- Berauer, B. J., P. A. Wilfahrt., B. Reu., M. A. Schuchardt., N. Garcia-Franco., M. Zistl-Schlingmann *et al.* 2020. Predicting forage quality of species-rich pasture grasslands using vis-NIRS to reveal effects of management intensity and climate change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 296: 106929.
- Castro González, A., M. Montero-Lagunes., A. Utrera-Rios., A. J. Ayala-Burgos y F. I. Juárez-Lagunes. 2022. *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit as protein supply for heifers. *Agro Productividad* 15:69–77.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Base de datos climatológica. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Diarios/30056.txt>
- De Angelis, A., L. Gasco., G. Parisi y P. P. Danieli. 2021. A Multipurpose Leguminous Plant for the Mediterranean Countries: *Leucaena leucocephala* as an Alternative Protein Source: A Review. *Animals* 11(8):2230.
- Flores-Cocas, J. M., C. F. Aguilar-Pérez., L. Ramírez-Avilés., F. J. Solorio-Sánchez., A. J. Ayala-Burgos y J. C. Ku-Vera. 2021. Use of rice polishing and sugar cane molasses as supplements in dual-purpose cows fed *Leucaena leucocephala* and *Pennisetum purpureum*. *Agroforest Syst.* 95(1):43–53.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Serie Libro. No. 6. Quinta Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 p.
- Goering, H. K. y P. J. V. Soest. 1970. Forage Fiber Analysis: Apparatus, Reagents, Procedures and Some Applications. U.S.D.A. Agricultural Research Service. USA. 20 p.



- Hernández, E. A., M. Montero-Lagunes., J. F. Enríquez-Quiróz., F. I., Juárez-Lagunes., R. Basurto-Gutierrez y E. Ramírez-Rodríguez. 2021. Espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) para estimar fracciones protéicas en pasto *Urochloa*. *Rev. Fitotec.* 44(4-A):781-781.
- Hernández-Hernández, M., S. López Ortiz., J. Jarillo Rodríguez., E. Ortega Jiménez., S. Pérez Elizalde., P. Díaz Rivera *et al.* 2020. Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrus maximus* cv. Tanzania. *Rev. Mex. Cienc. Pecu* 11(1):53–69.
- Katoch, R. 2023a. Factors Affecting Forage Quality. p. 199–210. *In: Katoch, R. (Ed.). Techniques in Forage Quality Analysis.* Springer Nature. Singapore.
- Katoch, R. 2023b. Forage Quality Components. p. 17–32. *In: Katoch, R. (Ed.). Techniques in Forage Quality Analysis.* Springer Nature. Singapore.
- Lanzas C., C. J. Sniffen., S. A. Seo., L. O. Tedeschi y D. G. Fox. 2007. A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol* 136(3-4):167-190.
- Licitra, G., T. M. Hernandez y P. J. Van Soest. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57(4):347–358.
- Muñoz-González, J. C., M. Huerta-Bravo., A. Lara Bueno., R. Rangel Santos. y J. L. Rosa Arana. 2016. Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 7(SPE16):3315–3327.
- Rojas-Downing, M. M., A. P. Nejadhashemi., T. Harrigan. y S. A. Woznicki. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Clim. Risk Manag.* 16:145–163.
- Salehi-Lisar, S. Y. y H. Bakhshayeshan-Agdam. 2020. Agronomic Crop Responses and Tolerance to Drought Stress. p. 63–91. *In: Hasanuzzaman, M. (eds) Agronomic Crops.* Springer, Singapore.



SAS (Statistical Analysis System). 2003. SAS Release 9.1 for windows, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Thamaga, M. W., H. K. Mokoboki., N. A. Sebola y K. E. Ravhuhali. 2021. Apparent digestibility and nutritional composition of *Leucaena leucocephala* (Lam) leaf meal incorporated in the diets of Black Australorp and Potchefstroom Koekoek chicken breeds. *Trop. Anim. Health Prod.* 53(5):458.

Van Soest, P. J. 2018. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University press. Ithaca, New York, USA. 488 p.

Vanzant, E. S., R. C. Cochran y W. K. Coblenz. 2020. Chapter 37 Animal Methods for Evaluating Forage Quality. p. 673–685. In: Moore, K. J., M. Collins., C. J. Nelson. y D. D. Redfearn (Eds.). *Forages: The Science of Grassland Agriculture*. Wiley Online Library.



EFECTO DE LA EPOCA DEL AÑO SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE PASTOS TROPICALES NO FERTILIZADOS

Jorge L. Contreras Jácome²⁴⁷, Maribel Montero Lagunes²⁴⁸, Francisco I. Juárez Lagunes^{247*}, Abigail Castro González²⁴⁷, Javier F. Enríquez Quiroz²⁴⁸ y José M. Martínez Hernández²⁴⁷

Resumen

La producción de biomasa y calidad nutricional de pastos tropicales se afecta por especie, condiciones ambientales y fertilización. El objetivo fue evaluar el rendimiento de biomasa y calidad nutricional de pastos tropicales no fertilizados por efecto época del año. El experimento se condujo a 19° 10' Latitud Norte y 96° 10' Longitud Oeste en clima tropical subhúmedo Aw₁. Las gramíneas fueron: *Cenchrus purpureus* (Maralfalfa); *Megathyrsus máximus* (Mombasa); *Urochloa brizantha* (Insurgente); *Urochloa humidicola* (Dictyoneura); y el híbrido *Urochloa ruziziensis* x *U. brizantha* (Mulato I). Por cada pasto se establecieron 3 parcelas (3 x 2 m). Éstas se cortaron cada 35 días durante un año. Los cortes se agruparon por la época del año (nortes, seca y lluvias). Rendimiento de MS, composición química, carbohidratos totales (CHOS), carbohidratos solubles (CS), carbohidratos estructurales (CE); y fracciones de proteína cruda (PC): nitrógeno no proteico (NNP), proteína verdadera soluble (PVS), proteína verdadera fibrosa (PVF) y proteína indigestible (PI) se sometieron a análisis de varianza con un diseño completamente al azar para los efectos de especie y época. El rendimiento más alto de MS (kg ha⁻¹) se obtiene en la época de lluvias con 1,514. El pasto Maralfalfa destaca con 1,563 kg de MS ha⁻¹ promedio anual. El pasto Mulato I presenta mayor cantidad de CS (19.9%) y menos CE (44.3%). El promedio anual de PC fue 9.2%. El pasto Mulato I muestra mayor fracción PVS (3.84% MS) y menor fracción PI (0.69%MS). Los contenidos de PC más bajos (7.49%MS) se obtienen en la época de lluvias y los más altos (11.64 y 8.96%MS) en época de nortes y secas respectivamente. En la época de lluvias la calidad proteica es inferior (< PVS; > PI). Se concluye que en pastos tropicales no fertilizados el contenido de carbohidratos está más influenciado por la especie, y el rendimiento de MS y las proteínas por la época.

²⁴⁷ Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. *Autor por correspondencia: juarezf@hotmail.com

²⁴⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Posta.



Palabras clave: carbohidratos, época del año, gramíneas, proteínas, rendimiento

Introducción

La producción de biomasa y la calidad nutricional de los pastos tropicales se afecta principalmente por la especie, las condiciones ambientales y la fertilización (Rusinowski *et al.*, 2019). El rendimiento de los pastos resulta inestable e insuficiente debido a la variabilidad en la disponibilidad de agua dentro de un mismo periodo anual, señalándose este aspecto como una limitante para la expresión del potencial forrajero de algunas pasturas. En el último decenio se ha incrementado la influencia del cambio climático, modificando considerablemente el régimen hídrico de los ecosistemas, variable que determina la perennidad y productividad de los pastos. Dentro de las principales causas de degradación de pasturas están la baja fertilidad de los suelos. El uso de pastos mejorados permite obtener niveles de producción de biomasa que se traduce en mayor capacidad de carga animal (Pezo, 2018). Sin embargo, la no fertilización de estos pastos limita su potencial. Solano-López y Villalobos-Villalobos (2022) encontraron que los pastos no fertilizados producen 22% menos biomasa que pastos fertilizados. Juárez-Lagunes *et al.*, (1999) demostraron que el nivel de proteína cruda de pastos mejorados no fertilizados es 84% inferior al de los fertilizados con nitrógeno. De la misma manera reportan que en la época seca (invierno y primavera) la PC de pastos tropicales no fertilizados es arriba de 7% y que en época de lluvias (verano y otoño) es inferior al 7%. Así también, señalan que, en pasto Taiwán (*Cenchrus purpureus*) el rendimiento de biomasa aérea es del doble en la época de lluvias comparada con la época seca (De Dios-León *et al.*, 2022). Por tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de biomasa y calidad nutricional de cinco pastos tropicales no fertilizados durante las diferentes épocas del año.

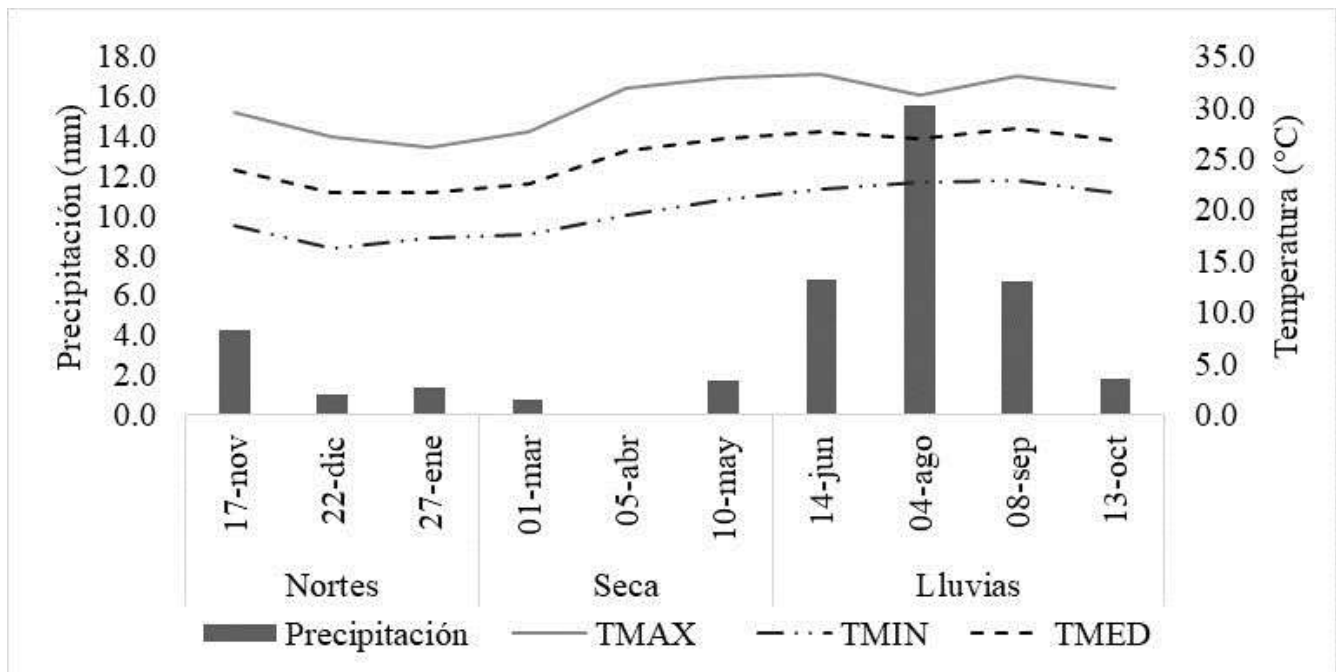
Materiales y Métodos

Área de estudio: El experimento se condujo del año 2011 al 2012 en el Campo Experimental “La Posta” (INIFAP), Paso del Toro, Ver., geográficamente localizado a 19° 10′ Latitud Norte y 96° 10′ Longitud Oeste, a 15 msnm. Clima tropical subhúmedo tipo Aw₁. Promedio anual de: Precipitación



pluvial, 1,328 mm; Temperatura, 25°C; Humedad relativa, 81%. El suelo se clasifica como vertisol, con pH ácido de 5.4, textura arcillosa con 2.6% de materia orgánica y 9.5 ppm de NO₃.

Material experimental: Las gramíneas evaluadas fueron: *Cenchrus purpureus* (Marafalfa); *Megathyrsus máximus* (Mombasa); *Urochloa brizantha* (Insurgente); *Urochloa humidicola* (Dictyoneura); y el híbrido *Urochloa ruziziensis* x *Urochloa brizantha* (Mulato I). Por cada pasto se establecieron 3 parcelas (3 x 2 m) con área de muestreo 1 m² por parcela: Las parcelas no fueron fertilizadas. Se tomaron muestras de los forrajes cada 35 días de rebrote durante todo el año. Mombasa y Marafalfa se cortaron a 30 cm del suelo y los *Urochloa* spp. se cortaron a 15 cm.



TMAX = temperatura máxima; TMIN = temperatura mínima; TMED = temperatura promedio; Precipitación es promedio diario (mm/d); Temperatura es promedio diario (°C/d).

Época. Se definieron tres épocas del año para la región: Nortes (de diciembre a febrero); seca (de marzo a mayo); lluvias (de junio a noviembre)

Tratamientos: Los pastos no fertilizados se evaluaron por especie: *Cenchrus purpureus* (Marafalfa); *Megathyrsus máximus* (Mombasa); *Urochloa brizantha* (Insurgente); *Urochloa humidicola* (Dictyoneura); y el híbrido *Urochloa ruziziensis* x *U. brizantha* (Mulato I), y por época del año (nortes, seca y lluvias).



VARIABLES DE RESPUESTA

Rendimiento de MS: En campo se determinó materia fresca (kg/ha) pesando en báscula digital (capacidad 10 kg) el total del forraje cosechado utilizando un cuadrante de 1 m por lado. En el Laboratorio de Nutrición, por cada repetición dentro de pasto, se tomó una muestra de 500g colocándola en bolsa de papel y se secó a 100°C en estufa de aire forzado durante 24 h para determinar contenido de materia seca (MS), posteriormente se desechó. **Composición química:** Las muestras se secaron a 55°C en estufa de aire forzado hasta peso constante y se molieron en molino Wiley con malla de 1 mm. Procedimientos estándar del AOAC (2016) fueron usados para medir cenizas, extracto etéreo (EE) y proteína cruda (PC). Las fracciones de Nitrógeno se determinaron por las técnicas descritas por Licitra *et al.*, (1996). Fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), (Van Soest *et al.*, 1991) y Lignina (Goering y Van Soest, 1970). Las determinaciones de composición química se utilizaron para estimar las fracciones de carbohidratos y proteínas como indicadores de calidad nutricional bajo el siguiente esquema de ecuaciones: **Fracciones de carbohidratos:** La estimación de carbohidratos totales y fracciones de carbohidratos se adaptaron de las ecuaciones descritas por Lanzas *et al.*, (2007): Carbohidratos totales (CT, % MS) = 100 – PC - EE – Cenizas – Lignina; Carbohidratos solubles (CS, % MS) = 100 – Cenizas – EE – PC – (FDN-N); Carbohidratos estructurales indigestibles (CEI, %MS) = (FDN-N* Lig%FDN-N*2.4)/100; Carbohidratos estructurales digestibles (CED, %MS) = (FDN-N- CEI). **Fracciones proteínas:** La estimación de las fracciones de proteína se adaptó de las ecuaciones descritas por (Hernández *et al.*, 2021), (Cuadro 1).

DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables de rendimiento de MS, composición química, fracciones de carbohidratos y proteínas se sometieron a análisis de varianza con un diseño completamente al azar, para los efectos de especie (cinco pastos) y época (tres épocas) con tres repeticiones por cada tratamiento. Los datos de las variables estudiadas se analizaron estadísticamente usando el procedimiento de modelos lineales generalizados (PROC GLM) del MINITAB (2015). Las medias de cuadrados mínimos de los tratamientos fueron estimadas con la opción LSMEANS, mientras que las comparaciones entre ellas ($P \leq 0.05$) se realizaron con la prueba de Tukey.



Cuadro 1. Equivalencias de las fracciones químicas proteicas del laboratorio con las fracciones nutricionales proteicas (adaptado de Hernández *et al.*, 2021).

Fracciones químicas	Fracción nutricionales
PC	N*6.25 (proteína cruda)
NNP	Nitrógeno no proteico
PC – NNP	PV (proteína verdadera)
PC – PIDN	PS (proteína soluble)
PS – NNP	PVS (proteína verdadera soluble)
PIDN – PIDA	PVI (proteína verdadera insoluble)
PIDA	PI (proteína indigestible)

PIDN = proteína insoluble en FDN; PIDA = proteína insoluble en FDA.

Resultados y Discusión

Rendimiento de MS por época

La época del año influye sobre el rendimiento de MS de los pastos tropicales no fertilizados. Siendo la de lluvias la que mayor producción de forraje (kg MS ha⁻¹) registró (1,513. 56^a) y las épocas de nortes y seca las que presentan menor producción (546.65^b y 414.88^b), respectivamente (Cuadro 2). La mayor producción de materia seca ocurre con el 61.2% en lluvias (junio a noviembre), el 22.1% en nortes (diciembre a febrero) y 16.8% en seca (marzo a mayo). Similares distribuciones de rendimiento reportan De Dios-León *et al.*, (2022). Ramírez *et al.*, (2009) han correlacionado positivamente el nivel de la precipitación con la producción de MS de los forrajes. Así, la mayor producción de materia seca en la época de lluvias respecto a la época de nortes y seca, puede atribuirse al efecto de mayor humedad.

Rendimiento de MS por especie de pasto

Con relación a la especie, Maralfalfa presenta rendimiento MS (kg/ha) de 1,563. 34^a y Chetumal, Insurgente, Mulato y Mombasa 633.58^b, 673.84^b, 630.44^b y 623.97^b ± 101.12 respectivamente (Cuadro 3). *Cenchrus purpureus* es de porte erecto, y con esta característica después del Maíz y de la Caña de Azúcar es la gramínea más eficiente para captar luz y CO₂ y convertirlo en materia orgánica, quizás por esta razón es el pasto que tiene mayor rendimiento y como tal contribuye a su mayor producción



promedio anual de MS. Por lo tanto, asociando los factores mencionados, se entiende la ventaja de *Cenchrus* sobre *Urochloa* y *Megathyrsus* en cuanto a rendimiento de MS (Rojas-Hernández *et al.*, 2011).

Cuadro 2. Rendimiento y composición química (% materia seca) de pastos tropicales a 35 días de corte por efecto época.

	Época			EEM
	Nortes	Seca	Lluvias	
Kg MS/ha	546.65 ^b	414.88 ^b	1513.56 ^a	539.07
MS %	20.40 ^c	27.43 ^a	22.81 ^b	4.29
Cenizas	12.51 ^a	10.45 ^b	10.38 ^b	1.41
EE	2.95 ^{ab}	3.24 ^a	2.64 ^b	0.71
PC %MS	11.64 ^a	8.96 ^b	7.49 ^c	1.36
NNP	3.28 ^a	1.99 ^b	1.80 ^b	1.12
FDN	64.29 ^b	65.50 ^b	67.49 ^a	2.93
FDA	37.77 ^b	35.84 ^c	39.66 ^a	2.00
PIDN	3.58 ^b	4.47 ^a	3.15 ^b	1.14
PIDA	0.84 ^c	1.49 ^a	1.20 ^{ab}	0.81
LIG	7.28 ^a	5.18 ^c	6.11 ^b	1.45

EEM = error estándar de la media. Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EE, Extracto etéreo, PC: proteína cruda, NNP: Nitrógeno no proteico, PIDN: Proteína insoluble en detergente neutro, PIDA: Proteína insoluble en detergente ácido, FDN: Fibra detergente neutro., FDA: Fibra detergente ácido., LIG: Lignina.

Calidad nutricional por especie de pasto

Mombasa y Maralfalfa tienen bajo contenido de carbohidratos totales (76.1^b y 72.5^c) y carbohidratos solubles (12.13^c y 10.55^c) respectivamente (cuadro 4). La calidad energética de los *Urochloa* spp. destaca por su alto contenido de carbohidratos totales, y de éstos, mayor proporción de carbohidratos solubles, particularmente el híbrido Mulato con 19.87^{a%}. Hernández *et al.*, (2020) encontraron mayor concentración de carbohidratos solubles en *Urochloa* spp. comparado con *Megathyrsus* y otros pastos. Consecuentemente, la proporción de carbohidratos estructurales (CE) es menor y asociado a menor contenido de lignina, se espera que esta fracción (CE) sea más digestible comparado con las otras



especies. El resultado final es que Mulato proporciona más energía al rumiante con relación a *Cenchrus* y *Megathyrsus*.

En un ambiente sin fertilización nitrogenada los pastos no pueden expresar su potencial proteico y en promedio anual, en este estudio, contienen alrededor de 9% de PC sin diferencia estadística entre especies (Cuadro 4). Sin embargo, se detectan algunas diferencias sutiles en cuanto a calidad proteica. La menor calidad de proteína la tiene el pasto Mombasa dado que tiene menor contenido de proteína soluble, de proteína verdadera y la fracción de proteína indigestible más alta; y la mejor calidad proteica la expresa el Mulato con mayor contenido de proteína verdadera soluble y el valor más bajo de proteína indigestible contribuyendo con un mayor aporte de aminoácidos a la economía del rumiante tanto a nivel ruminal como a nivel intestinal.

Juárez-Lagunes *et al.*, (2018) encontraron gran variación dentro de las fracciones de proteína, principalmente debido a la especie, donde *Brachiaria brizantha* tiene un perfil de proteína muy diferente a *Andropogon gayanus*, *Cynodon plectostachyus* y *Panicum máximus* cv. Guinea, ya que tiene más fracciones solubles, y menos insolubles e indigestibles, lo que sugiere que este forraje tiene mayor porcentaje de N aprovechable para los rumiantes.

Calidad nutricional por época del año de pastos tropicales no fertilizados

Época de Nortes

En los pastos no fertilizados la época no explica bien la variación en las fracciones no nitrogenadas (Cuadro 5). Sin embargo, las fracciones nitrogenadas varían fuertemente por efecto de época. Siendo la PC y el NNP las fracciones más sensibles. En este sentido, en la época de nortes los pastos tienen la concentración proteica más alta, y en la época de lluvias se tienen niveles de proteína más bajos. El efecto ambiental refleja mejor la dinámica nutricional de los pastos (Cuadro 5). Donde en nortes los carbohidratos totales disminuyen significativamente como consecuencia de la disminución de los CE, y la calidad de la proteína se incrementa siendo la proteína verdadera soluble la del valor más alto. Un incremento en las fracciones de N requiere de depresión de componentes no nitrogenados. En este sentido las proteínas provienen de carbohidratos por lo tanto al aumentar la fracción proteica en los pastos, necesariamente se tiene que disminuir la fracción de carbohidratos (Van Soest, 1994). Considerando que, la temperatura influye sobre la tasa fotosintética de los forrajes (Salisbury y Ross, 1992) siendo menor en invierno (nortes) y con recursos hídricos limitados explica el menor rendimiento de los pastos y la mayor acumulación de compuestos solubles (CS y PS).



Cuadro 3. Rendimiento y composición química (% materia seca) de pastos tropicales a 35 días de corte por efecto de especie.

	Pasto					EEM
	Chetumal	Insurgente	Maralfalfa	Mombasa	Mulato	
Kg MS/ha	633.58 ^b	673.84 ^b	1563.34 ^a	623.97 ^b	630.44 ^b	101.12
MS%	23.11 ^b	24.52 ^{ab}	18.60 ^c	26.66 ^a	24.84 ^{ab}	0.80
Cenizas	10.33 ^c	9.00 ^d	14.49 ^a	11.73 ^b	10.03 ^c	0.26
EE	2.54 ^b	3.26 ^a	2.96 ^{ab}	2.80 ^{ab}	3.16 ^a	0.13
PC	8.58 ^c	9.56 ^{ab}	10.11 ^a	9.35 ^{abc}	9.21 ^{bc}	0.26
NNP	2.11 ^a	2.39 ^a	2.70 ^a	2.35 ^a	2.24 ^a	0.21
FDN	69.03 ^a	64.42 ^b	65.95 ^b	68.53 ^a	60.87 ^c	0.55
FDA	39.60 ^b	33.98 ^c	42.62 ^a	40.72 ^{ab}	31.87 ^d	0.38
PIDN	3.38 ^{bc}	3.57 ^{bc}	4.05 ^{ab}	4.54 ^a	3.14 ^c	0.21
PIDA	1.16 ^{ab}	1.01 ^{ab}	1.55 ^a	1.47 ^a	0.69 ^b	0.15
LIG	5.53 ^b	5.07 ^b	7.61 ^a	7.14 ^a	5.59 ^b	0.27

Medias con letras iguales en cada fila no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EE, Extracto etéreo, PC: proteína cruda, NNP: Nitrógeno no proteico, PIDN: Proteína insoluble en detergente neutro, PIDA: Proteína insoluble en detergente ácido, FDN: Fibra detergente neutro., FDA: Fibra detergente ácido., LIG: Lignina.

Época seca

Durante esta época los carbohidratos de los pastos nutricionalmente no reflejan el impacto ambiental. Pero las fracciones de N muestran tendencia a disminución de la proteína soluble, la proteína verdadera, y mayor deposición de proteína en la pared celular (PVI). Como consecuencia se tendría menor disponibilidad de N a nivel ruminal. En referencia al comportamiento de las fracciones de N, este estudio coincide con Gutiérrez *et al.*, (2015) quienes indicaron que el proceso de madurez de los pastos en esta época y la modificación de sus principales estructuras (material verde vs muerto y hojas vs tallos), genera un aumento en la proporción de nitrógeno que se une a los contenidos de la pared celular (PVI y PI).



Cuadro 4. Fracciones de carbohidratos y proteína (% materia seca) de pastos tropicales a 35 días de corte por efecto especie.

	Pasto					EEM
	Chetumal	Insurgente	Maralfalfa	Mombasa	Mulato	
CHOS	78.54 ^a	78.18 ^a	72.45 ^c	76.12 ^b	77.60 ^a	0.43
CS	12.90 ^c	17.33 ^b	10.55 ^c	12.13 ^c	19.87 ^a	0.60
CED	52.38 ^a	48.67 ^b	43.63 ^c	46.85 ^{bc}	44.31 ^c	0.93
CEI	13.27 ^b	12.18 ^b	18.27 ^a	17.15 ^a	13.42 ^b	0.65
PV	6.47 ^b	7.17 ^{ab}	7.41 ^a	7.00 ^{ab}	6.97 ^{ab}	0.28
PVS	3.10 ^{ab}	3.60 ^a	3.35 ^a	2.46 ^c	3.84 ^a	0.25
PVI	2.22 ^a	2.55 ^a	2.51 ^a	3.07 ^a	2.45 ^a	0.24
PI	1.16 ^{ab}	1.01 ^{ab}	1.55 ^a	1.47 ^a	0.69 ^c	0.15

CHOS = carbohidratos totales; CS = carbohidratos solubles; CED = carbohidratos estructurales digestibles; CEI = carbohidratos estructurales indigestibles; PV = proteína verdadera; PVS = proteína verdadera soluble; PVI = proteína verdadera insoluble; PI = proteína indigestible; EEM = error estándar de la media.

Época de lluvias

El mayor impacto de este período en los pastos es sobre la PC (Cuadro 5) la cual se ubica en el límite crítico nutricional ≤ 7 por ciento. Este bajo contenido hace referencia a los requerimientos mínimos de N de mantenimiento del microbioma ruminal con consecuencia en la depresión de la digestibilidad y el consumo voluntario en bovinos (Van Soest, 1992). La fracción proteica más afectada fue la proteína en la pared celular (PIDN), siendo además ésta menos disponible (PVI) y mayormente indigestible (PI). Lo inesperado en el trópico, es que, en esta época de exceso de forraje, este sea de mala calidad proteica. Juárez *et al.*, (2011), en un trabajo sobre curvas de la dilución de la proteína en genotipos de pasto *Urochloa humidicola*, concluyen que en la época de lluvias hubo disminución importante del contenido de proteínas en plantas de *U. humidicola*, a partir de los 28 días de edad, como consecuencia de un crecimiento más acelerado del pasto. El contenido de proteína y la producción de materia seca (PMS) se correlacionan negativamente entre sí, por lo que al seleccionar un genotipo con alta PMS podría escogerse un genotipo con bajo contenido de proteína. De ahí la importancia de la consideración sobre la curva de dilución al seleccionar especies o genotipos.



Cuadro 5. Fracciones de carbohidratos y proteína (% materia seca) de pastos tropicales a 35 días de corte por efecto época.

	Época			RMSE
	Nortes	Seca	Lluvia	
CHOS	72.89 ^c	77.35 ^b	79.49 ^a	2.31
CS	12.18 ^b	16.32 ^a	15.16 ^a	3.18
CED	43.23 ^b	48.6 ^a	49.68 ^a	4.94
CEI	17.48 ^a	12.43 ^c	14.65 ^b	3.47
PV	8.36 ^a	6.97 ^a	5.69 ^c	1.47
PVS	4.78 ^a	2.5 ^b	2.53 ^b	1.34
PVI	2.74 ^a	2.98 ^a	1.96 ^b	1.28
PI	0.84 ^b	1.49 ^a	1.2 ^{ab}	0.81

CHOS = carbohidratos totales; CS = carbohidratos solubles; CED = carbohidratos estructurales digestibles; CEI = carbohidratos estructurales indigestibles; PV = proteína verdadera; PVS = proteína verdadera soluble; PVI = proteína verdadera insoluble; PI = proteína indigestible; EEM = error estándar de la media.

Conclusiones

En pastos tropicales no fertilizados las fracciones de carbohidratos están más afectadas por la especie, y el rendimiento y las fracciones de proteínas por la época. El mayor rendimiento de MS se obtiene en época de lluvias y los rendimientos de MS más bajos en las épocas de nortes y seca. El pasto Mulato I marca la diferencia en calidad nutricional por tener mayor cantidad de carbohidratos totales, mayor cantidad de carbohidratos solubles y menor cantidad de carbohidratos estructurales. Los pastos no fertilizados no mostraron su potencial proteico por efecto de especie. Aunque el pasto Mulato I muestra mejor calidad proteica al tener mayor proteína verdadera soluble y menor proteína indigestible. Los contenidos de PC más bajos se obtienen en la época de lluvias y los más altos en la época de nortes. Así mismo, en época de lluvias la calidad proteica es inferior.



Agradecimientos

Trabajo parcialmente financiado por el Megaproyecto “Mejoramiento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México” con clave de registro: SAGARPA-CONACYT-2010-144591. Como parte del subproyecto “Tecnología de alimentación para mejorar la productividad de bovinos lecheros en pastoreo en el trópico mexicano” en su Etapa 1 “Caracterización del valor nutritivo de los forrajes tropicales según la estructura del CNCPS para ganado lechero en pastoreo en trópico mexicano. Sección “Evaluación nutricional de pastos tropicales”.

Literatura Citada

AOAC International, (Association of Official Analytical Chemist). 2016. Official Methods of Analysis. 2006. 18.^a ed. 3162p.

De Dios-León G. E., J. A, Ramos-Juárez, F. Izquierdo-Reyes, B. M. Joaquín-Torres and F. Meléndez-Nava (2022) Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. Revista mexicana de ciencias pecuaria. 13(4) 1055-1066, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217>

Goering H. K. and P. J. Van Soest (1970) Forage fiber analyses: apparatus, reagents, procedures, and some applications. Agricultural Research Service, U.S. Dept. of Agriculture. Washington, D.C. USA. 20 p. <https://naldc.nal.usda.gov/catalog/CAT87209099>

Gutiérrez D., E. R. Borjas, R. H. Rodríguez, Z. Rodríguez, R. Stuart y L. Sarduy (2015) Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal in situ de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: *Moringa oleifera*. Avances en Investigación Agropecuaria 19(3) 7-16, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83743886002>



- Hernández, E. A., F. I. L. Juárez, A. N. Pell, M. L. Montero, J.M. R Pinos, y R. W. Blake (2020) Degradación ruminal *in vitro* de las fracciones de carbohidratos contenidas en pastos tropicales fertilizados con nitrógeno. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 11(1) 266-282, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4829>
- Hernández, E. A., M. Montero-Lagunes, J. F. Enríquez-Quiróz, F. I. Juárez-Lagunes, R. Basurto-Gutierrez y E. Ramírez-Rodríguez (2021) Espectroscopia de reflectancia en el infrarojo cercano (NIRS) para estimar fracciones protéicas en pasto *Urochloa*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 44(4-A) 781-781, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4-A.781>
- Juárez F. I. L., D. G. Fox, R. W. Blake y A. N. Pell (1999) Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico. *Journal of dairy science*. 82(10) 2136–2145, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75457-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75457-3)
- Juárez J., E. D. Bolaños, L. Vargas, S. Medina y P. Martínez-Hernández (2011) Curvas de dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(3),321-331, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193022270017>
- Juárez L. F. I., A. N. Pell, R. W. Blake, M. L. Montero and J. M. R. Pinos (2018) *In vitro* ruminal degradation of neutral detergent fiber insoluble protein from tropical pastures fertilized with nitrogen. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. 9(3) 588-600, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4490>
- Lanzas C., C. J. Sniffen, S. A. Seo, L. O. Tedeschi and D. G. Fox (2007) A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 136(3-4) 167-190, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.08.025>
- Licitra G., T. M. Hernandez and P. J. Van Soest (1996) Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 57(4) 347-358, [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00837-3](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00837-3)



MINITAB (2015) Minitab Statistical software. www.minitab.com.

Pezo Q. D. A. (2018) Los pastos mejorados: su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático. Serie Técnica. Boletín Técnico.

Ramírez R. O., A. G. Hernández, S. Carneiro da Silva, J. P. Pérez, J. F. Q. Enríquez, A. R. C. Quero, *et al.* (2009) Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 47(2) 203-213, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61312116008>

Rojas-Hernández S., J. Olivares-Pérez, R. Jiménez-Guillén, I. Gutiérrez-Segura y F. Avilés-Nova (2011) Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de *Brachiaria* en el trópico. Avances en Investigación Agropecuaria 15(1)3-8, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83717122001>

Rusinowski S., J. Krzyżak, K. Sitko, H. M. Kalaji, E. Jensen and M. Pogrzeba (2019) Cultivation of C4 perennial energy grasses on heavy metal contaminated arable land: impact on soil, biomass, and photosynthetic traits. Environmental Pollution 250: 300-311, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.048>

Salisbury F.B. and C. W. Ross (1992) Plant Physiology, Hormones and Plant Regulators: Auxins and Gibberellins. 4th Edition, Wadsworth Publishing, Belmont, CA. 357-381 p.

Solano-López M. J. y L. A. Villalobos-Villalobos (2022) Fertilización nitrogenada en pastos del género *Cynodon*. Nutrición Animal Tropical 16 (1) 82-104, <https://doi.org/10.15517/nat.v16i1.51542>

Van Soest P. J. (1994) Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Ithaca, New York, USA. 488 p.



Van Soest P. J., J. France and R. C. Siddons (1992) On the steady-state turnover of compartments in the ruminant gastrointestinal tract. *Journal of Theoretical Biology*. 159(2) 135-145, [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(05\)80698-8](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(05)80698-8)

Van Soest P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Sciences* 74:3583-3597, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)



FACTORES QUE AFECTAN EL ÍNDICE DE PREÑEZ DE OVEJAS SOMETIDAS A PROGRAMAS DE TRASPLANTE EMBRIONARIO

Armando Arrieta González²⁴⁹, Jesús Emanuel Arrieta Vázquez²⁴⁹ y Karla Lissette Silva Martínez^{249*}

Resumen

Con el objeto de evaluar como el porcentaje de preñez en ovejas sometidas a un programa de trasplante de embriones, es afectado por la calidad de embriones trasplantados, cantidad de embriones, cantidad de cuerpos lúteos presentes en ovejas receptoras y la presencia de celo, se desarrolló un estudio de caso donde se utilizaron 24 ovejas receptoras de raza media sangre Dorper/Kathadin y 6 ovejas donadoras de raza Dorper. Estos animales fueron sometidos a tratamientos hormonales para hacerlos superovular y sincronizar para su posterior trasplante de embriones. Las hembras donadoras fueron divididas en grupos por edad y condición corporal. Las ovejas receptoras se manejaron en un mismo grupo dado que sus características genéticas, cronológicas y nutricionales fueron similares. Inicialmente, al azar se determinó a que hembras se les trasplantaría un embrión de calidad 1 y de calidad 2, y consecuentemente esta asignación formó de los grupos de variables restantes (por presencia de celo, cantidad de cuerpos lúteos y cantidad de embriones trasplantados). Los datos fueron concentrados en tablas de contingencia de doble entrada de 2 x 2; donde la variable respuesta siempre fue la cantidad de ovejas gestantes o vacías. A las tablas de contingencia se les aplicó la prueba exacta de Fisher y X². Los resultados indicaron que la única variable que demostró relación con el porcentaje de gestación fue la calidad del embrión trasplantado. Se concluye que para el caso de la empresa evaluada en los programas de trasplante de embriones en ovejas debe dar prioridad y procurar producir una mayor cantidad de embriones de calidad 1 y trasplantarlos a sus ovejas receptoras porque así se obtendrán los más altos porcentajes de preñez.

Palabras clave: ovino, celo, transferencia embrionaria

²⁴⁹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca. *karla.silva@itsta.edu.mx



Introducción

Entre los problemas que aquejan a la ovinocultura nacional desde hace muchos años, se destaca la pobre eficiencia productiva de los rebaños, debido al escaso uso de tecnologías (Martínez-González *et al.*, 2010). El desarrollo de la mejora genética cumple un rol fundamental para que las prácticas ganaderas sean más eficientes. La transferencia de embriones (TE), es una técnica reproductiva que permite acortar el intervalo generacional mejorando así la ganancia genética anual. Entre las ventajas del empleo de la TE se pueden mencionar: la obtención de una descendencia genéticamente superior, la disminución del riesgo de contagio de enfermedades infecciosas, el mejoramiento genético de un grupo de animales a corto plazo, rescate genético de animales accidentados o enfermos permanentes, maximiza el uso de material seminal de alto valor, permite hacer una planificación de los cruzamientos, entre otras (Tribulo, 2002). Actualmente, la TE es la herramienta más utilizada en el mundo para multiplicar animales de alto valor genético (Bó, 2000), pero es importante conocer y determinar los factores que afectan la eficiencia de este tipo de técnicas, tanto por parte de las donantes y las receptoras, como del embrión y el ambiente uterino e incluso la técnica empleada o el técnico que realiza el procedimiento (Spell *et al.*, 2001; Bari *et al.*, 2003; Hidalgo *et al.*, 2006). Por lo anterior mencionado en el siguiente estudio se evaluaron a las hembras donadoras y hembras receptora para determinar factores que afectan en la técnica de transferencia de embriones.

Materiales y Métodos

Área de estudio. El estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la cría y engorda de ovinos ubicada en Tihuatlán, Ver. Este municipio se encuentra ubicado en el norte Veracruz en las coordenadas 18° 27' LN y 96° 21' LW a una altura de 60 msnm. Limita al norte con Temapache y Tuxpan, al este con Papantla, Poza Rica y Cazonas, al sur con Coatzintla y al suroeste con Puebla. Su distancia aproximada al noroeste de la capital del estado, por carretera es de 316 km. Tiene una superficie de 718.80 km², cifra que representa un 0.99% del total del estado. Se encuentra regado por los ríos Cazonas y Tontepec, que desembocan en el Golfo de México, también está regado por el arroyo de la bomba. Su clima es cálido regular, con una temperatura media anual de 22°C, su precipitación pluvial media anual es de 1,076.2 mm. Su vegetación es de tipo caducifolia y se



encuentran arboles como el encino, el fresno, sauce y álamo (INEGI, 2020). Dentro algunas de las actividades económicas se puede mencionar la actividad forestal, agrícola, ganadero y yacimientos de petróleo. Su suelo es de tipo regozol y vertisol que se caracterizan por tener una capa superficial oscura y rica en nutrientes, y se encuentra distribuido en su totalidad por 70,011.07 ha de las cuales el 70% es agrícola, el 20% es para el uso pecuario y el 10% es para el uso urbano (SEFIPLAN, 2021).

Hembras donadoras. El estudio se realizó con un total de seis hembras donadoras de raza Dorper, las cuales se agruparon para esta evaluación de la siguiente forma grupo Dr 4: 2 ovejas de 4 años de edad; Dr 6: 2 ovejas de 6 años de edad y Dr 9: 2 ovejas de 9 años de edad.

Hembras receptoras. Las hembras receptoras utilizadas en esta evaluación fueron 24, las cuales tenían una edad promedio de cuatro años, con adecuada condición corporal y estado sanitario adecuado; estas hembras fueron de raza cruzada entre la raza Dorper y Kathadin.

Manejo nutricional. La alimentación base de las hembras fue de alfalfa y paja de avena molidos. Se les aportó una suplementación con sales minerales y 400 g diarios de alimento concentrado con 14% de proteína cruda por animal.

Protocolo de sincronización. Para la inducción de estros se usaron esponjas intravaginales con 40 mg de acetato de fluorogestona, dichas esponjas se dejaron en los animales por un periodo de 12 días. Al día 10 de iniciado el protocolo se aplicó 75 μ g por donadora de prostaglandina F₂ α (Prosolvin C, Intervet ®) al mismo día se inició la aplicación de FSH (Folltropín, Vetrepharm ®) para propiciar la super ovulación de las donantes, la aplicación fue por vía intramuscular, se administraron cuatro pares de dosis decrecientes en un intervalo de 12 h. Cada una (50, 50; 40, 40; 30, 30; 20, 20 mg). La detección de celo se realizó entre las 24 y 36 h post retiro de las esponjas.

Protocolo de inseminación. Para la inseminación artificial (IA) se usó semen fresco de machos de la raza Dorper y de fertilidad conocida, el semen se extrajo mediante vagina artificial. La IA se realizó 24 h después de detectado el celo en la hembra, mediante IA intrauterina vía laparoscopia. La concentración espermática fue de 100×10^6 por dosis de 0.25 mL. Las dosis fueron envasadas en pajillas y la mitad de cada dosis fue aplicada en la parte media de cada cuerno uterino.

Colecta y evaluación de embriones. Tomando en cuenta el día en que se presentó el estro como el día cero, a los siete días se realizó la recuperación embrionaria, se llevó a cabo mediante laparotomía, para la sedación y la anestesia se usó xilacina IM (Procin ®, Pisa, México) y ketamina IV (Anesket ®, Pisa, México) en dosis de 0.2 mg/ kg-1 PV y 6 mg/ kg-1 PV respectivamente. La incisión se realizó en la zona abdominal enfrente de la ubre, se lavó, rasuró y desinfectó antes, el lavado de cuernos uterinos se



realizó extrayendo los cuernos uterinos por medio de una incisión de 5 cm, ya teniéndolos sujetos para evitar el retorno dentro de la cavidad abdominal; se realizó una punción en la base de cada cuerno para ser introducido un catéter Foley No. 12. Posteriormente se realizó una segunda punción en la unión del cuerno con el útero donde se colocó un catéter No. 18 (yelco) el cual estaba conectado una jeringa contenedora de medio de lavado (Flushing®, Bioniche) dicho medio posteriormente fue recolectado en un filtro estéril (Emcon®, Biogenec). Los embriones obtenidos en el medio de lavado colectado se contabilizaron y evaluaron en base a sus características morfológicas, ya evaluados fueron clasificados en embriones de buena calidad y transferibles y embriones de mala calidad con anormalidades y óvulos, para la clasificación de los embriones se tomó el criterio descrito por Lindner y Wright (1983) y con apoyo de los códigos de calidad morfológica numérica de acuerdo al Manual de IETS (Stringfellow y Givens, 2011).

Transferencia de embriones y diagnóstico de gestación. El proceso para la transferencia de embriones se llevó a cabo de modo quirúrgico por laparotomía, se anestesió y sedo a las receptoras, de la misma forma que a las donantes, para posteriormente realizar una incisión de 5 cm en la zona abdominal enfrente de la ubre, se ubicaron los órganos reproductores para posteriormente realizar una punción en el tercio superior del cuerno uterino ipsilateral del ovario que contenía uno o más cuerpos lúteos, mediante una pipeta se depositó un embrión por hembra receptora. El diagnóstico de gestación se llevó a cabo a los 35 días posteriores a la transferencia de los embriones, se usó un equipo de ultrasonografía.

Variables categóricas. Peso de las ovejas. El registro de peso de las ovejas utilizadas es la investigación se realizó con el propósito de formar grupos de ovejas de acuerdo al peso corporal. Para este registro se utilizó una báscula marca Nuevo León con capacidad máxima de 500 kg de sistema de pasado de balancines. El registro del peso para realizar la lotificación se realizó en el momento de iniciar con el protocolo de sincronización de las ovejas.

Calificación de la condición corporal. La condición corporal es una medida subjetiva que se toma evaluando a un animal por la palpación de algunas partes del sistema óseo, como columna vertebral, costillas y apófisis (Frutos y Mantecón, 1994).

Para medir la condición corporal en ovinos nos debemos de ubicar atrás del animal, palpar la región lumbar a la altura de los riñones. El pulgar hacia arriba: “cresta del espinazo” (apófisis espinosas) y los cuatro dedos por debajo: “aletas laterales” (apófisis transversa). Determinar con el tacto la agudeza y grado de cobertura de grasa de las apófisis transversas de estas vértebras, como la profundidad de los músculos del lomo y la cobertura grasa de los mismos (Felice, 2013). La condición corporal en las



hembras ovinas usadas en esta investigación se evaluó tomando en cuenta los criterios descritos por Russel *et al.* (1969).

Calificación de la calidad de los embriones. La calidad de los embriones se realizó considerando la metodología propuesta por Gibbons y Cueto (2013).

Variable respuesta. La principal variable respuesta que fue evaluada fue la tasa de gestación, es decir la proporción de hembras (ovejas), que resultaron gestantes posterior al proceso de transferencia de embriones expresado en porcentaje.

Análisis de datos. A las hembras donadoras se les evaluaron variables como peso vivo, condición corporal, número de folículos por ovario y número y calidad de embriones colectados con el objetivo de conocer su estado en el momento de recibir el tratamiento para superovulación y conocer la respuesta de cada grupo. Este análisis de datos se realizó con el uso de estadística descriptiva.

Para realizar el análisis de los datos se desarrollaron pruebas de Chi cuadrado (X^2) y prueba exacta de Fisher, utilizando tablas de contingencia de doble entrada de 2×2 , con el propósito de determinar si existe independencia de variables categóricas diseñadas con la cantidad de ovejas que se sometieron a la técnica de trasplante de embriones y resultaron gestantes o no gestantes. Sin embargo, debido a que en algunas tablas de contingencia no se cumplieron la totalidad de los supuestos para la prueba de X^2 de Pearson, fue necesario utilizar la prueba exacta de Fisher con un 95% de confiabilidad para ambas pruebas.

Resultados y Discusión

El peso promedio de las ovejas donadoras por grupo formado (Dr 4, Dr 6 y Dr 9) indican que aquellas de mayor edad (Grupo Dr 9) presentaron el peso vivo superior de los grupos formados (70 Kg) al momento de realizar los protocolos de superovulación. Por otro lado, el grupo Dr 4, el cual está integrado por las ovejas de edad menor, expresaron el menor peso (53.5 kg) en comparación con el resto de los grupos (Figura 1). La mayor edad de las ovejas del grupo Dr 9, permitió que estas llegaran al peso vivo adulto característico de la raza. Diversos autores han hecho de estudio la nutrición como uno de los principales factores que afectan la supervivencia embrionaria en los rumiantes, como el caso de los ovinos.

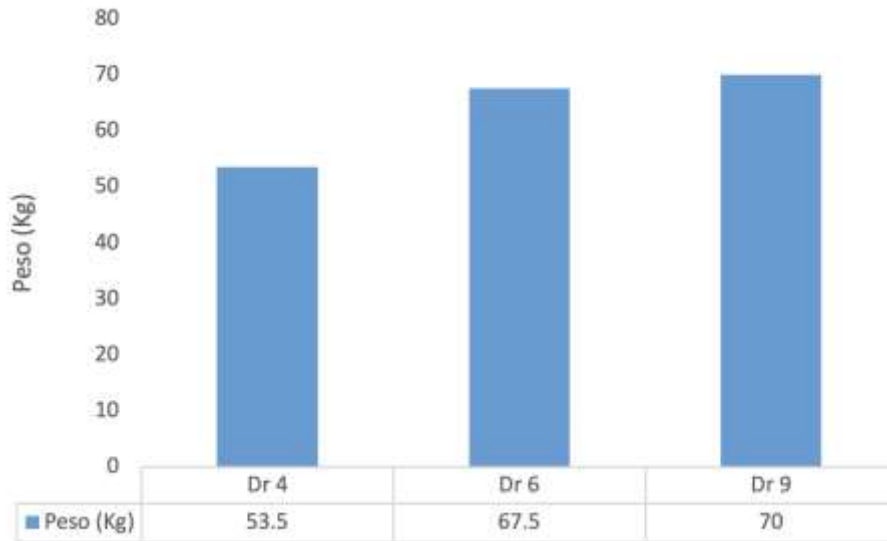


Figura 1. Peso promedio (kg) de los grupos de hembras donadoras.

Mendoza *et al.* (2023) al evaluar la respuesta reproductiva en ovinos al aplicar Acetato de Fluorogestona más Somatotropina Recombinantes bovina o Gonadotropina Criónica equina, en sus resultados mencionaron que las dietas tradicionales, así como el uso de sub productos en las ovejas fue mayor el porcentaje de concepción, así como la proporción de ovejas con partos múltiples.

Para el caso de condición corporal los resultados de los grupos de ovejas donadoras mostraron que aquellas del grupo Dr 4, las de menor edad y de menor peso, presentaron la condición corporal más adecuada (4). Por su parte el grupo de ovejas donadoras que obtuvieron la menor calificación de condición corporal (3), fueron aquellas de mayor edad y de mayor peso (Grupo Dr 9). Lo anterior podría explicarse considerando que el mayor desarrollo de la estructura ósea de las ovejas del Dr 9, les permitió el mayor peso, aunque no precisamente la mayor condición corporal (Figura 2). Estos resultados coinciden con los reportados por Fernández y Formoso (2007) quienes mencionaron que la fertilidad de las ovejas de condición corporal entre 2.25 a 2.75 está estrechamente relacionada con las pérdidas embrionarias con un alto porcentaje de pérdidas embrionarias (22.7%) en ovejas, siendo la subnutrición un problema en los rebaños comerciales donde la alimentación está basada en el pastoreo.

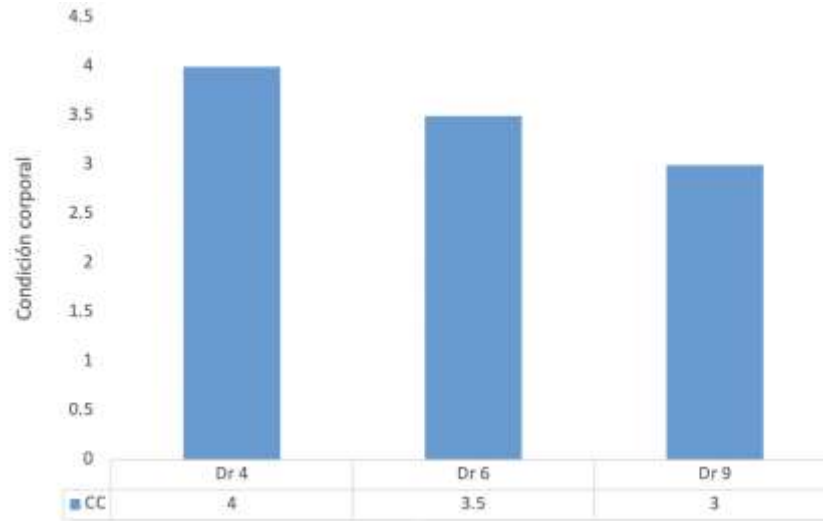


Figura 2. Condición corporal promedio de los grupos de hembras donadoras.

De acuerdo con los grupos formados por edad y por condición corporal, se analizó la respuesta de los grupos de ovejas donadoras hacia el tratamiento de superovulación, y como variable respuesta inicialmente se analiza el número promedio de folículos ováricos presentes en cada ovario y total por ovejas. Los resultados demuestran que las ovejas del grupo BCS 4 y BCS 3.5 respondieron mejor que las ovejas en BCS 3. Como puede observarse en la Figura 8, los grupos BCS 4 y 3.5, produjeron 26 y 27 óvulos respectivamente, mientras que BCS 3 únicamente produjeron 8. Por otro lado, la respuesta al estímulo hormonal fue similar en ambos ovarios para los tres grupos formados como puede observarse (Figura 3). Huamán (2018), inseminó 486 borregas criollas de entre 3 y 5 años de edad, con la finalidad de evaluar la fertilización, preñez y mortalidad embrionaria en función con la condición corporal, concluyendo que estas variables están influenciadas por la condición corporal.

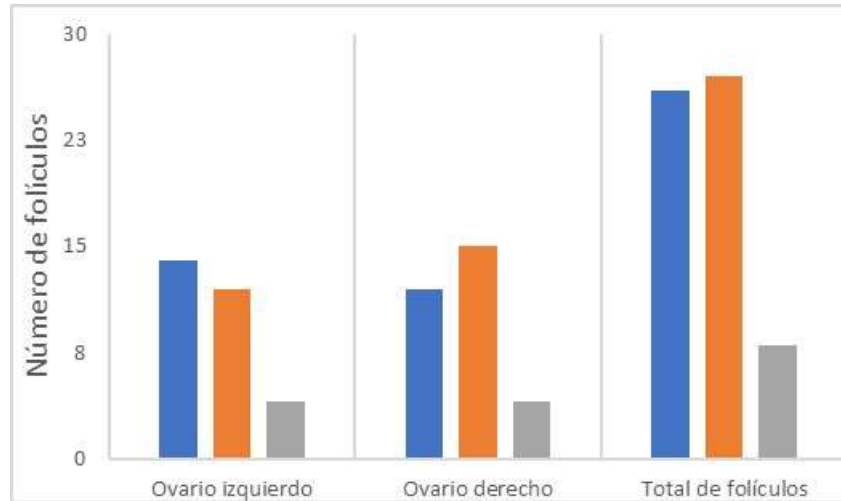


Figura 3. Número de folículos en ovario izquierdo y derecho de ovejas Dorper superovuladas agrupadas por su condición corporal.

La cantidad de embriones de calidad 1 fue mayor en el grupo BCS 4, respecto de resto de los grupos, ya que este produjo 19 de calidad 1, mientras que el grupo BCS 3.5 produjeron 8 y 10 para el BCS 3. Por otro lado, solo se produjeron embriones de calidad 2 en los grupos BCS 3.5 y 3 con una cantidad de 12 y 3 respectivamente (Figura 4).

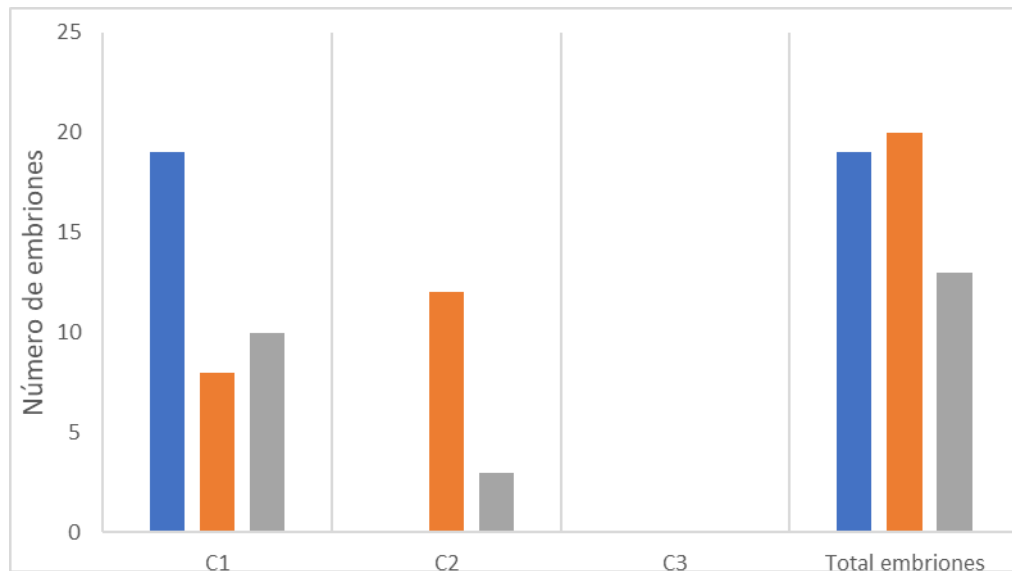


Figura 4. Calidad y número de embriones colectados de ovejas Dorper superovuladas agrupadas por su condición corporal.



Al analizar la relación entre la variable presencia de celo y porcentaje de preñez, se determinó a través de la prueba exacta de Fisher que dado el valor de $p = 0.09834$, se acepta la hipótesis nula, declarando que estas dos variables son independientes (Cuadro 1). Resultados por Farfán *et al.* (2009) donde evaluaron el efecto de la duración del tratamiento con acetato de medroxiprogesterona (MAP) sobre la sincronización del celo y su fertilidad en ovejas y cabras, concluyeron que los tratamientos cortos, aunque logran una menor presentación de celos, son más fértiles que los presentados por hembras sometidas a tratamientos de larga duración.

Los resultados obtenidos demuestran que las ovejas receptoras que presentaron celo durante el proceso de sincronización estral, lograron una mayor cantidad de ovejas gestantes respecto a aquellas ovejas que no presentaron signos de celo (Figura 5). La relación entre estas dos variables es independiente.

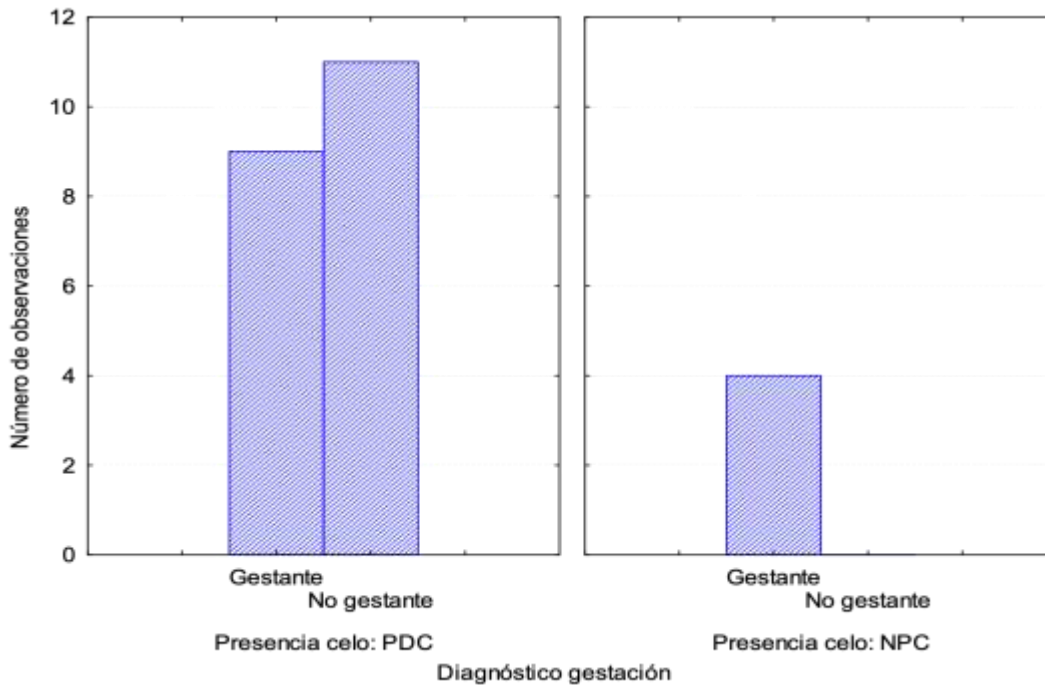


Figura 5. Cantidad de ovejas receptoras que presentaron y no presentaron celo y resultaron gestantes después de someterlas a un programa de trasplante de embriones.

Por otro lado, la relación entre la cantidad de cuerpos lúteos presentes en las ovejas receptoras y la cantidad de hembras gestantes resulto independiente, dado el valor de $p = 1.00$ de la prueba exacta de Fisher que indica que la hipótesis nula debe ser aceptada (Cuadro 1).



Cuadro 1. Tabla de contingencia de presencia de celo en ovejas receptoras en un programa de transferencia de embriones y la posibilidad de resultar gestante o no.

		Gestante	No gestante	Total por fila
Presencia de celo (PDC)	Frecc Observada	9	11	20
	Frecc Esperada	10.83	9.16	
No presencia de celo (NPC)	Frecc Observada	4	0	4
	Frecc Esperada	2.16	1.83	
Total, columna		13	11	24

Prueba exacta de Fisher de dos colas $p = 0.09834$

A pesar de esta independencia, el grupo de ovejas que produjeron un cuerpo lúteo logró la mayor cantidad de ovejas gestantes posterior al proceso de transferencia de embriones ya que de las 17 ovejas que demostraron celo, nueve quedaron gestantes, mientras que de las siete ovejas que no presentaron celo solo cuatro resultaron gestantes (Figura 6).

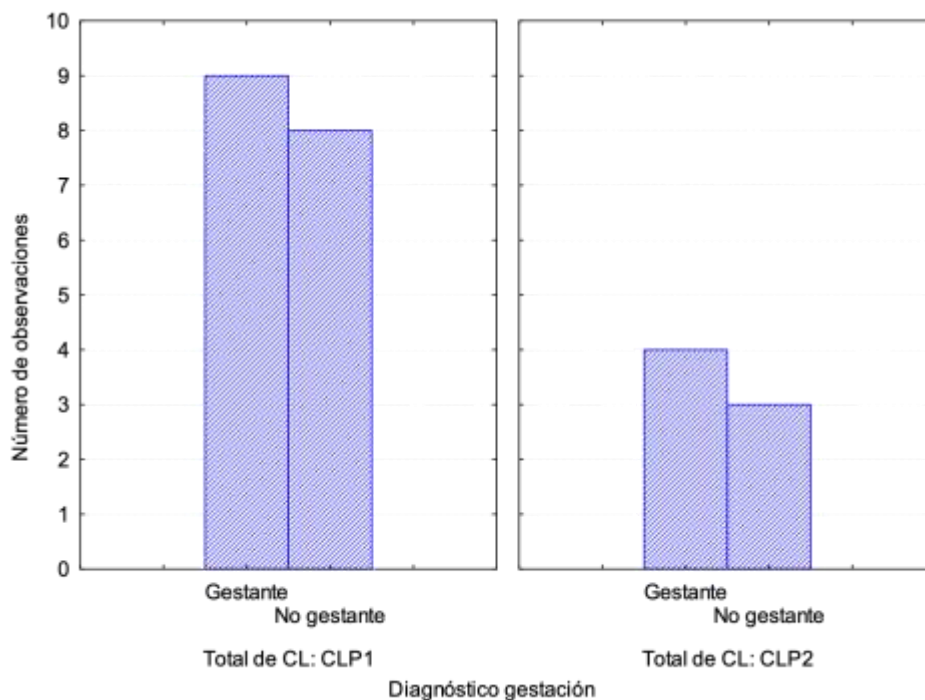


Figura 6. Cantidad de ovejas receptoras que presentaron 1 y 2 cuerpos lúteos y que resultaron gestantes o no gestantes después de someterlas a un programa de trasplante de embriones.



En el caso de las variables número de embriones trasplantados y el porcentaje de gestación, en la Cuadro 2, se pueden observar los resultados obtenidos de la prueba exacta de Fisher, en esta se puede observar inicialmente que el valor de $p = 1.00$, lo anterior trae como consecuencia el tener que aceptar la hipótesis nula planteada para estas dos variables, es decir que no existe asociación entre la cantidad de embriones trasplantados con el porcentaje de preñez de ovejas sometidas a un proceso de trasplante de embriones.

Cuadro 2. Tabla de contingencia de cantidad de cuerpos lúteos en ovejas receptoras en un programa de transferencia de embriones y la posibilidad de resultar gestante o no.

		Gestante	No gestante	Total, por fila
Cuerpos luteos 1 (CLP1)	Frecc Observada	9	8	17
	Frecc Esperada	9.2	7.8	
Cuerpos luteos 2 (CLP2)	Frecc Observada	4	3	7
	Frecc Esperada	3.8	3.2	
Total, columna		13	11	24

Prueba exacta de Fisher de dos colas $p = 1.000$

A pesar de no existir asociación entre la cantidad de embriones depositados en una oveja y su posibilidad de quedar gestante, en la Figura 7 se puede apreciar gráficamente las frecuencias observadas, en la cual se puede apreciar que la mayor cantidad de ovejas gestantes fue representada por el grupo de ovejas que les fue trasplantado un solo embrión.

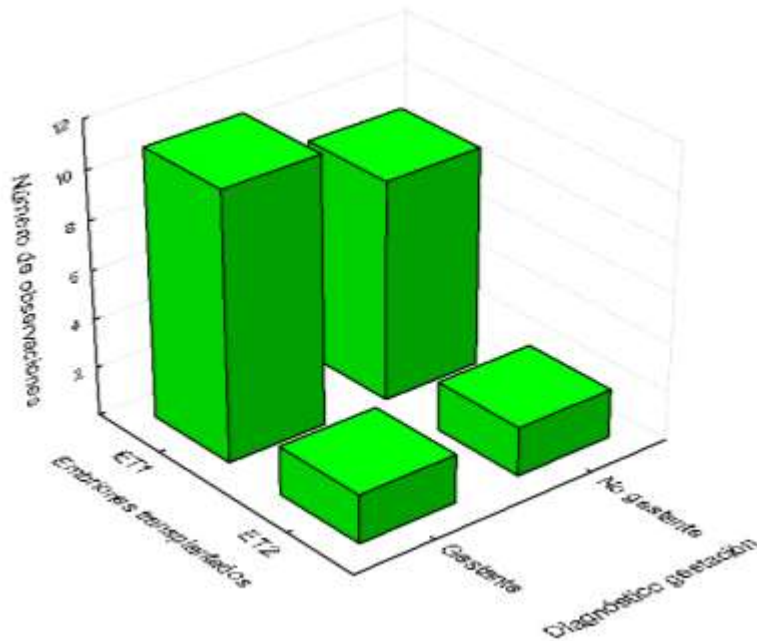


Figura 7. Cantidad de embriones trasplantados a ovejas receptoras y su efecto sobre la posibilidad de quedar gestantes o no.

Para el caso de las variables calidad de embrión y porcentaje de preñez, se utilizó la prueba de Chi cuadrado, esto debido a que los resultados de las frecuencias esperadas y en si la totalidad de la tabla de contingencia cubrió la totalidad de los supuestos para este tipo de prueba. En este par de variables, el resultado de la prueba de X^2 dio como resultado un valor de 4.1958, el cual al buscar este valor calculado con un grado de libertad da un valor de $p = 0.0405$. Este valor de p indica que debe aceptarse la hipótesis alternativa creada para esas variables, es decir que, si existe relación entre la calidad de los embriones trasplantados y el porcentaje de gestación, estas variables no son independientes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de embriones trasplantados a ovejas receptoras y la posibilidad de resultar gestante o no.

		Gestante	No gestante	Total, por fila
E transplantedo 2 (ET2)	Frecc Observada	2	2	4
	Frecc Esperada	2.16	1.84	
E transplantedo 1 (ET1)	Frecc Observada	11	9	20

	Gestante	No gestante	Total, por fila
Frecc Esperada	10.83	9.17	
Total, columna	13	11	24

Prueba exacta de Fisher de dos colas $p = 1.000$

A pesar de no existir asociación entre la cantidad de embriones depositados en una oveja y su posibilidad de quedar gestante, en la Figura 8 se puede apreciar gráficamente las frecuencias observadas, en la cual se puede apreciar que la mayor cantidad de ovejas gestantes fue representada por el grupo de ovejas que les fue trasplantado un solo embrión.

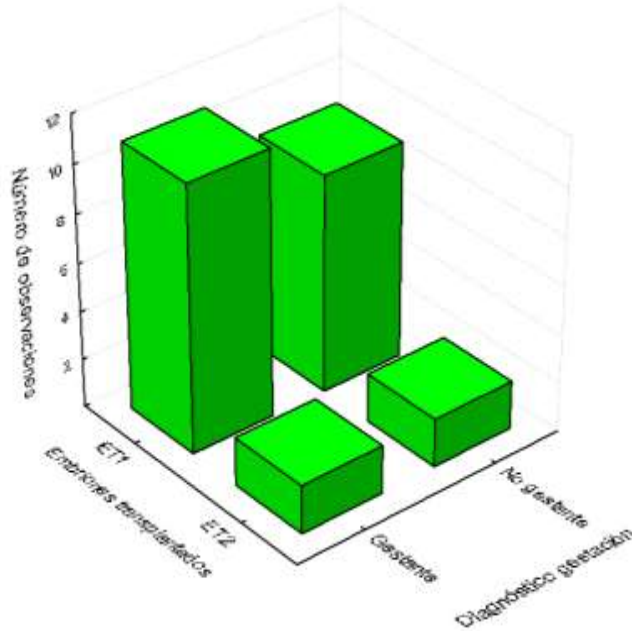


Figura 8. Cantidad de embriones trasplantados a ovejas receptoras y su efecto sobre la posibilidad de quedar gestantes o no.

En la Figura 9, se puede apreciar con claridad que la cantidad de ovejas gestantes fue mayor en el grupo que recibió embriones de calidad 1 (75% de preñez), sin embargo, en el grupo de ovejas que recibieron embriones calidad 2 (de menor calidad), la cantidad de hembras que resultaron no gestantes fue mayor (66% de no preñez), a las que si resultaron gestantes (34% gestantes). Dicho de otra forma, la mayor cantidad de ovejas gestantes recibieron embriones de mejor calidad ($p = 0.0405$). Los resultados obtenidos respecto a la tasa de fertilidad por efecto de la calidad de embrión son superiores a



los reportados por Resendiz-Aguilar *et al.*, (2022), quienes encontraron tasas de fertilidad de 62.5% en ovejas de raza Obispo sometidas a protocolos estándar de sincronización las cuales recibieron indistintamente embriones en calidad C1 y C2. La tasa de gestación menor que ellos reportan podría deberse a que en su evaluación no analizaron por separado a las ovejas que recibieron embriones C1 de aquellas que recibieron embriones C2.

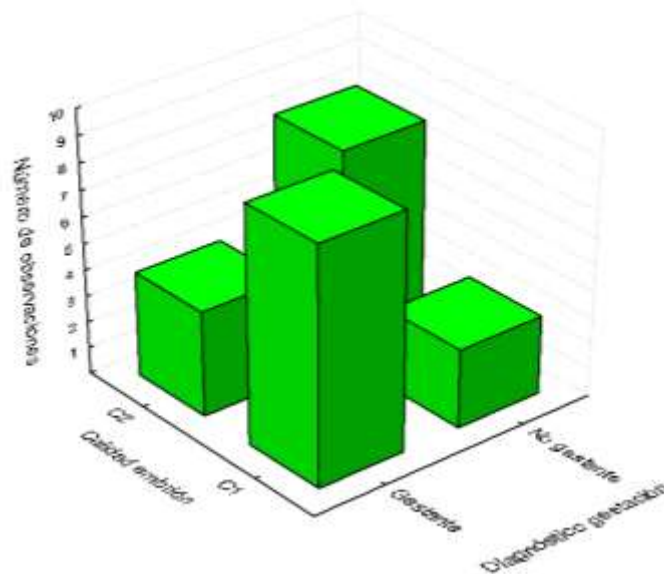


Figura 9. Calidad de embrión trasplantados a ovejas receptoras y su efecto sobre la posibilidad de quedar gestantes o no.

Conclusiones

En este estudio de caso, la calidad del embrión trasplantado tuvo el rol principal como determinante para lograr un mayor porcentaje de ovejas gestantes sometidas a un programa de trasplante de embriones; es preciso decir que no son resultados concluyentes ya que las condiciones en las cuales se desarrolló la investigación fueron particulares y el hecho de lograr una gestación en ovejas a través del trasplante de embriones es un fenómeno multifactorial. Considerar mejorar la calidad de la dieta que reciben las ovejas que fungirán como donadoras o receptoras, a través de estrategias como Flushing pre-empadre, pues quedó demostrado que las ovejas de mejor condición corporal funcionaron mejor. De igual forma, dar preferencia al uso de embriones de calidad 1 en los programas de trasplante de embriones.



Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Pozariquita por las facilidades para desarrollar la presente investigación.

Literatura Citada

- Bari F, Khalid M, Haresign W, Murray A, Merrell B. 2003 Factors affecting the survival of sheep embryos after transfer within a MOET program. *Theriogenology* 59: 1265-1275.
- Bó, G. 2000. Manipulación de la dinámica folicular en ganado bovino: Su aplicación en programas de Transferencia de embriones. II Simposio internacional de reproducción animal. Argentina.
- Farfán, J. A., Forero, J. A., Pardo, N. A., Tovar, F. J., Atuesta, J. E., & Grajales, H. A. 2009. Efecto del tiempo de tratamiento con progestágenos sobre las características del celo sincronizado y su fertilidad en ovinos y caprinos bajo condiciones del trópico de altura Colombiano. *Livest Res Rural Devt*, 21(1), e7.
- Felice, M. (2013). Condición corporal de ovinos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro regional Patagonia norte. Estación experimental agropecuaria Alto Valle. Argentina.
- Fernández Abella D. y Formoso D. 2007. Estudio de la mortalidad embrionaria y fetal en ovinos II: Efecto de la condición corporal y de la dotación sobre las pérdidas embrionarias y fetales. *Producción Ovina*, 2007,19,5–13.
- Frutos P. y Mantecón A. 1994. Condición corporal en el ganado ovino y caprino. Editor Colegio Oficial de Veterinarios de Zamora.
- Gibbons, A., Cueto, M. 2013. Manual de inseminación artificial en la especie ovina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Bariloche, Argentina: Centro Regional Patagonia Norte.



- Hidalgo, O.; Tamargo, M. y Gómez, P. 2006. El propilenglicol mejora los resultados de la transferencia de embriones. Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA). España.
- Huamán Cervantes, S. M. 2018. Condición corporal sobre algunos parámetros reproductivos en borregas criollas del distrito de Lamay, provincia de Calca – cusco. *Revista De Investigaciones*, 7(3). <https://doi.org/10.26788/riepg.v7i3.444>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). 2020. Anuario de estadísticas por entidad federativa. México: INEGI: Datos. www.inegi.org.mx/datos/
- Martínez-González, S., Aguirre-Ortega, J., Gómez-Danés, A., Ruíz-Félix, M., Lemus-Flores, C., Macías-Coronel, H., *et al.* 2010. Tecnología para mejorar la producción ovina en México. *Revista Fuente*, 5, 41–51.
- Lindner, M.G. y Wright, W.R. 1983. Bovine embryo morphology and evaluation. *Theriogenology*. 20:407-416.
- Tribulo, H. 2002. Curso de post-grado en reproducción bovina. Módulo IV. Transferencia de embriones. CGR. Biotecnología reproductiva. Bogotá. Colombia.
- Resendiz-Aguilar, O., Martínez-Rojero, RD., Mejía-Villanueva V.O. y Hernández-Ignacio, J. (2022). Evaluación de dos protocolos para transferencia de embriones en ovejas Obispo de la Montaña de Guerrero, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(1): e2847. DOI: 10.19136/era.a9n1.2847.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M. y Gunn, R.G. 1969. Subjective assessment of fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 72.451-454.



SEFIPLAN (Secretaría de Finanzas y Planeación). 2021. Cuadernillos Municipales 2021. Gobierno del Estado de Veracruz. Disponible en: http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2021/06/TIHUATLÁN_2021.pdf (25/05/2022).

Spell, A.R., Beal, W.E., Corah, L.R., Lamb, G.C. 2001. Evaluating recipient and embryo factors that affect pregnancy rates of embryo transfer in beef cattle. *Theriogenology* 56: 287-297.

Stringfellow, D. A. & Givens, M. D. 2011. Manual of the International Embryo Transfer Society (IETS). 4a edición. Champaign, Illinois. USA. Pp. 165.



FORESTAL





CARACTERIZACIÓN DE ÁRBOLES DEL BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA DEL EJIDO CAPOLUCA, IXTACZOQUITLÁN, VERERACRUZ, MÉXICO

Eliazar Molohua Tzitzihua²⁵⁰, José Luis López Ayala^{250*} y Héctor David Jimeno Sevilla²⁵⁰

Resumen

El Bosque Mesófilo de Montaña (BMM) es un tipo de vegetación relictual presente en áreas montañosas, regiones de relieve accidentado y en laderas de pendiente pronunciada entre los 600 y 3000 msnm. En México cubre menos del 1% del territorio nacional mientras que en el estado de Veracruz es del 10%. Es el ecosistema más amenazado, en nuestro país más del 50% de este bosque ya ha sido transformado en cultivos o asentamientos urbanos. En el ejido Capoluca existe una porción de BMM principalmente en las comunidades de Rincón de Tecolayo (RT) y Zacatla (Z), sin embargo, no hay información puntual sobre las especies de árboles y superficie que actualmente ocupa. El presente trabajo contribuye al conocimiento de la composición y estructura de las especies de árboles (perfiles semirrealistas), el índice de valor de importancia (IVI) de las especies y la cobertura que ocupa mediante análisis geoespacial. Para ello se realizaron recorridos en el área de estudio, se establecieron 5 cuadrantes (2 en RT y 3 en Z) de 20 m x 50 m (1000 m²). Se tomaron las coordenadas de los 5 sitios, altura y diámetro normal de cada árbol, uso del suelo y colectas botánicas para su identificación. Los resultados mostraron un total de 236 especies arbóreas divididas en 21 familias y 24 géneros. De acuerdo a los perfiles semirrealistas hay más variedad de especies en los sitios de RT que los sitios de Z. La especie *Liquidambar styraciflua* obtuvo el valor más alto de IVI con 64 individuos (77.83%), seguido de *Trichospermum mexicanum* 48 individuos (52.38%) y *Croton draco* 35 individuos (28.63%). Para determinar la cobertura del bosque se utilizaron datos cartográficos (climáticos, temperatura, precipitación, suelos y vegetación), imágenes de satélite (2015, 2018 y 2020) tipo ráster sentinel-2 del programa COPERNICUS y el programa QGIS. Los resultados mostraron una reducción

²⁵⁰ Tecnológico Nacional de México campus Zongolica. Ingeniería Forestal. *jose_luis_ayala_114@zongolica.tecnm.mx



de 81.5 ha de BMM de 2018 a 2020, mientras que en el mismo periodo hubo un aumento de áreas agrícolas y urbanización de 200 ha aproximadamente.

Palabras clave: índice de valor de importancia, forestal, cambio climático, SIG

Introducción

México es un país privilegiado por su biodiversidad, ya que ocupa el cuarto lugar después de Brasil, Colombia e Indonesia. Aunque el territorio nacional es tan sólo el 1.4% de la superficie de la Tierra, alberga entre el 10% y el 12% de todas las especies del planeta. (Jiménez *et al.*, 2014). El bosque mesófilo de montaña (BMM) es el más diverso por unidad de área en México cubre menos del 1% del territorio nacional. Dada la fragmentación de este ecosistema, resulta también complicada la determinación de la superficie total que ocupa este tipo de vegetación en el país (Rzedowski, 1996).

Los BMM son los ambientes preferidos para sembrar café, sobre todo el de buena calidad “café de altura”, a la sombra de los árboles del dosel. Los servicios ambientales que prestan en mayor grado son: captura de agua y de carbono, conservación de la biodiversidad y del suelo, formación de abundante materia orgánica, conservación de acervos genéticos, belleza paisajística, filtración de contaminantes del aire, suelo y agua, regulación del clima, mantenimiento de ciclos minerales de gases y agua. Proveen productos forestales como alimentos, medicinas, leña, maderas, fibras naturales y remedios medicinales. También proporciona una serie de atractivos del paisaje como espacios para la recreación (CONABIO, 2014).

Sin embargo, también es el ecosistema más amenazado: en nuestro país más del 50% de este bosque ya ha sido transformado en cultivos o asentamientos urbanos, por lo que más del 60% de las especies arbóreas del BMM (alrededor de 450 especies) ya se encuentran en alguna categoría de riesgo (Guerrero, 2016). Para el estado de Veracruz, los fragmentos de BMM ocupan el 10% de la superficie estatal, seguido del 17% de bosque perturbado, 18% de vegetación secundaria, 18% de zonas urbanas y 37% de potreros (García *et al.*, 2015).

Debido a impactos ambientales negativos resultantes de dinámicas económicas y poblacionales, este tipo de bosque ha experimentado una disminución importante en la superficie ocupada en el estado de



Veracruz. PRONATURA (2008) estimó que dicha pérdida fue del 65% en el periodo de 1990 a 2003, lo que implica una disminución de 14,800 ha en 13 años (de 42,700 a sólo 27,900 ha).

La composición florística, estructura y fisonomía de los BMM mexicanos varía dependiendo de la región donde se encuentra, considerando que la velocidad a la que se ha deteriorado esta comunidad vegetal en los últimos años ha sido excesiva, es urgente que se realicen estudios detallados, sobre todo en áreas poco conocidas (Ruiz *et al.*, 2012).

Por tal motivo el presente trabajo realiza un estudio sobre la composición de la estructura del componente arbóreo del BMM, se determina el índice de valor de importancia (IVI) de las especies y la cobertura vegetal por medio de análisis geoespacial para que los productores del ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Ver. México, cuenten con información que les permita aprovechar de manera sustentable sus recursos, así como su conservación.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde al ejido Capoluca dentro del municipio de Ixtaczoquitlán, Ver., se encuentra a una latitud aproximada de 18°48'16.37" N y longitud 97°01'28.79" W y una elevación de 810 msnm, con una extensión territorial 1,195.29 has (PHINA, 2020). Colinda al norte con el ejido Campo grande y Campo chico; al este con el ejido Tuxpanguillo; al sur con los municipios de Magdalena y Tlilapan; al oeste con el municipio de Rafael Delgado y el ejido Zoquitlan Viejo.

Según el Prontuario de Información Geográfica Municipal (INEGI, 2009), los climas predominantes en la zona son: Semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (98%), semicálido húmedo con lluvias todo el año (1%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (1%), presenta rangos de temperatura de 18°-20°C y precipitaciones anuales de 1900-2600 mm.

El área de estudio se presenta como bosque mesófilo de montaña, al norte se encuentra en contacto con bosque tropical perennifolio y al sureste con pastizal cultivado, la vegetación con mayor porcentaje que se encuentra en el ejido es bosque tropical perennifolio, en menor medida pastizal cultivado, seguido de bosque mesófilo de montaña el cual comprende el área de estudio y último lugar es agricultura de temporal (Inventario Estatal Forestal y de Suelos, 2013)

La población total del municipio en 2020 fue de 74,004 habitantes, siendo 52.2% mujeres y 47.8% hombres. La población de 3 años y más que habla al menos una lengua indígena fue 4,350 personas, lo



que corresponde a 5.88% del total de la población, siendo principalmente la lengua Náhuatl. Las principales actividades económicas son: agrícolas (40%), comercio (30%) y servicios técnicos, profesionales e informales en menor medida (Datamexico, 2022).

Establecimiento de parcelas

Se realizaron recorridos preliminares de campo con personas de las dos comunidades (Rincón de Tecolayo y Zacatla) del ejido para observar y reconocer zonas núcleos donde no existiera la perturbación de la vegetación por las actividades humanas, estos recorridos se llevaron a cabo los días domingos de los meses de septiembre y octubre del año 2020. Debido al poco acceso que se tiene dentro del área se optó por establecer cuadrantes y no parcelas. De acuerdo a Mostacedo y Fredericksen (2000), el establecimiento de cuadrantes es debido a que permiten que los muestreos sean más homogéneos y tienen menos impacto de borde en comparación a los transectos, de esta forma se establecieron 5 cuadrantes de 20 m de ancho y 50 m de largo para aprovechar una mayor superficie, el área muestreada fue de 5000 m², con dos cuadrantes en terrenos de la comunidad de Rincón de Tecolayo y tres en terrenos de la comunidad de Zacatla.

Colecta de información

Se realizaron colecta de ejemplares arbóreos en cada cuadrante muestreado para determinar la especie, preferentemente con flor o fruto, asignando un número de colecta consecutivo, fecha y número de cuadrante. Su identificación se realizó en el Herbario ZON del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, así como en los herbarios virtuales del Jardín botánico de Missouri y del Sistema Nacional de Información sobre la biodiversidad de México.

Para la determinación de composición y estructura arbórea se midieron alturas totales (H), diámetro normal (DN) y diámetro de copa (DC) en individuos a partir de 5 cm de grosor en el tallo. También se incluyó, fecha, número de cuadrante, localidad y coordenadas del cuadrante. Adicionalmente se construyeron diagramas de perfil semirrealista horizontal y vertical de la vegetación arbórea de los cuadrantes (Mostacedo y Fredericksen, 2000)

El Índice de Valor de Importancia (IVI) se calculó con la fórmula $IVI = Ar + Fr + Dr$, donde *Ar* es la abundancia relativa expresada en porcentaje del número de individuos de la especie entre el número total de los individuos de todas las especies del cuadrante, *Fr* es la frecuencia relativa de la especie entre la frecuencia de todas las especies y *Dr* la dominancia de la especie entre la dominancia de todas las especies, ambas también expresadas en porcentaje (Campo y Duval, 2014).



La dinámica de cobertura vegetal se determinó comparando los mapas temáticos de vegetación del municipio (INEGI, 2020) con los realizados mediante análisis geoespacial del área de estudio con imágenes de satélite Sentinel-2 de los años 2015, 2016 y 2021 del programa europeo Copernicus®, combinación de las bandas espectrales 2, 3 y 4 para mapas de color verdadero, reclasificación supervisada dado que se contaba con las coordenadas de los cuadrantes e identificación puntual de elementos en campo (cultivo, casa, caminos, etc.) y reporte estadístico de cobertura empleando la herramienta SCP (Semi automatic Clasification Plugin) del programa libre QGIS versión 3.18.

Resultados y Discusión

Se establecieron cinco parcelas (cuadrantes) con una superficie de 1000 m² cada una (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación de las parcelas de estudio en el ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

Cuadrante	Comunidad	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)
		Latitud Norte	Longitud Oeste	
1	Rincón de Tecolayo	18° 47' 22.26''	97° 1' 53.24''	1097
2	Rincón de Tecolayo	18° 47' 18.14''	97° 1' 55.43''	1129
3	Zacatla	18° 47' 12.48''	97° 1' 52.03''	1205
4	Zacatla	18° 47' 15.50''	97° 1' 50.08''	1182
5	Zacatla	18° 47' 19.62''	97° 1' 48.27''	1151

En el Cuadro 2 se muestran el registro total de 236 árboles distribuidas en 21 familias, 24 géneros y 25 especies. Se destaca la presencia de los géneros *Liquidambar*, *Trichospermum* y *Croton* en la mayoría de los cuadrantes y con presencia en un solo individuo en uno u otro cuadrante de 10 especies entre ellas dos desconocidas. De manera general se determinó que hubo más especies en los cuadrantes de Rincón de Tecolayo que en los cuadrantes de Zacatla.

Las especies dominantes coinciden con los estudios realizados por Luna *et al.* (1988) a pesar de una diferencia de 34 años y en un BMM ubicado en Teocelo, Ver., así como en los estudios de García *et al.* (2008) y Olivares *et al.* (2013) realizados en el centro de Veracruz, lo que indica que el BMM del ejido



Capoluca mantiene una consistencia en su composición de especies dominantes, pero al mismo tiempo una disminución de otras especies.

Cuadro 2. Registro total de especies arbóreas del Bosque Mesófilo de Montaña en las localidades de Rincón de Tecolayo y Zacatla, ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

Nombre común	Familia	Nombre científico	Ejemplares por					Total
			Cuadrante					
			1	2	3	4	5	
Ocozote	<i>Hamamelidaceae</i>	<i>Liquidambar styraciflua</i> L.	20	4	20	1	19	64
Coyolillo	<i>Malvaceae</i>	<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC) Baill.	21	3	2	20	2	48
Sangregrado	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Croton draco</i> Schltldl.		28	2	2	3	35
Tierno	<i>Chloranthaceae</i>	<i>Hedyosmum mexicanum</i> C. 7 Cordem.		3		5		15
Níspero	<i>Rosaceae</i>	<i>Eriobotrya japónica</i> (Thunb.) Lind.						14
Vainillo	<i>Fabaceae</i>	<i>Inga vera</i> Willd.		1	6		3	10
Tehuilt	<i>Primulaceae</i>	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) ex Roem. & Schult.	R.Br. 4	3				7
Naranja	<i>Rutaceae</i>	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbek.		5	1			6
Pocohuite	<i>Hypericaceae</i>	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana	Planch. & 2		2		1	5
Palo blanco	<i>Araliaceae</i>	<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.		3		1		4
Pipitzo	<i>Actinidaceae</i>	<i>Saurauia scabrida</i> Hesml.				1	3	4
Ilite	<i>Betulaceae</i>	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	2	1				3
Desconocido	<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia mexicana</i> Naudin	(Bonpl.)		3			3
Mango	<i>Anacardiaceae</i>	<i>Mangifera indica</i> L.	1	2				3
Ixpepe	<i>Cannabaceae</i>	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume		1	2			3
Jinicuil	<i>Fabaceae</i>	<i>Inga jinicuil</i> Schltldl.		2				2



Nombre común	Familia	Nombre científico	Ejemplares por					
			Cuadrante					Total
			1	2	3	4	5	
Teponastle	<i>Fabaceae</i>	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	2					2
Desconocido	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Alchornea latifolia</i> Sw.			1			1
Desconocido	<i>Malpighiaceae</i>	<i>Bunchosia glandulosa</i> (Cav.) DC.			1			1
Tishuatillo	<i>Clethraceae</i>	<i>Clethra mexicana</i> DC.	1					1
Macadamia	<i>Proteaceae</i>	<i>Macadamia ternifolia</i> F. Muell.	1					1
Pumarosa	<i>Myrtaceae</i>	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston					1	1
Saiba	<i>Apocynaceae</i>	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i> Rose ex J.D.Sm.	1					1
Jonote	<i>Malvaceae</i>	<i>Heliocarpus appendiculatus</i> Turcz.	1					1
Huyavillo	<i>Juglandaceae</i>	<i>Oreomunnea mexicana</i> (Standl.) J.F. Leroy	1					1
Total			74	60	40	30	32	236

Cuando se esquematiza el perfil de uno de los cuadrantes de Rincón de Tecolayo se confirma la diversidad de las especies arbóreas (Figura 1) con respecto a las encontradas en Zacatla (Figura 2). La estructura vertical en la Figura 1 presenta una alternancia de las especies con alturas de 5 m hasta 15 m, mientras que en la estructura horizontal los diámetros normales fueron de 14 cm hasta 60 cm, las copas no se interceptaban, sin embargo, generaban una condición húmeda con respecto a la exposición a cielo abierto. Las especies fueron las siguientes: 1. *Inga jinicuil*, 2. *Liquidambar styraciflua*, 3. *Hedyosmum mexicanum*, 4. *Citrus sinensis*, 5. *Dendropanax arboreus*, 6. *Croton draco*, 7. *Trichospermum mexicanum*, 8. *Tabernaemontana-donnell-smithii*, 9. *Mangifera indica*, 10. *Gliricidia sepium*, 11. *Inga vera*, 12. *Alnus acuminata*, 13. *Myrsine coriacea*, 14. *Trema micrantha*.

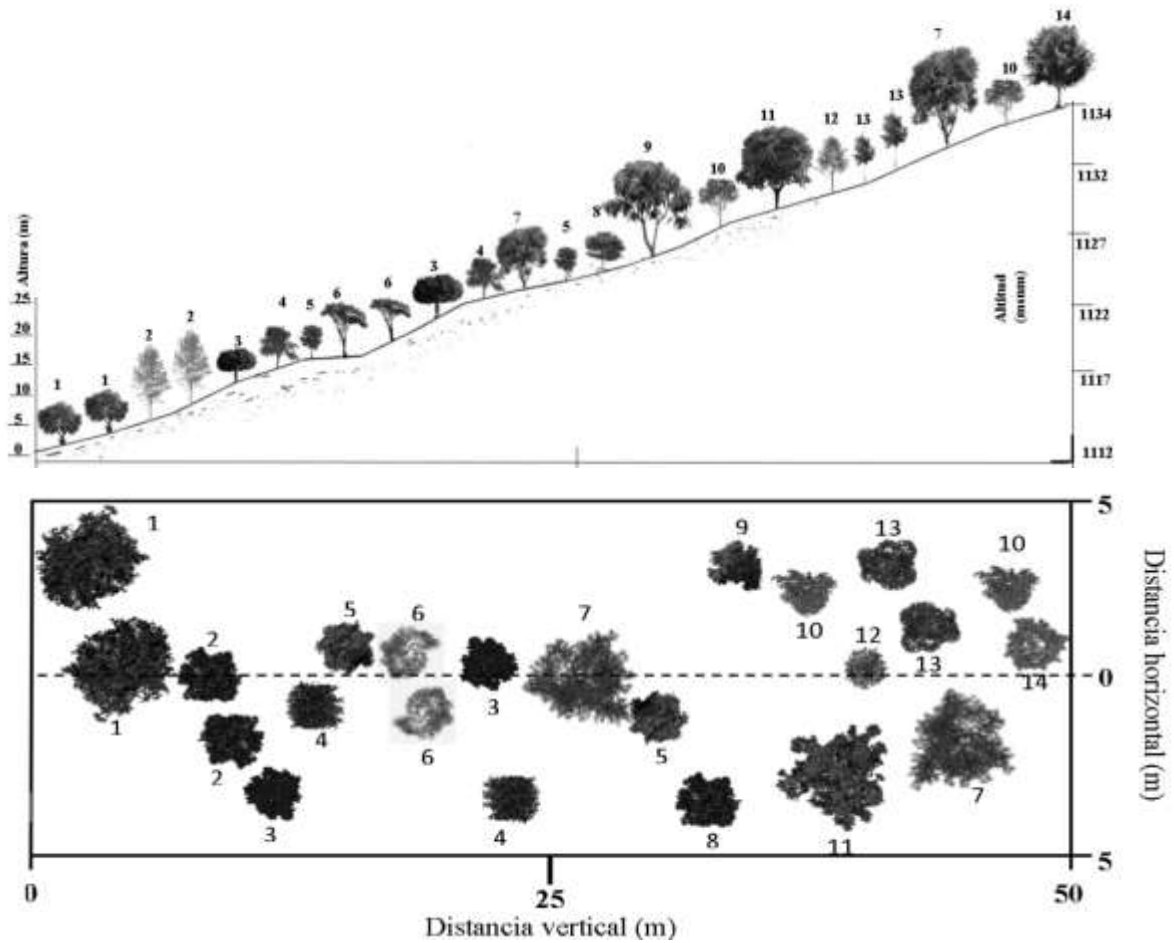


Figura 16. Perfil semirrealista del Bosque Mesófilo de Montaña de la comunidad de Rincón de Tecolayo: A. Estructura vertical; B. Estructura horizontal.

En la Figura 2 se puede apreciar que, aunque el número de especies es menor, las dimensiones en altura y diámetro son ligeramente mayores en promedio (17 m y 35 cm, respectivamente). El dosel es más abierto. Las especies encontradas fueron: 1. *Croton draco*, 2. *Liquidambar styraciflua*, 3. *Inga vera*, 4. *Trichospermum mexicanum*, 5. *Vismia baccifera*, 6. *Syzygium jambos*, 7. *Saurauia scabrida*.

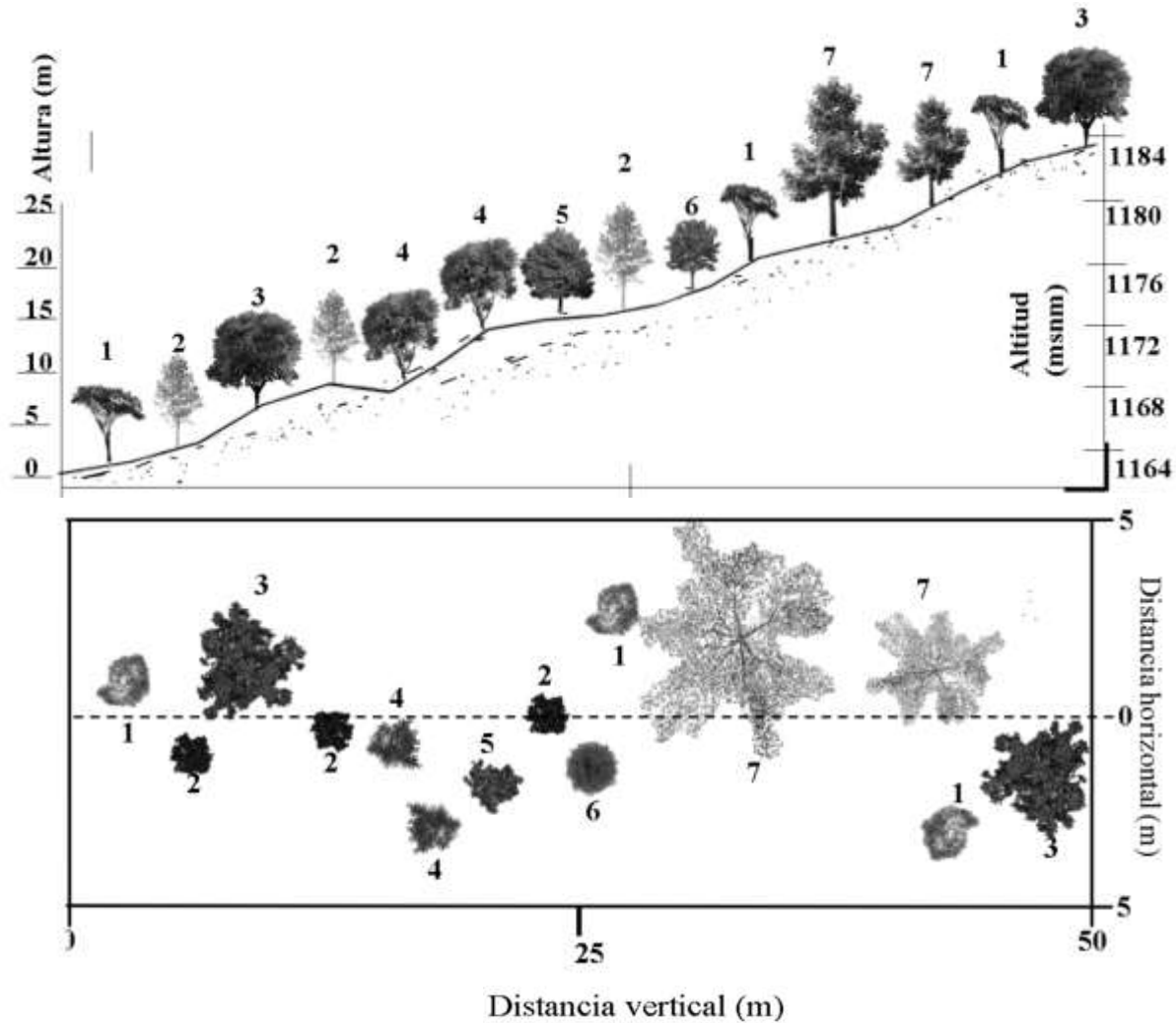


Figura 2. Perfil semirrealista del Bosque Mesófilo de Montaña de la comunidad de Rincón de Zacatla: A. Estructura vertical; B. Estructura horizontal.

Con los valores del IVI se confirmó que efectivamente las especies *Liquidambar*, *Trichospermum* y *Croton* fueron las que mayor presencia tuvieron en los cuadrantes (Figura 3). Esto significa que las especies poseen un patrón regular mientras que las que tienen valores más bajos tienen un patrón irregular y disperso (Verdugo *et al.*, 2022) debido principalmente a las presiones antrópicas por cambio de uso de suelo (Sánchez *et al.*, 2018).

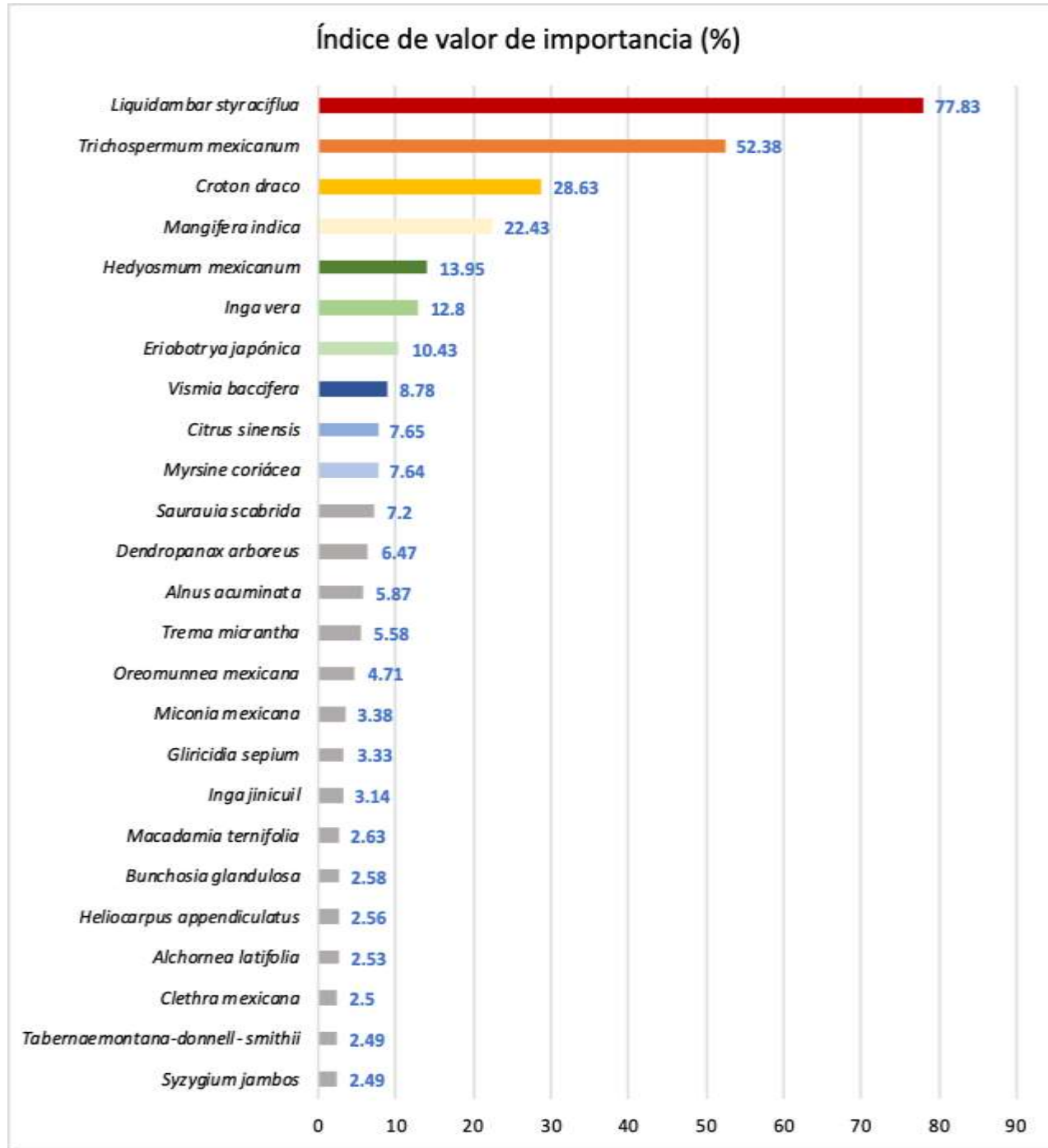


Figura 3. Índice de valor de importancia del Bosque Mesófilo de Montaña del ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

En el caso de la cobertura vegetal se observaron dos escenarios partiendo del año 2015 (Figura 4). En el primero correspondiente al 2018 la reclasificación mostró un incremento en la superficie de la agricultura, principalmente de caña de azúcar y milpa, y la disminución del bosque Mesófilo de

montaña (Figura 6); en el segundo escenario correspondiente al 2020 continuó la disminución de superficie del bosque, sin embargo, lo identificado como agricultura también disminuyó.

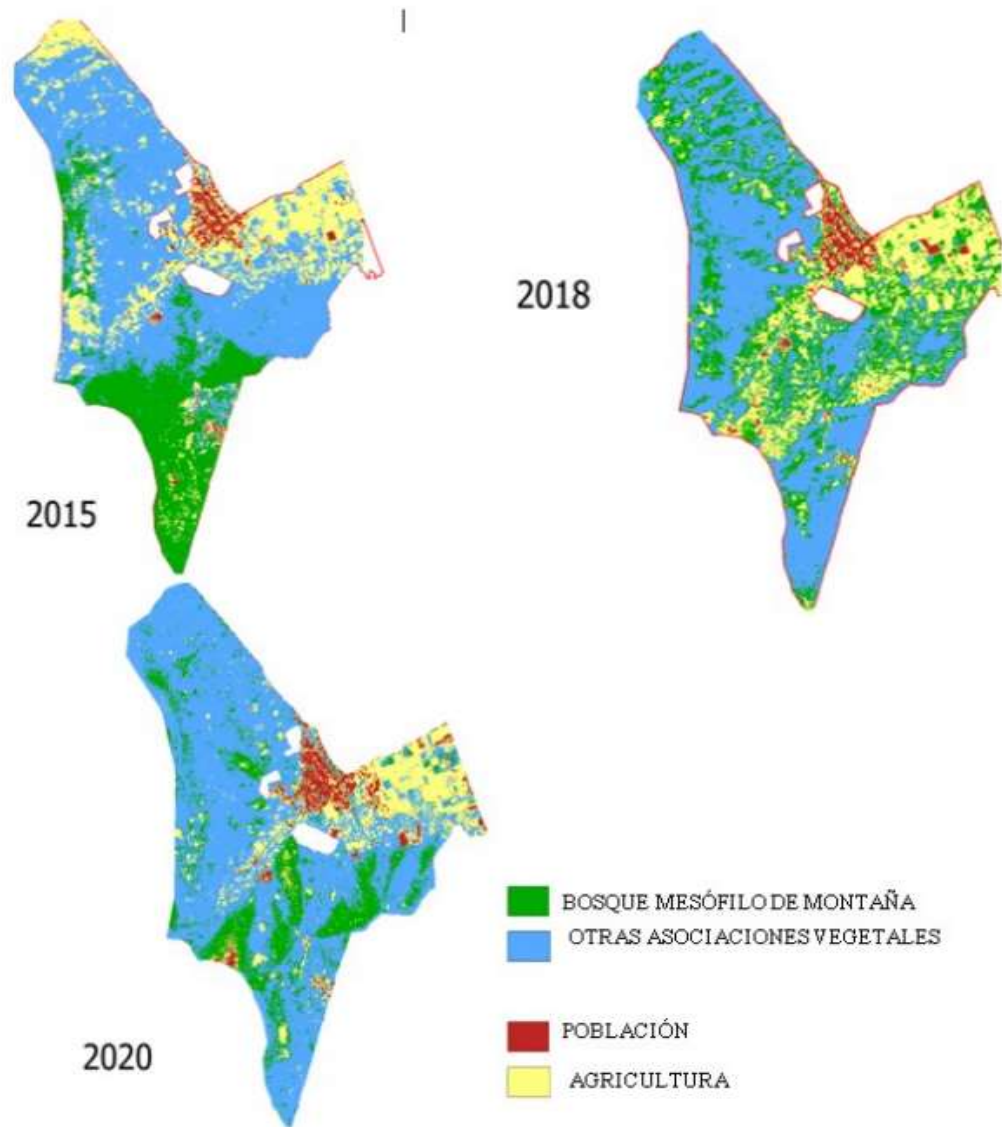


Figura 4. Dinámica de la cobertura vegetal en el ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

En una revisión posterior en campo se constató que lo identificado como “otras asociaciones vegetales” correspondió a comunidades de acahual y cafetales que invadieron los espacios destinados a la agricultura debido posiblemente al confinamiento y suspensión de actividades por la pandemia de COVID 19 y que concuerda con lo descrito por Milla *et al.* (2021) en su estudio del impacto de la



pandemia en las condiciones ambientales. La pérdida de superficie del BMM estimada es de 81.5 ha de 2018 a 2020 mientras que la urbanización avanzó con 17 ha (Figura 5).

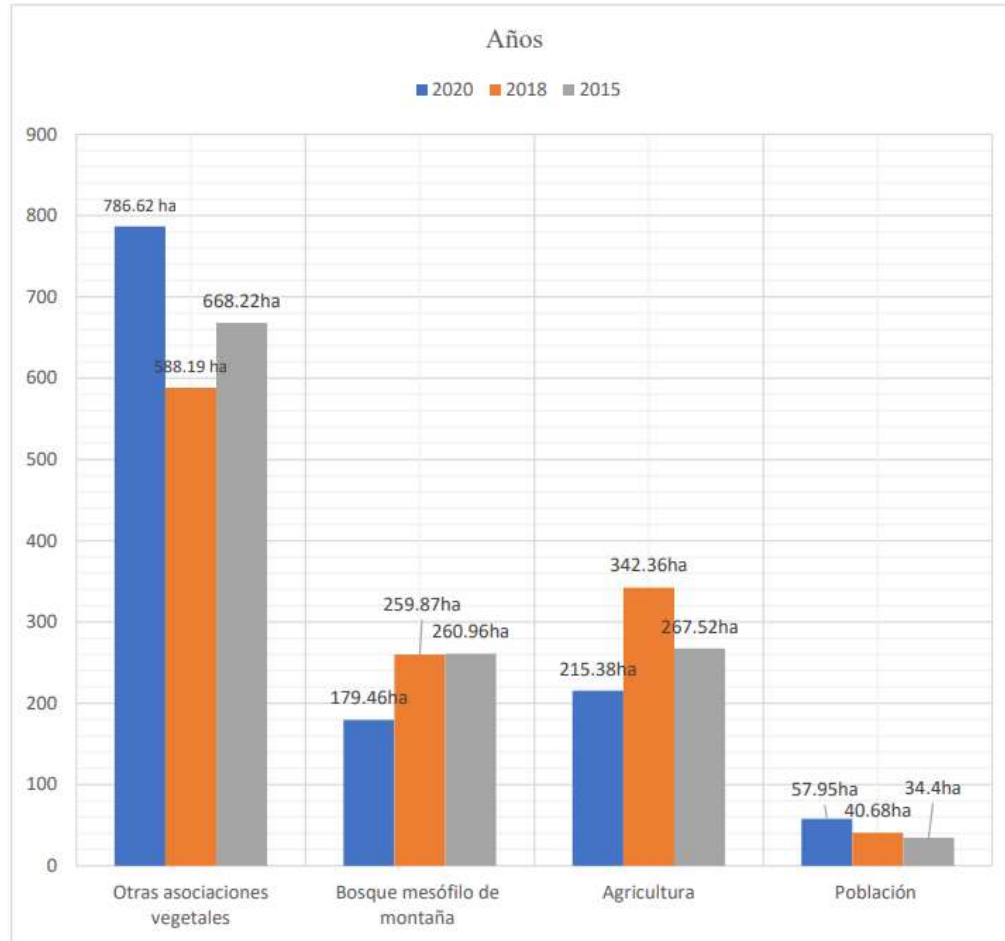


Figura 5. Cuantificación de la cobertura vegetal y asentamientos humanos en el ejido Capoluca, Ixtaczoquitlán, Veracruz, México.

Conclusiones

Se identificó una reducción del BMM de 81.5 ha en el ejido Capoluca de 2028 al 2020 principalmente por cambio de uso de suelo para actividades agrícolas, teniendo especies con un índice de valor de importancia alto a *Liquidambar styraciflua*, *Trichospermum mexicanum* y *Croton draco*, consideradas como uso maderero, combustible (leña) y medicinales por los habitantes del ejido. El número de especies y distribución altitudinal coincide con otros estudios del BMM para el centro del estado de



Veracruz, aunque se observó que las poblaciones del BMM en Rincón de Tecolayo están mejor conservadas y diversas con respecto a las registradas en Zacatla. Es necesario hacer más estudios sobre la dinámica de cobertura vegetal actuales para corroborar un incremento de comunidades vegetales o diferenciación más específica (cafetal, acahual).

Agradecimientos

Al ejido Capoluca y comisariada ejidal Lorena Xotlanihua Sandoval y agente municipal Carolina Jiménez Evaristo, por brindar las facilidades en la realización del proyecto, así como a las personas de las comunidades Rincón de Tecolayo (Sr. Melquiades) y Zacatla (Sr. Onofre y Sr. Emmanuel).

Literatura Citada

Campo, A. M., y V. S. Duval. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural: Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*. 34: 25-42.

CONABIO. 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México D.F., México. 197 p.

Datamexico. 2022. <https://datamexico.org/es/profile/geo/ixtaczoquitlan#population-and-housing> [consultado en marzo de 2022]

García de la C., Y., A. M. Hernández R., J. M. Ramos P. y L. A. Olivares L. 2015. Producción de frutos y semillas de dos especies arbóreas nativas en un bosque mesófilo de montaña de Veracruz, México. *Polibotánica*. 39: 103-118.



Guerrero R., Y. 2016. El “Santuario del bosque de niebla” del INECOL, una estrategia de conservación local, y una aportación importante para la conservación del bosque mesófilo de montaña, y del bienestar humano. Centrosconacyt.Mx. <https://centrosconacyt.mx/objeto/el-santuario-del-bosque-niebla-inecol/> [consultado en marzo 2021)

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Ixtaczoquitlán, Veracruz de Ignacio de la Llave. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/3008_5.pdf [consultado en marzo de 2021]

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=300850006> [consultado en marzo 2021]

Inventario Estatal Forestal y de Suelos, 2013 Veracruz Ignacio de la llave http://187.218.230.30/filesconafor/userfiles/IEFyS/IEFYS_Veracruz_2013/IEFYS_Veracruz_2013.pdf

Jiménez S., C. L., J. Sosa R., P. Cortés C., P. Solís C., L. I. Íñiguez D. y A. Ortega R. 2019. México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 60: 16-22.

Luna, I., L. Almeida, L. Villers y L. Lorenzo. 1988. Reconocimiento florístico y consideraciones fitogeográficas del bosque mesófilo de montaña de Teocelo, Veracruz. *Botanical Sciences*, 48: 35-63.

Milla P., M. E., M. M. Torres C. y C. J. Rojas M. 2021. Impacto de la pandemia COVID 19 en las condiciones ambientales. *Revista de investigación agroproducción sustentable*. 5: 20-24.

Mostacedo, B. y T. Fredericksen. 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR. Santa Cruz, Bolivia. 87 p.



Olivares L., L. A. y J. M. Ramos P. 2013. Estructura y composición arbórea de un fragmento de bosque mesófilo de montaña en el estado de Veracruz. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 19: 91-101.

Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA). 2020. Ran.Gob.Mx. <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-deconsulta/phina> [consultado en marzo de 2020]

PRONATURA Veracruz, A. C. 2014. Propuesta para decretar como hábitat crítico el bosque mesófilo de montaña de la Sierra de las Minas, Veracruz.

QGIS. 2020. Licencia por Creative commons. QGIS versión 3.18.

Ruiz J., C. A., O. Téllez V. y I. Luna V. 2012. Clasificación de los bosques mesófilos de montaña de México: afinidades de la flora. *Revista mexicana de biodiversidad*. 83: 110-1144.

Rzedowski J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*. 35: 25-44.

Sánchez R., E.V., B. L. Figueroa R., R. Cuevas G., M. Olvera V., M. A. Muñoz C. y L. Guzmán H. 2018. Dinámica del bosque mesófilo del Centro-Sur del estado de Jalisco, México. *Polibotánica*. 46: 91-118.

Verdugo M., E. G., E. Alanís R., G. Cuéllar R., J. I. Yerena Y., A. Collantes Ch. y J. E. Silva. 2022. Composición, estructura y diversidad arbórea en un gradiente altitudinal de un bosque mesófilo de montaña en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Interciencia*. 47: 218-224.



INFECTIVIDAD Y EFECTIVIDAD DE *Pseudomonas putida* EN LA PRODUCCIÓN DE *Pinus patula* Schl. et Cham.

Luis López Melchor²⁵¹, Gabriela Sánchez Viveros^{251,252*}, Guillermo Rodríguez Rivas²⁵¹, Nadia Martínez Barrientos²⁵²² y Eduardo Hernández Hernández²⁵²

Resumen

La producción de planta forestal de buena calidad de *Pinus patula* durante la fase de vivero es esencial para incrementar una mayor supervivencia en campo. Algunas rizobacterias asociadas a la raíz promueven el desarrollo vegetal. El objetivo fue determinar la infectividad y efectividad de *Pseudomonas putida* en la producción de plántulas de calidad forestal de *P. patula*, con germoplasma de diferente procedencia. Plántulas (12-14 cm) de *P. patula* con dos meses de edad, obtenidas de semillas germinadas de ocho familias de procedencias diferentes, creciendo en una mezcla de peat moss, agrolita y vermiculita (relación 3:1:1), en tubetes (310 cm³); fueron dos veces inoculadas con *P. putida* a la raíz. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tratamientos inoculados y no inoculados. Después de 12 meses, se determinó la infectividad de la bacteria y se calculó índices morfológicos de calidad de plántula. Los resultados muestran que, *P. putida* fue altamente infectiva (1270 x 10⁹ UFC/g) del sistema rizósferico de las ocho familias de *P. patula*. La cercanía entre tratamientos y el inadecuado sistema de riego provocó la contaminación de las plantas testigo, con la bacteria. El Índice de Robustez (IR) y Relación Aérea Radical (RAR) catalogan la calidad forestal de las plantas en media baja para todas las familias. El Índice de Calidad de Dixon (ICD) fue en promedio de 0.4, calificando a las plantas desde alta a media calidad. Al recibir las mismas labores culturales es probable que la calidad de planta obtenida se deba más a la genética de sus progenitores que por la inoculación de la bacteria. *P. putida* estableció simbiosis con *P. patula*, pero no influyó significativamente en la producción de plántulas de calidad; se recomienda dar más atención a las actividades de mantenimiento en la producción de planta en vivero. Al tratarse de planta producida para establecer ensayos de progenie es recomendable seguir evaluando su comportamiento, además de evaluar otros microorganismos promotores del crecimiento.

²⁵¹ Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana. *gabsanchez@uv.mx

²⁵² Posgrado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Veracruzana.



Palabras clave: bacterias, inoculación, PGPR, pino, índices de calidad

Introducción

La producción de planta forestal de muchas especies se maneja en vivero, porque facilita el control de variables como la temperatura, el riego, el estado fitosanitario y el sustrato (NOM 2016). Esta última es de gran importancia, ya que debe poseer buena capacidad de intercambio catiónico, pH adecuado, retención de agua, buen drenaje y comunidades microbianas benéficas para la producción adecuada de plantas de calidad en contenedores (Castro *et al.*, 2019). Entendiendo como planta de calidad forestal como aquella que refleja la integración de multitud de atributos morfológicos y fisiológicos, que le darán la capacidad de sobrevivir a las condiciones del sitio donde se realizará su plantación, lo anterior depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción. A nivel nacional la supervivencia de especies forestales que son llevadas a campo es cercana a 38%, después de un año (Rodríguez, 2008; Sáenz *et al.*, 2014). Las características morfológicas de una plántula pueden considerarse una manifestación física de sus actividades fisiológicas, por lo que determinar la calidad de planta forestal proporciona datos útiles para mejorar la toma de decisiones en la gestión de este y comprender los efectos de las actividades culturales aplicadas, orientar la producción en vivero y contribuir a mejorar la supervivencia en campo o estrés ambiental (Basave *et al.*, 2014). *P. patula* es una especie ampliamente distribuida en México, con potencial para reforestación, agroforestería y plantaciones comerciales maderables por la calidad de su madera y rápido crecimiento; además de presentar una alta diversidad genética y distribución altitudinal 1600 y 3250 msnm, prospera en climas templados a templados cálidos con temperaturas que oscilan de -9,0 a 40°C. Sin embargo, es necesario mejorar el sistema de producción de planta durante la fase de vivero para incrementar la capacidad de supervivencia al llegar a campo; así como el conocimiento sobre las comunidades microbianas que se establecen en su rizosfera que podrían estar influyendo positivamente en la obtención de planta de buena calidad forestal. Las interacciones entre microorganismos rizosféricos y la raíz de las plantas tienen gran importancia en la adaptación y productividad en las especies vegetales a través del tiempo. Diversos estudios ponen en evidencia que algunos grupos de rizobacterias mejoran el crecimiento, la producción y la salud de las plantas. Estos beneficios son por la acción de mecanismos que incluyen la asimilación de nutrientes como la fijación



de nitrógeno, solubilización de fósforo y potasio, y la fitoestimulación mediante la producción de diversas fitohormonas; e indirectamente: afectando el crecimiento de fitopatógenos, activando la inmunidad en las plantas y mejorando los problemas ocasionados por estrés abiótico (Castellano *et al.*, 2020). Géneros bacterianos como *Bacillus* y *Pseudomonas* han sido reportados como promotoras del crecimiento de especies forestales (Angulo *et al.*, 2014). Por lo anterior, se planteó como objetivo determinar la infectividad y efectividad de la bacteria de *P. putida* inoculada en *P. patula* proveniente de germoplasma extraído de árboles plus con distintos orígenes del estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en el vivero forestal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México, con coordenadas 19°31'38N y 96°55'22°, a 1392 msnm y una precipitación promedio anual de 1,790 mm al año (INEGI, 2021).

Material biológico y sustrato

El material biológico consistió en plántulas de *P. patula* con dos meses de edad, una altura de 12-14 cm, obtenidas de semillas de ocho familias de procedencias diferentes y germinadas en tubetes de polietileno rígido (310 cm³), que contenían una mezcla de Peat Moss, agrolita y vermiculita, en una relación 3:1:1. Se utilizó la cepa bacteriana de *P. putida*, proporcionada por el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. La cepa fue identificada molecularmente previamente mediante secuenciación de ADNr 16s (Chiquito *et al.*, 2018).

Montaje del experimento

La fase experimental consistió en colocar dos tratamientos; inoculados y no inoculados (testigo) por familia de procedencia. En las plantas inoculadas se realizaron dos inoculaciones de *P. putida*, al momento del trasplante y a los 180 días después de la primera, con 2 mL de la suspensión bacteriana (10⁶ UFC), a la raíz de las plántulas de *P. patula*, en las primeras horas del día. El inoculo se colocó a dos centímetros de la base del tallo, a una profundidad de 3 cm. El experimento se mantuvo durante 12 meses en el vivero forestal, bajo una malla sombra (70%), sin control de aire y temperatura. Las plantas se regaron cada tercer día con agua corriente y se aplicó un plan de fertilización de NPK en concentraciones de 9-45-15, 20-10-20 y 4-25-35; aplicado por aspersión (3 mL/L), cada cuatro meses,



dos veces por semana y al mismo tiempo se fumigó preventivamente con “Funlate benomilio” y “Tecto 60” con una dosis de 4 g/L.

Determinación de UFC

La determinación de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) de *P. putida* presentes en las raíces de las plantas se realizó al finalizar la fase experimental. Se pesó 1 g de una muestra compuesta de raíz fresca de plantas inoculadas y no inoculadas. Las muestras de raíz fueron colocadas en tubos con 10 mL de solución salina (NaCl al 0.85%), se agitó vigorosamente y se procedió a efectuar diluciones seriadas hasta 10^9 . Finalmente se sembró 0.1 mL de cada dilución en cajas de Petri conteniendo medio de cultivo B-King sólido, se distribuyó con espátula drigalski y se incubaron por 24 h a 26°C (Hernández *et al.*, 2020). El procedimiento se realizó por triplicado. Se realizaron conteos de todas las UFC que crecieron sobre la superficie del medio de cultivo a las 12, 24 y 72 horas de incubación.

Indicadores de calidad de planta

Al final del ciclo de producción (12 meses) de un total de 100 plantas por familia, se calculó el tamaño de muestra para el análisis destructivo y calcular los índices de calidad de planta forestal, utilizando un nivel de confianza del 85% y un margen de error del 15%, resultando un tamaño de muestra de 24 plantas (Rábago y Carrasco, 2023). La calidad de las plantas se obtuvo mediante el cálculo de índice de robustez, índice de calidad de Dixon, relación aérea y radical y índice de lignificación.

Índice de robustez (IR): Se estimó a partir del cociente de la altura (cm) entre el diámetro del cuello de la raíz (mm)

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz}}$$

La Relación parte Aérea y Radical (RAR) es el cociente entre el peso seco aéreo (g) y el peso seco radical (g).

$$RAR = \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}$$

El Índice de calidad de Dickson (ICD) se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total de la planta (g)}}{\left(\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{(Diámetro cuello raíz)}} \right) + \left(\frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{(Peso seco raíz)}} \right)}$$



Para calcular los diferentes índices se midió la altura de la planta desde el cuello de la raíz hasta la yema terminal y el diámetro de tallo se obtuvo con un vernier a un centímetro arriba del cuello (Rueda *et al.*, 2014). La planta se extrajo del tubete, se eliminó todo el sustrato adherido a la raíz, se dividió la parte aérea de la parte radical para su pesado en fresco y se tomó el dato de la longitud de la raíz desde el cuello hasta la cofia. La parte aérea y radical se colocaron, independientemente, en bolsas de papel y se secaron a 65°C durante 72 h. Los pesos secos aéreo (g) y radical (g) se obtuvieron utilizando una balanza granataria analítica de acuerdo con lo recomendado por Bernaola *et al.* (2016).

Diseño experimental y análisis estadístico

Durante la fase experimental los tubetes se colocaron en charolas con capacidad de 54 espaciamientos y fueron suspendidos a 25 cm del suelo sobre una cama de metal. El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar, con dos tratamientos; plantas inoculadas con *P. putida* y sin inocular (testigo), por familia de procedencia. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones con 25 plantas, por lo que en total se tuvieron 75 unidades experimentales, cada una constituida por una planta. Los análisis estadísticos se realizaron con ayuda del programa “estadístico R” versión (R Core Team, 2023) y RStudio 2023.03+386. Se realizó un análisis de normalidad, una ANOVA, una comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), se ejecutó la prueba de Shapiro-Wilk y una correlación de Spearman (Benites, 2022).

Resultados y Discusión

Infectividad de *P. putida*

La cepa bacteriana *P. putida* tuvo la capacidad infectiva para colonizar las ocho familias de diferente procedencia de *P. patula*. La comparación de medias de las UFC de *P. putida* cuantificadas en las raíces de *P. patula* mostró que hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la capacidad de infectividad entre familias por procedencia (Figura 1). Las poblaciones bacterianas más altas ($2,970 \times 10^9$ UFC g^{-1}) se presentaron en las familias 42, 34 y 52, mientras que la familia 33 fue la menos infectada (540×10^9 UFC/g). Algunos reportes sobre el aprovechamiento de rizobacterias, indican que la taza poblacional de células bacterianas presentes en la rizósfera de las plantas depende de los compuestos orgánicos producidos por los exudados radicales de estas, entre los que se encuentran



aminoácidos, ácidos orgánicos, fenoles, fitohormonas (auxinas, giberelinas y citoquininas), azúcares, vitaminas y enzimas (Bashan *et al.*, 2014).

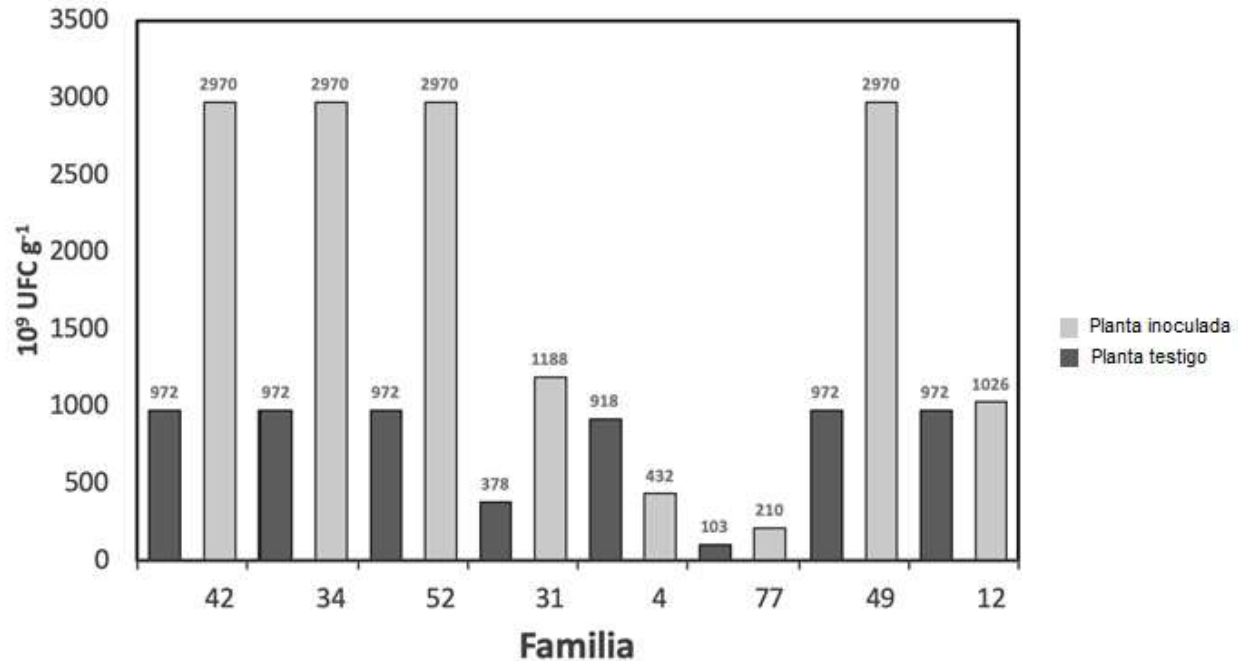


Figura 3. Infectividad de *P. putida* inoculada en el sistema radical de plántulas de *P. patula* proveniente de semillas de familias de árboles plus con diferente procedencia. Las barras indican los valores promedio (n = 6).

Las plantas testigo presentaron colonización por la bacteria, sin embargo, en todos los casos fueron hasta en un 67% menos que en las plantas inoculadas. La presencia de *P. putida* en la raíz de plantas testigo de *P. patula* pudo ser debido a la saltación de partículas del sustrato conteniendo células bacterianas al aplicar con manguera el riego, lo que generó el intercambio de partículas entre tubetes. Se debe considerar espaciar los tratamientos lo suficiente para no generar contaminación entre ellos. Algunos reportes indican que para obtener planta de buena calidad el riego se debe aplicar con base a la demanda hídrica y un programa de fertilización. El éxito en la producción de planta de buena calidad es el manejo adecuado de riego y fertilización, con lo que es posible mejorar los atributos morfo-fisiológicos de las plantas con el fin de aumentar la calidad de estas y asegurar una alta supervivencia en condiciones de campo.



Índices de Calidad

El IR mostró valores superiores a 11 en todas las familias, con lo que califica las plantas como de mala calidad forestal. Estas son plantas demasiado altas con tallos muy delgados por lo que pueden sufrir daños en campo por traumatismo. Además, de mostrar poca tolerancia a la desecación por el viento, escasa supervivencia y no apta para crecer en sitios secos. IR superiores a 6 indica que serán arbolitos altos y delgados, susceptibles a los daños por viento, sequías y heladas, por tanto, no aptos para sitios con limitación de humedad (Sáenz *et al.*, 2014). En este mismo sentido, la RAR obtenidos en las plantas inoculadas y sin inocular de las ocho familias superó el valor sugerido para el índice (\square 2,5), por lo que se considera que las plantas obtenidas presentan mayor biomasa aérea que radical y puede resultar contradictorio para el establecimiento, particularmente cuando la precipitación es escasa en los sitios de plantación (Sáenz *et al.*, 2014).

El ICD se sugiere como el ideal para calificar especies forestales producidas en vivero porque relaciona atributos como la altura, el diámetro y la biomasa (seca y fresca), que contrariamente cuando se evalúan de forma aislada no contribuyen a la predicción en la calidad de las plantas. Los ICD en esta investigación estuvieron en promedio de 0.4 variando entre 0.2 y 0.6 calificando a las plantas desde alta a media calidad forestal, y ninguna fue de calidad mala según los estándares de (Dixon *et al.*, 1960, Bernaola *et al.*, 2016). La familia 42 presentó el ICD más bajo (0.2), catalogada como de calidad forestal media; seguida por las demás familias que son catalogadas de calidad forestal media, excepto la familia 12 inoculadas, que presento un ICD de 0.6 considerándose como calidad forestal alta. Algunas investigaciones señalan que los valores altos representan plantas de mejor calidad, siendo que la planta invierte en su desarrollo y al mismo tiempo tiene un equilibrio entre la parte aérea y la raíz (Bernaola *et al.*, 2016).

El índice de lignificación consistió en determinar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas y, expresa el nivel de pre-acondicionamiento de las plantas donde los valores óptimos de lignina presentes en las coníferas se encontraron entre 25 y 30% (Muñoz *et al.*, 2015). El promedio obtenido en esta investigación fue de 31.7% en todas las familias, siendo este un valor que se encuentra ligeramente por encima del rango de lignificación aceptable (Cuadro, 1).



Cuadro 1. Índices de calidad de planta forestal de *P. patula* inoculado y sin inocular con *P. putida*, después de 12 meses de crecimiento en vivero.

Número de familia	Tratamiento	IR	RAR	ICD	IL
		Valores de referencia			
		□ □ 6	□ 2.5	□ 0.2 = calidad baja 0.2 – 0.5 = calidad media 0.5 = calidad alta	25-30%
42	Testigo	13.6	7.3	0.2	24.2
	Inoculada	15.5	5.0	0.2	28.0
49	Testigo	11.4	4.6	0.3	25.9
	Inoculada	12.8	4.1	0.5	36.2
4	Testigo	14.1	5.3	0.4	30.3
	Inoculada	13.2	5.9	0.4	34.1
12	Testigo	12.7	5.9	0.3	39.0
	Inoculada	11.7	4.9	0.6	31.9
52	Testigo	14.4	5.1	0.3	29.2
	Inoculada	14.4	5.7	0.4	32.6
34	Testigo	11.1	4.6	0.5	31.1
	Inoculada	11.0	4.8	0.5	28.7
77	Testigo	12.0	3.6	0.5	32.4
	Inoculada	12.2	4.6	0.6	38.4
31	Testigo	14.4	4.2	0.4	34.0
	Inoculada	11.4	4.8	0.5	30.8

Se muestra el valor promedio de 24 plantas para Índice de robustez (IR); Relación parte aérea y radical (RAR); Índice de calidad de Dixon (ICD); Índice de lignificación (IL).

El coeficiente de correlación de Spearman mostró que existe una correlación (0.267) entre la infectividad y la calidad forestal de las plantas de *P. patula* reflejado en el ICD; sin embargo, para acercarse a un valor de correlación de 1, considerado el idóneo y para indicar que el lote de plantas tiene calidad alta, se considera necesario incrementar la distancia entre los tubetes de los tratamientos con planta inoculadas y sin inocular, demás de mejorar la técnica de aplicación de los riegos y los tiempos de permanencia de las plantas en el vivero para evitar la competencia entre plantas, el estrés



hídrico y promover no solo la elongación del tallo y evitar el enrollamiento de las raíces. El éxito de un programa de reforestación depende principalmente de la buena calidad de la planta que se produce en el vivero. En consecuencia, los índices de calidad de planta forestal toman utilidad para describir más acertadamente la calidad de planta obtenida en el vivero, por lo que deben ser reportados antes de ser llevadas a campo. Además de ser analizados para mejorar la producción de las plantas en los siguientes ciclos de producción.

Conclusiones

Se concluyó que:

- i) la cepa de *P. putida* inoculada en forma líquida mostró capacidad de infectividad diferencial del sistema radical de las ocho familias de *P. patula*. Adicionalmente,
- ii) se requiere realizar más estudios para corroborar el potencial de las cepas de *P. putida* para su aprovechamiento como agente estimulador de crecimiento durante la producción de planta de *P. patula* de buena calidad, en su fase de vivero. Además,
- iii) es necesario mejorar las prácticas de manejo (aplicación de riego y tiempo de permanencia en el vivero) durante el proceso de producción que permita elevar la calidad de las plantas de *P. patula* en vivero.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por financiar esta investigación. También se reconoce el apoyo y las oportunidades brindadas por la Universidad Veracruzana. Se agradece especialmente al Laboratorio de Química de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas por su colaboración y acceso a sus instalaciones y equipos. Por último, al Dr. César Chiquito Contreras por su orientación y valiosos aportes durante el desarrollo de este estudio.



Literatura Citada

- Andina M. 2018. Introducción a estadística con R. <https://bookdown.org/matiasandina/R-intro/>
- Angulo, V. C., Sanfuentes, E. A., Rodríguez, F. y Sossa, K. E. 2014. Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucaliptus nitens*. *Revista Argentina de Microbiología*. 46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754114700938>
- Basave, E., López, M. A., Cetina, V. M., Aldrete, A. y Almaraz, J. J. 2014. Prácticas culturales en vivero que influyen en la calidad de planta de *Enterolobium cyclocarpum*. *Bosque (Valdivia)*. 35 (3). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002014000300005&script=sci_arttext
- Bashan, Y.; de-Bashan, L. E.; Prabhu, S. R. and Hernández, J. P. 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant Soil*. 378(1):1-33. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Benites, L. 2022. Prueba de Shapiro-Wilk: definición, cómo ejecutarla en SPSS. *Statologos*. <https://statologos.com/prueba-de-shapiro-wilk/>
- Benites, L. 2022. Prueba de Tukey / Procedimiento de Tukey / Diferencia significativa honesta. *Statologos*. <https://statologos.com/prueba-de-tukey-diferencia-significativa-honesta/>
- Bernaola P, Zamora, R. M., Vargas, J. F., Cetina, J. J., Rodríguez, V. M., y Salcedo, E. (2016). Calidad de planta en etapa de vivero de dos especies de pino en sistema Doble-Trasplante. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(33), 74-93. Recuperado en 22 de mayo de 2023. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100074&lng=es&tlng=es.
- Castellanos, O., Velasco, A., Clarenc, A. y Rodríguez, A. (2020). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Tierra latinoamericana*. Vol.38 no.2. extraído de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000300333



Castro, S. L., Aldrete, A., López, J. y Ordaz, V. M. 2019 Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y bosques*. Extraído de: <https://myb.ojs.incol.mx/index.php/myb/article/view/e2521520/2009#:~:text=Dichas%20caracter%C3%ADsticas%20incluyen%20pH%20ligeramente,%2C%201990%20Cabrera%2C1999>).

Cherry Blossom (2023) RStudio. for Windows Mozilla/5.0. extraído de: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

Dickson, A., Leaf, A.L., Hosner, J.F. (1960) Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *Forest Chronicle*, 36, 10-13. <http://dx.doi.org/10.5558/tfc36010-1>

Hernández Montiel, Luis Guillermo, Chiquito Contreras, Roberto Gregorio, Castillo Rocha, Doris Guadalupe, Chiquito Contreras, César Josué, Vidal Hernández, Librado, & Beltrán Morales, Félix Alfredo. 2018. Efecto de microcápsulas de *Pseudomonas putida* sobre crecimiento y rendimiento de pimiento morrón. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (spe20): 4223-4233. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.992>

Hernández, L. G., Murillo, B., Chiquito, C. J., Zuñiga C. E., Ruiz, J. y Chiquito, R. G. 2020. Respuesta morfo-productiva de plantas de pimiento morrón biofertilizadas con *Pseudomonas putida* y dosis reducida de fertilizantes sintéticos en invernadero. <https://www.redalyc.org/journal/573/57364776014/>

INEGI 2021. Aspectos geográficos. Conociendo México: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_30.pdf

Muñoz, H. J., Sáenz, J. T., Coria, V. M., Hernández, J. y Manzanilla, G. E. 2015. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6 (27). <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/282>



Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. 2016
http://sivicoff.cnf.gob.mx/ContenidoPublico/10%20Material%20de%20Consulta/Normatividad%20Vigente/NMX-AA-170-SCFI-2016%20Operacion_%20de_%20viveros%20forestales.pdf

R Core Team 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rábago, M.E. y Carrasco, R.G. 2023, Fórmula para calcular la muestra de poblaciones finitas. *Bioestadístico*. <https://investigacionpediahr.files.wordpress.com/2011/01/formula-para-cc3a1lculo-de-la-muestra-poblaciones-finitas-var-categorica.pdf>

Rueda, A., Benavides, J. D., Saenz, J. T., Muñoz, H. J., Prieto, J. A. y Orozco, G. 2014. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 5 (22) <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/350>

Sáenz, J. T., Muñoz, H. J., Ángel, C. M., Rueda, A. y Hernández, J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 5 (26) https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322014000600008



REGENERACIÓN NATURAL DE *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham., BAJO TRES APERTURAS DEL DOSEL, EN LA ESTACIÓN FORESTAL EXPERIMENTAL ZOQUIAPAN, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

Diana E. García Ricárdez²⁵³, Alejandro Velázquez Martínez^{253*}, Aurelio M. Fierros González²⁵³,
Valentín J. Reyes Hernández²⁵³ y Gil Vera Castillo²⁵⁴

Resumen

Con el objetivo de determinar la influencia que tiene el tamaño de los claros y la intensidad de luz recibida en ellos sobre el establecimiento de la regeneración de *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, se evaluaron diez claros de dosel, se contabilizaron todos los brinzales de *Abies religiosa* encontrados allí, se tomaron variables dasométricas y se midió la intensidad de luz mediante un fotómetro y una cámara de fotografías hemisféricas. Los diez claros considerados se clasificaron en chicos (111.22-320.89 m²), medianos (320.90-530.56 m²) y grandes (530.57-740.23 m²), predominando los claros medianos (6 claros). En total se contabilizaron 332 brinzales, el número de individuos fue mayor en los claros grandes (56 brinzales promedio); la altura (1.42 m), el diámetro (2.86 cm) y la longitud del brote terminal (39.94 cm) resulto mayor en los claros de tamaño mediano; y los claros chicos fueron los que presentaron los brinzales de mayor edad (9 años). En cuanto a la entrada de luz medida con el fotómetro la intensidad fue de menor a mayor, claros chicos (953.20 $\mu\text{mol s m}^2$); claros medianos (1310.52 $\mu\text{mol s m}^2$); claros grandes (1561.30 $\mu\text{mol s m}^2$). Los resultados obtenidos evidenciaron que la disponibilidad de luminosidad favorece la presencia de un mayor número de individuos, sin embargo, el crecimiento de dichos individuos se ve afectado a medida que la apertura de dosel se incrementa, lo que puede estar relacionado con la incidencia de una mayor luminosidad y por ende mayores temperaturas hacia el sotobosque.

Palabras clave: claros de dosel, regeneración, oyamel, luminosidad, características dasométricas

²⁵³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Ciencias Forestales. *alejvela@colpos.mx

²⁵⁴ Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales.



Introducción

Los disturbios naturales tienen un rol ecológico importante en los ecosistemas, ya que modifican la disponibilidad de recursos, favorecen la regeneración natural, modifican la estructura y la composición de especies, benefician el reciclaje de nutrientes e influyen en el mantenimiento de la diversidad de especies (Kimmins, 2011). Los disturbios pueden ser de diferentes intensidades, tamaños y frecuencias (Turner, 2010), los de mayor escala tienen un impacto mayor en el ecosistema, aunque éstos se presentan con menor frecuencia. Las perturbaciones, originan la formación de claros o aperturas en el dosel, lo que tiene un impacto directo sobre la dinámica de la vegetación que crece en el sotobosque, incluyendo la regeneración de las especies arbóreas. La hipótesis planteada fue que la dimensión de los claros tiene una influencia en la intensidad de luz que se recibe en los claros y esta a su vez sobre el establecimiento, el contenido de clorofila y nutrientes en brinzales de *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. & Cham. en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. El objetivo del presente estudio fue determinar la influencia que tiene el tamaño de los claros y la intensidad de luz recibida en ellos sobre el establecimiento de la regeneración de *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. & Cham. en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan.

Materiales y Métodos

Área de estudio.

La presente investigación se llevó a cabo en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan (EFEZ). Se ubica en la parte sureste del Parque Nacional Zoquiapan, entre las coordenadas geográficas 19°12'30" de latitud norte y 98°30'00" de longitud oeste, que corresponden a los límites de los Estado de México y Puebla, a una altitud que va de 3,080 a 3,690 m. la EFEZ se ubica en el Eje Neovolcánico Transversal, específicamente en la denominada Sierra Nevada (Blanco, Ceballos, Galindo, Maas, Ptrón, Pescador y Suárez, 1981).

Muestreo

Se empleó el método de transectos altitudinales, los cuales previamente se trazaron con el software QGis Desktop 2.18.2 y GRASS 7.0.5. La separación entre transectos fue de 100 m, la longitud fue



determinada por el tamaño de la EFEZ, con dirección N-S y el ancho fue de 15 m. Para fines del estudio se eligieron únicamente cuatro transectos.

Datos de campo

Se identificaron los puntos centrales en cada claro, para después registrar sus dimensiones. Dentro se registraron todos los brinzales > 0.30 m y hasta 3.0 m altura. Además, se registraron las coordenadas y la elevación con ayuda de un GPS marca Garmin modelo GPSMAP® 62.

Tamaños de claros

Para la estimación del tamaño de cada claro (m^2), se tomaron la longitud del diámetro más corto y la del diámetro más largo; con estas dos longitudes, se obtuvo el radio promedio, posteriormente se aplicó la fórmula del área del círculo $A = \pi r^2$ (Lara, Sánchez & Corral, 2009).

Estimación de disponibilidad de luz

El porcentaje de entrada de luz directa se midió en cada punto de muestreo en los claros del dosel, utilizando un radiómetro/fotómetro marca LI-COR Model LI-189 el cual tiene un sensor marca LI-COR Modelo Quantum LI-Q16516. Las unidades de lectura fueron $\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$ per μA , con un rango de medida de 0-1999 lux y resolución de 0.1 lux. Las mediciones se llevaron a cabo entre las 9 y 11 horas, esto es, cuando la luz es en su mayor porcentaje difusa y los estomas se encuentran abiertos. Las lecturas se realizaron en el centro de cada sitio de muestreo, tomándolas en cada uno de los claros o espacios abiertos (Lectura A) y bajo el dosel (Lectura B).

Además, se capturaron fotografías hemisféricas, con una cámara digital Nikon Coolpix 4500 4 MP, provista de una lente hemisférica “ojo de pescado” Nikon Fisheye Converter FC-E8 0.21x. El equipo fue montado en un trípode a una altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo y nivelado con un nivel torpedo magnético 9”, con una orientación hacia el norte. Se tomaron cinco fotografías en cada claro, una en el centro y cuatro en cada una de las exposiciones. Las tomas se realizaron en días en que el cielo brillaba de forma homogénea (nublado), para evitar la subestimación o sobreestimación de la luz (Jacobson, 2010; Mauro, Lencinas & del Valle, 2014).

El procesamiento y análisis de las fotografías hemisféricas se llevó a cabo con el software Gap Light Analyzer (GLA) versión 2.0.

Variables dasométricas

Para cada brinzal en cada claro se registró la altura total en metros, el diámetro a la base en centímetros, con ayuda de un vernier digital, y se determinó la edad aproximada mediante el conteo de



verticilos (Camarero & Gutiérrez, 2004; Ninot, Batllori, Carrillo, Carreras, Ferre & Gutiérrez, 2008), y por último se midió la longitud del brote terminal en centímetros.

Análisis de la información

Se evaluó la existencia de diferencias significativas para los datos de campo entre la intensidad de luz en el claro respecto al crecimiento en altura total, diámetro de la base, longitud del brote terminal, edad y el número de brinzales por claro. Se aplicó un análisis de correlación de Pearson, cabe mencionar que se muestran únicamente los resultados de correlación significativa moderada positiva y negativa respectivamente, para este procedimiento se utilizaron los paquetes estadísticos InfoStat y Rstudio.

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i}$$

Dónde,

Y_i = i-ésima observación de la variable dependiente (altura total, diámetro de la base, longitud del brote terminal, número de brinzales por sitio).

x_{1i} = i-ésimo valor de la variable regresora Intensidad de luz en el claro ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$).

x_{2i} = i-ésimo valor de la variable regresora área del claro.

x_{3i} = i-ésimo valor de la variable regresora apertura del dosel.

β_0 = parámetro desconocido que representa la ordenada al origen de la recta (indica el valor esperado de Y cuando $x_1=0$, $x_2=0$ y $x_3=0$).

β_1 , β_2 , β_3 = parámetros desconocidos que representan las tasas de cambio en Y frente al cambio unitario de X_1 , X_2 , X_3 , respectivamente.

ϵ_i = término de error aleatorio.

Resultados y Discusión

Características de los claros y estructura de la regeneración

Se evaluaron diez claros de tamaños (Cuadro, 1); éstos se clasificaron en chicos (111.22-320.89 m²), medianos (320.90-530.56 m²) y grandes (530.57-740.23 m²); los claros más comunes fueron los de tamaño mediano (320.90 a 530.56 m²) ya que se ubicaron seis claros en esta categoría (Cuadros 1 y 2).



Cuadro 3. Área estimada de los claros analizados en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, México.

Claro	Diámetro del claro (m)			Área (m ²)
	Mayor	Menor	Promedio	
1	18.20	10.15	7.09	157.81
2	13.40	10.40	5.95	111.22
3	25.00	23.00	12.00	452.39
4	21.50	20.00	10.38	338.16
5	31.40	20.90	13.08	537.07
6	25.80	20.20	11.50	415.48
7	25.40	19.10	11.13	388.82
8	26.00	18.30	11.08	385.33
9	26.40	19.50	11.48	413.67
10	37.00	24.40	15.35	740.23

Existe una gran diversidad en cuanto a los tamaños de claros que se han encontrado en bosques de coníferas; por ejemplo, en un estudio realizado en bosques de pino en el Cofre de Perote, Veracruz, los claros con mayor presencia fueron de 44-88 m² de área (Lara, Sánchez y Corral, 2009). El efecto sobre la regeneración también es variable, ya que, por ejemplo, para *Pinus pseudostrobus* Lindl., se reporta una mayor densidad de regeneración en claros con diámetros de 40 a 70 m y 170 m; mientras que *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Prospera en claros con diámetros de 50 m a 75 m y 140 m; *Pinus tecunumanii* F. Schwerdtf. ex Eguliz & J. P. Perry se favorece en claros con diámetros de 20 m a 30 m y 190 m (Godínez, Rodríguez, Camposeco & López, 2016). *Pinus elliottii* Engelm., presentó mejor crecimiento en claros con ancho de 12 m y 24 m (Rebottaro y Cabrelli, 2011).

Cuadro 4. Distribución y características de los claros muestreados en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México.

Condición de los claros	Descripción
Tamaño de claro (m ²)	Chico (2), Mediano (6), Grande (2)
Altitudes	3211, 3287, 3293 (3), 3297, 3447, 3455, 3474, 3476
Exposiciones	N (4), SE (2), NO (4)

*entre paréntesis se muestra el número de claros en esa categoría.



Se encontró un total de 332 brinzales en 3940.19 m² en los que se realizó el estudio, por lo que en una hectárea se estima la presencia de 843 brinzales. En el Cuadro 3, se muestra el concentrado de resultados dasométricos promedio por claro, en el cual se puede observar que el número de individuos es mayor en los claros grandes, la altura, diámetro y longitud del brote terminal es mayor en los claros medianos y la edad de los brinzales fue mayor en claros de tamaño chico.

Cuadro 5. Características dasométricas promedio de los brinzales evaluados por claro, en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México.

Tamaño	Individuos por claro	Altura (m)	Diámetro basal (cm)	Edad (años)	Longitud del brote terminal (cm)
Chico	6	0.55	0.91	5.33	16.67
Chico	6	1.31	2.23	11.83	16.17
Mediano	9	1.04	2.86	6.00	35.11
Mediano	5	2.48	4.64	8.20	71.20
Grande	75	0.93	1.27	5.64	25.24
Mediano	124	1.05	1.80	7.02	30.91
Mediano	37	1.00	1.70	8.81	20.07
Mediano	12	1.83	3.83	12.92	48.50
Mediano	21	1.10	2.32	8.10	33.86
Grande	37	1.01	2.19	7.97	30.12

En el estudio realizado en un bosque de coníferas en el Cofre de Perote, Veracruz se encontraron en promedio 4430 ± 596 brinzales por hectáreas, de cuales el 95.7% fueron de *Abies religiosa* y 4.3% de *Pinus montezumae* Lamb. (Lara, Sánchez & Corral, 2009). En la EFEZ, se encontraron brinzales únicamente en los claros, y no bajo el dosel, mientras que, en el caso de Cofre de Perote, Veracruz hubo presencia de *Abies religiosa* tanto en claros como en el sotobosque, si bien fue mayor la presencia de regeneración en los claros del dosel (Lara, Sánchez & Corral, 2009).

La presencia de regeneración en los claros no siempre es favorecida para otras especies de *Abies*; por ejemplo, para *Abies veichi* Lindl. En Japón, los claros del dosel, no presentaron presencia de repoblación, aunque todos los brinzales contabilizados fueron en general de mayor porte en los claros que el sotobosque (Narukawa & Yamamoto, 2001). En el caso de *Pinus arizonica* a menor grado de



cobertura (64.5 m^2 y 119.5 m^2) se presenta mayor emergencia de plántulas, sin embargo, se tiene una mayor supervivencia a mayor cobertura (345.0 m^2) (Chacón, Velázquez & Musalem, 1998). En estudios realizados para *Pinus ponderosa*, *Pinus montezumae* y *Pinus hartwegii*, se recomienda la apertura gradual del dosel durante las etapas de establecimiento (Schubert, 1974; Musálem, 1984; Velázquez, Keyes & Zárate, 1985; Velázquez, Musalem, Keyes y Zárate, 1986).

Rebottaro y Cabrelli (2011) reportan entre 2.7 a 8.1 brinzales por m^2 para *Pinus elliottii*. *Pinus arizonica* a menor grado de cobertura (64.5 m^2 y 119.5 m^2) presenta un crecimiento en altura mayor (Chacón, Velázquez y Musalem, 1998). En cambio, *Pinus pinaster*, presenta una mejor y mayor regeneración natural y supervivencia en condiciones de cobertura de dosel cerrado que en condiciones de dosel abierto (Rodríguez & Bravo, 2014). En esta investigación, se contabilizaron en promedio seis brinzales de oyamel en los claros de tamaño chico, 35 en los claros de tamaño mediano y 56 en los claros de tamaño grande (Figura 1).

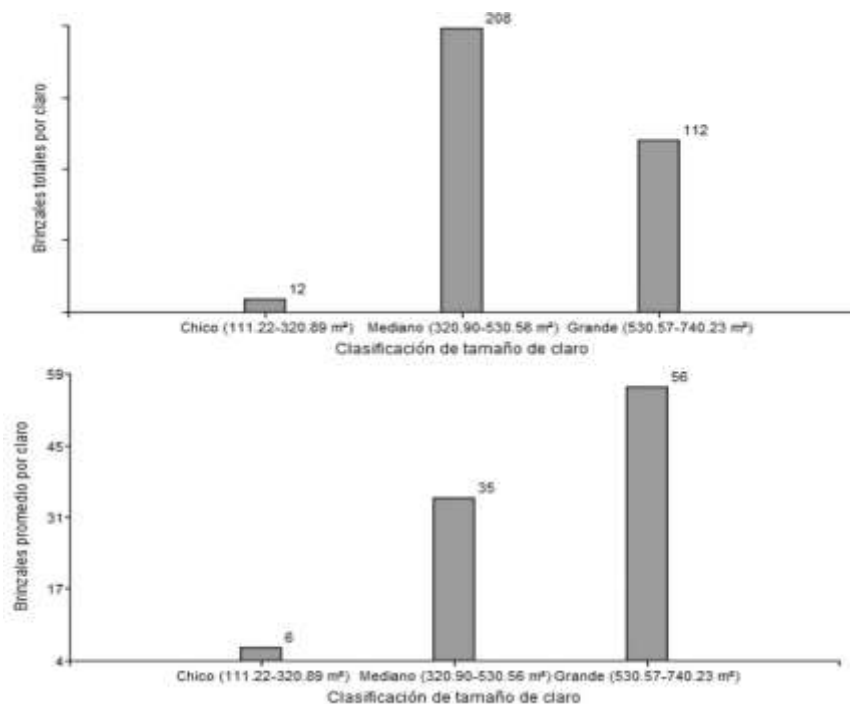


Figura 17. Número total de brinzales y promedio por tamaño de claro en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan, Estado de México.

En esta investigación, se contabilizaron en promedio seis brinzales de oyamel en los claros de tamaño chico, 35 en los claros de tamaño mediano y 56 en los claros de tamaño grande. Los resultados del análisis de correlación se presentan en el Cuadro 4; se muestra solo las que presentan mayor



significancia, ya que las demás correlaciones fueron no significativas ($p > 0.05$). Como se observa, las variables dasométricas se relacionan de manera inversa con la transmitancia y apertura del dosel, a partir de datos obtenidos del procesamiento de las fotografías hemisféricas.

Cuadro 6. Análisis de correlación de Pearson de las variables relacionadas con la estructura dasométricas y área del dosel.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Área claro (m ²)	Transmitancia directa	10	0.67	0.0327
Área claro (m ²)	Transmitancia total	10	0.69	0.0257
Área claro (m ²)	Apertura del dosel	10	0.70	0.0233
Área claro (m ²)	Transmitancia difusa	10	0.71	0.0207
Área claro (m ²)	Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	10	0.85	0.0020
Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Transmitancia directa	10	0.59	0.0706
Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Transmitancia total	10	0.60	0.0686
Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Transmitancia difusa	10	0.60	0.0684
Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	Apertura del dosel	10	0.60	0.0641
Altura (m)	Transmitancia directa	10	-0.58	0.0811
Altura (m)	Transmitancia total	10	-0.56	0.0931
Altura (m)	Transmitancia difusa	10	-0.54	0.1085
Altura (m)	Apertura del dosel	10	-0.51	0.1350
Diámetro (m)	Transmitancia directa	10	-0.52	0.1209
Diámetro (m)	Transmitancia total	10	-0.50	0.1373
Edad (años)	Transmitancia difusa	10	-0.56	0.0917
Edad (años)	Transmitancia total	10	-0.55	0.1010
Edad (años)	Apertura del dosel	10	-0.53	0.1141
Edad (años)	Transmitancia directa	10	-0.53	0.1128

Se observa una relación lineal significativa entre el área del claro y la transmitancia difusa medida a través de las fotografías hemisféricas, así como con la intensidad de luz obtenida con la medición del fotómetro (Cuadro 5).



Cuadro 7. Regresiones lineales simples del área de los claros del dosel y la transmitancia, apertura del dosel y la intensidad lumínica tomada con el fotómetro.

Variable independiente	Variable dependiente	Ecuación	R ²
Área claro	Transmitancia directa	6.41+0.01x	0.45
Área claro	Transmitancia total	10.69+0.03x	0.48
Área claro	Apertura del dosel	13.74+0.05x	0.49
Área claro	Transmitancia difusa	4.28+0.01x	0.51
Área claro	Intensidad lumínica ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	866.65+1.0724x	0.72

Las pendientes de las rectas indican que, en promedio a cada incremento de una unidad en metros del área del claro le corresponde un incremento dentro del 45-49% en la transmitancia directa, difusa y directa; en la apertura del dosel y la luz obtenida de las mediciones del fotómetro (Figura 2).

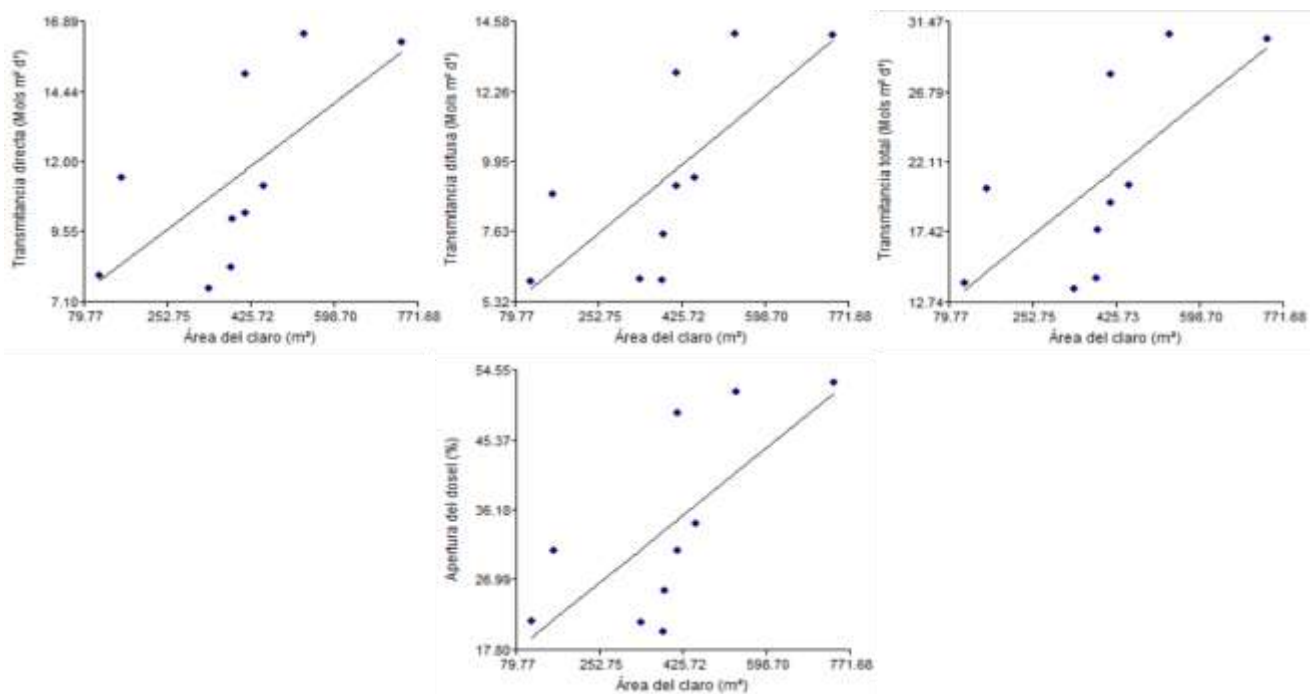


Figura 18. Relaciones lineales simples entre área del claro y parámetros de medición de luz solar.

Las variables dasométricas (altura, edad y diámetro) se relacionan inversamente con la transmitancia directa, difusa y total y la apertura del dosel, sin embargo, el valor de R² es bajo para todos los casos (Cuadro 6).



Cuadro 8. Regresiones lineales simples de las variables obtenidas a partir de las fotografías hemisféricas con las variables dasométricas.

Variable independiente	Variable dependiente	Ecuación	R ²
Apertura del dosel	Altura	-0.02x+1.95	0.26
Apertura del dosel	Edad	-0.10x+11.69	0.28
Transmitancia directa	Altura	2.30-0.09x	0.33
Transmitancia directa	Diámetro	4.41-0.18x	0.27
Transmitancia directa	Edad	12.75-0.40x	0.28
Transmitancia difusa	Altura	2.08-0.09x	0.29
Transmitancia difusa	Edad	12.27-0.43x	0.31
Transmitancia total	Altura	2.19-0.05x	0.31
Transmitancia total	Diámetro	4.19-0.09x	0.25
Transmitancia total	Edad	12.54-0.21x	0.30

La Figura 3, muestra el comportamiento de las regresiones lineales, las cuales son negativas en todos sus casos.

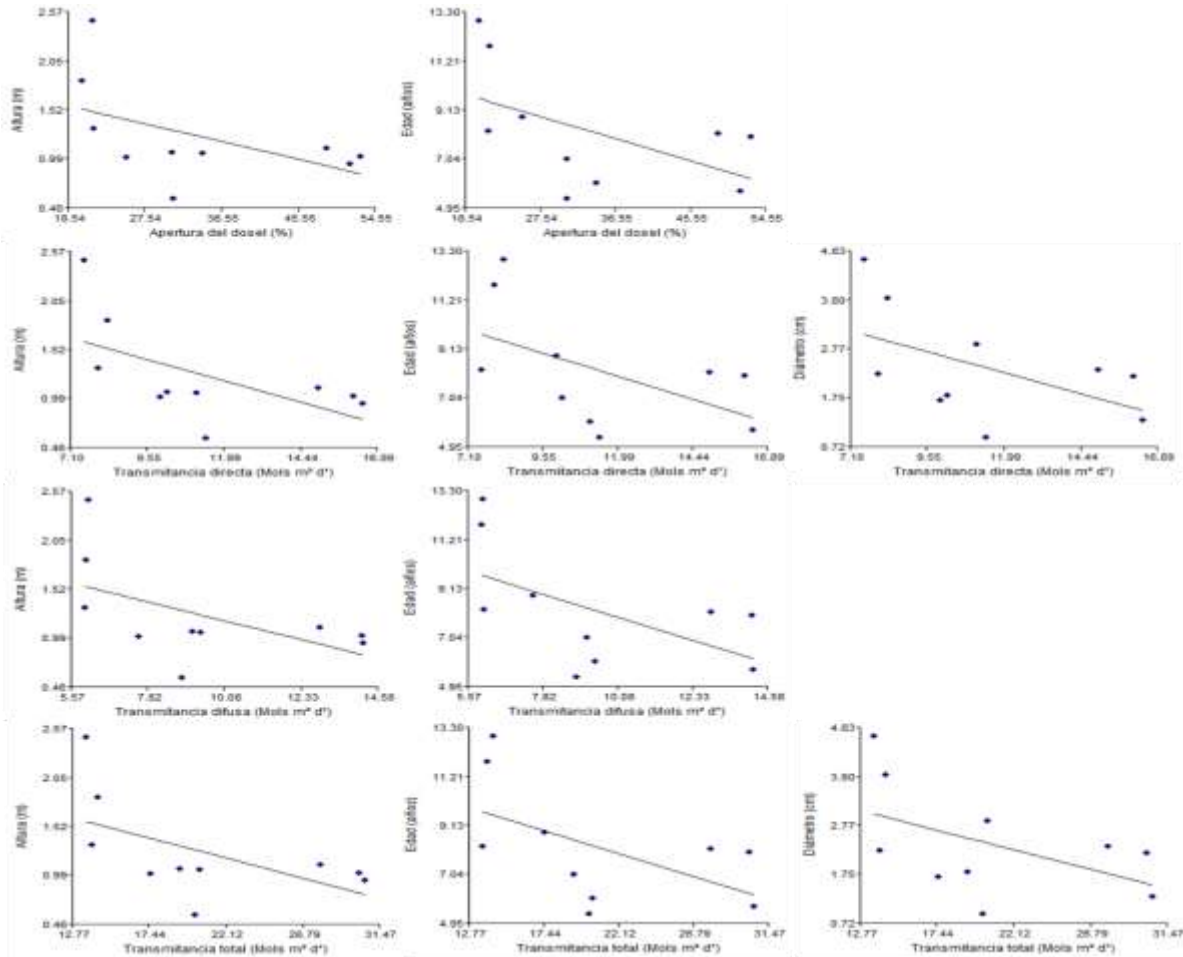


Figura 19. Relaciones lineales simples entre la altura, edad y diámetro de los brinzales y los resultados obtenido del procesamiento de las fotografías hemisféricas.

Como puede observarse el mayor porcentaje de luz es recibido en los claros grandes, después los medianos y al final los chicos (Cuadro 7).

Cuadro 9. Valor promedio (%) de transmitancia directa, difusa y total.

Clasificación de tamaño	Transmitancia (%)		
	Directa	Difusa	Total
Chico	9.71	7.42	17.12
Mediano	11.23	9.32	20.55
Grande	16.30	14.14	30.44



Conclusiones

Las variables estudiadas ofrecen la base para las evaluaciones de las prescripciones silvícolas en los claros estudiados de *Abies religiosa*. los claros pueden ser un factor clave para el establecimiento de la regeneración de *Abies religiosa*.

Si bien las densidades más altas (i.e. número de brinzales) se registraron en los claros de mayor tamaño, los valores promedio de altura, diámetro y longitud del brote terminal de los individuos fueron mayores en los claros de tamaño mediano. Esto indica que, si bien la disponibilidad de luminosidad favorece la presencia de un mayor número de individuos, el crecimiento de dichos individuos se ve afectado por aperturas de dosel mayores, quizás en parte por la incidencia de una mayor luminosidad y por ende mayores temperaturas hacia el sotobosque. Por lo anterior, si un tamaño mediano de claro puede favorecer el crecimiento de los individuos, acorde con los resultados, con intensidades lumínicas alrededor de $1300 \mu\text{mol}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$, puede concluirse que el crecimiento de *Abies religiosa* puede favorecerse con la apertura de claros con estas características. Se propone la gestión de la silvicultura de claros como un elemento importante de la silvicultura general para favorecer a la regeneración de la especie, ya que la formación de claros mejora las condiciones y aumenta la presencia de *Abies religiosa*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los recursos destinados a la realización de esta investigación.

Literatura Citada

Blanco, Z. S., Ceballos, G., Galindo, L. C., Maas, J., Patrón, R., Pescador, A. *et al.* 1981. Ecología de la Estación Experimental Zoquiapan: (descripción general, vegetación y fauna). Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Bosques. Colección de Cuadernos Universitarios: Serie Agronomía No. 2. 114 p.



- Camarero, J. J. y Gutiérrez, E. 2004. Pace and Pattern of Recent Treeline Dynamics: Response of Ecotones to Climatic Variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change*, 63: 181-200. DOI: 10.1023/B:CLIM.0000018507.71343.46
- Chacón, S. J. M., Velásquez, M. A. y Musalem, M. A. 1998. Comportamiento de la Repoblación Natural de *Pinus arizonica* Engelm. Bajo Diferentes Coberturas. *Madera y Bosques*, 4(2): 39-44. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.1998.421358>
- Godínez, S. M., Rodríguez, F. A., Camposeco, J. I. y López, N. P. 2016. Evaluación de la Regeneración Natural de Tres Especies Coníferas en Áreas de Distribución Natural en el Altiplano Occidental de Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 3(1): 5-16. ISSN: 2410-6356.
- Jacobson, R. 2010. *The manual of photography*. 10a ed. Elsevier. Amsterdam. 566p.
- Kimmins, J. P. 2011. *Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management and Environmental Ethics in Forestry*. 3ra. ed. New Jersey, USA: Prentice Hall. 611 p. ISBN 0130662585.
- Lara, G. R., Sanchez, V. L. R. y Corral, A. J. 2009. Regeneration of *Abies religiosa* in Canopy Gaps Versus Understory, Cofre de Perote National Park, Mexico. *Agrociencia*, 43(7): 739-747. ISSN 2521-9766.
- Mauro, D., Lencinas, J. D. y del Valle, H. 2014. Introducción a la fotografía hemisférica en Ciencias Forestales. *Madera y Bosques*, 20(1), 109-117. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201180>
- Musalem, M. A. 1984. Effect of environmental factors on regeneration of *Pinus montezumae* Lamb., in a temperate forest of México. Ph. D. Dissertation. Yale University. New Haven, Conn. EUA. 262 p. DOI: <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.41653>.
- Narukawa, Y. y Yamamoto, S. 2001. Gap Formation, Microsite Variation and the Conifer Seedling Occurrence in a Subalpine Old-growth Forest, Central Japan. *Ecological Research*, 16(4): 617-625. DOI: 10.1046/j.1440-1703.2001.00424.x



- Ninot, J. M., Batllori, E., Carrillo, E., Carreras, J., Ferre, A. y Gutierrez, E. 2008. Timberline Structure and Limited Tree Recruitment in the Catalan Pyrenees. *Plant Ecology and Diversity*, 1(1): 47–57. DOI: 10.1080/17550870802260764.
- Rebottaro, S. L., y Cabrelli, D. A. 2011. Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: Dinámica poblacional durante siete años. *Madera y Bosques*, 17(1), 49-70. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2011.1711154>
- Rodriguez-García, E. y Bravo, F. 2014. Evaluación de la regeneración natural de *Pinus pinaster* en masas del centro de España. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. (40), 183-192. DOI: <https://doi.org/10.31167/csef.v0i40.17350>.
- Schubert, G.H. 1974. Silviculture of southwestern ponderosa pine: the status of our knowledge. U.S. Forest. Service. Gen. Tech. Rep. RM-123. 71 p.
- Turner, M. G. 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, 91: 2833–2849. DOI: <https://doi.org/10.1890/10-0097.1>.
- Velázquez M., A., M.A. Musálem, M.R. Keyes y G.L. Zárate. 1986. Influencia del tratamiento al suelo y la condición de apertura del dosel en el establecimiento inicial de la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lindl. *Agrociencia*, 64: 147- 170.
- Velázquez M., A., M.R. Keyes y G. Zárate 1985. Influencia de la intercepción de la luz solar en el crecimiento de la regeneración artificial de *Pinus hartwegii* Lindl. In: Memoria de la III Reunión Nacional sobre Plantaciones Forestales. Pub. Esp. No. 48. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. pp: 579-594.



MODELACIÓN DEL CRECIMIENTO EN DIÁMETRO DE *Pinus montezumae* Lamb. A PARTIR DE VIRUTAS DE INCREMENTO EN PUEBLA, MÉXICO

Juan Carlos Tamarit Urias^{255*}, Gerónimo Quiñonez Barraza²⁵⁶, Vidal Guerra de la Cruz²⁵⁷ y Jonathan Hernández Ramos²⁵⁸

Resumen

Para la determinación del crecimiento maderable de especies arbóreas con importancia comercial es necesario que se generen herramientas biométricas cuantitativas. Los modelos de crecimiento son la base científica para la planeación del manejo silvícola. El diámetro normal (D_n) del árbol de un determinado taxón es uno de las principales variables que se correlaciona con otras variables del propio árbol y del rodal, por lo que la caracterización de su crecimiento en función de la edad (E) es fundamental. El objetivo fue evaluar la calidad de ajuste de seis modelos de crecimiento para seleccionar el de mejor capacidad predictiva en la modelación del crecimiento en diámetro normal en función de la edad para *Pinus montezumae* en Puebla, México. Se utilizó una base de datos con 294 pares de observaciones con las variables $D_n - E$ obtenidas a partir de virutas de incremento radial colectadas en sitios de 1 000 m² de la Unidad de Manejo Forestal 2103 (Teziutlán). Un análisis preliminar condujo a identificar a seis modelos de crecimiento como candidatos plausibles para modelar el crecimiento en D_n . El ajuste de las funciones se realizó por el método de máxima verosimilitud con información completa. La calidad de ajuste se determinó con base los estadísticos de ajuste R^2_{adj} , RCME, sesgo, logLik y AIC. A tales estadísticos se les aplicó un sistema de calificación relativa y para cada modelo se obtuvo una calificación total. Como criterio de selección adicional, se realizó un análisis gráfico sobre las tendencias de crecimiento estimadas por los modelos con respecto a las trayectorias de crecimiento observadas. El modelo de Hossfeld IV obtuvo la tercer mejor calificación, el mejor comportamiento gráfico y se seleccionó para predecir el crecimiento en diámetro

²⁵⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC). Campo Experimental San Martinito. *tamarit.juan@inifap.gob.mx

²⁵⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Norte Centro (CIRNOC). Campo Experimental Valle del Guadiana.

²⁵⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE). Sitio Experimental Tlaxcala.

²⁵⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE). Campo Experimental Chetumal.



normal. Los estadísticos R^2_{adj} , RCME y sesgo fueron de 0.8328, 4.6649 cm y 0.0525 cm, respectivamente. El $ICA_{m\acute{a}x}$ se presenta a los 15.7 años, con un crecimiento de 1.1 cm año⁻¹; el turno técnico sucede a los 27.5 años ($IMA_{m\acute{a}x}=0.86$ cm año⁻¹ y $D_n=23.8$ cm). La ecuación desarrollada es una herramienta biométrica cuantitativa que puede contribuir a aplicar silvicultura de precisión para la especie en la zona de estudio.

Palabras clave: diámetro normal, modelo de Hossfeld IV, ICA e IMA, tiempos de paso, turno

Introducción

El crecimiento e incremento de los atributos de los árboles con importancia comercial maderable se predice a través de funciones de crecimiento, estos son la base científica tanto para la planificación de alternativas de manejo silvícola como para realizar aprovechamientos sostenibles en el tiempo (Tamarit-Urias *et al.*, 2021); por ello es fundamental disponer de herramientas biométricas cuantitativas para derivar información actualizada y confiables sobre el crecimiento e incremento de las especies forestales de interés y comercial.

Entre los atributos dasométricos, el diámetro normal (diámetro a 1.3 m del suelo) es una de las variables de los árboles más importantes que se registra para tener certeza sobre su tamaño (García-Espinoza *et al.*, 2023), es fácil de medir y tiene correlación alta con otros atributos del árbol y del rodal (Bueno y Bevilacqua, 2013). Por estas razones, es primordial modelarlo en forma adecuada para determinar el crecimiento e incremento y poder tomar decisiones fundamentadas en la planeación y ejecución de prácticas técnico-silvícolas.

Los modelos de crecimiento en diámetro normal de una especie en particular son un componente básico de los sistemas de crecimiento y rendimiento maderable, son útiles para la planeación de la gestión forestal al simular el desarrollo y producción de los rodales bajo diferentes alternativas silvícolas (Xu *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2017). Tales modelos permiten predecir el tiempo mínimo necesario para que los árboles alcancen un determinado diámetro normal para ser cosechados al final del turno comercial (Sánchez-González *et al.*, 2005; Quiñonez *et al.*, 2015).

En México, los modelos referidos son de utilidad práctica para elaborar y ejecutar programas de manejo forestal maderable, ya que permiten determinar en forma objetiva las tasas de crecimiento en



diámetro normal, los incrementos, los tiempos de paso por categoría diamétrica, el turno técnico o bien el ciclo de corta en función de los diámetros deseados para la cosecha final (Tamarit-Urias *et al.*, 2021). Para generar este tipo de modelos se pueden utilizar información del diámetro normal (Dn) y edad (E). Los datos de Dn – E pueden obtenerse a partir de tres técnicas y fuentes de información: (1) red de parcelas permanentes con remediciones en el tiempo, (2) al aplicar la técnica de análisis troncal y, (3) mediante sitios de muestreo para inventario forestal maderable de tipo operativo. En este último, con base en Carrillo (2008), en cada sitio se seleccionan de 3 a 4 árboles dominantes que además sean de la clase diamétrica más frecuente (moda), a estos árboles se les mide el Dn y se les extrae una viruta de incremento radial para determinar la respectiva edad mediante el conteo de los anillos anuales de crecimiento. Esta técnica tiene la ventaja de que el muestreo es no destructivo, porque los árboles seleccionados no se derriban; además, para efectos de estudios del crecimiento en diámetro normal, tiene una precisión similar a la que ofrece la técnica de análisis troncal.

Pinus montezumae Lamb. es un taxón que pertenece al grupo de coníferas con amplia distribución y abundancia en Puebla, México; tiene importancia comercial porque su madera se aprovecha a nivel industrial. Los principales usos de su madera son en la construcción, obtención de chapa, celulosa, papel, durmientes, postes, muebles, duelas y extracción de resina. Los árboles de esta especie alcanzan alturas de 25 a 30 m, el crecimiento va de rápido a moderado en un promedio altitudinal de 2 500 m y 800 mm precipitación anual (Perry, 1991; CONAFOR, 2012a). A pesar de su importancia, son escasos los estudios realizados para generar herramientas biométricas cuantitativas que permitan modelar y predecir con certidumbre el crecimiento e incremento en diámetro normal de este taxón. Por lo anterior, en la presente investigación se planteó el objetivo de evaluar la calidad de ajuste de seis modelos de crecimiento base para seleccionar el de mejor capacidad predictiva en la modelación del crecimiento en diámetro normal en función de la edad para árboles de *Pinus montezumae* en Puebla, México.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la Unidad de Manejo Forestal (UMAFOR) 2103 que pertenece a la región de Teziutlán, la cual se localiza en la parte nororiental del estado de Puebla, México, a 20° 02' 34" - 19° 36' 34" N y 97° 43' 46" - 97° 22' 23" O, pertenece a la región hidrológica de los ríos Tuxpan-Nautla (RH-27) y parte de las cuencas del río Nautla y del río Tecolutla. La altitud promedio es de 2 220 m y



la temperatura media anual fluctúa de 12 a 22°C, presenta diversos tipos de suelos del grupo de Luvisol (CONAFOR, 2012b). El estrato arbóreo se compone principalmente por especies del género *Pinus*, entre las que destaca *P. montezumae*; además, se encuentran taxones de *Quercus* y *Liquidambar* que conforman el tipo de vegetación denominado bosque mesófilo de montaña (Rodríguez-Acosta y Arteaga-Martínez, 2005).

La información dasométrica que se procesó se obtuvo en 90 sitios de muestreo circulares de 1 000 m², levantados en condición de densidad alta en rodales coetáneos de la UMAFOR 2103, en donde *P. montezumae* fue el taxón dominante con al menos el 80% de la abundancia de especies. Para tener una muestra representativa, en cada sitio de muestreo se seleccionaron de 3 a 4 árboles dominantes que se ubicaron en la clase diamétrica más frecuente (Carrillo, 2008); además, se verificó que tales árboles estuvieran sanos, libres de defectos y bien conformados. De esta manera, la muestra cubrió las diferentes categorías de diámetro normal y de altura total, así como las diferentes condiciones de calidad de estación presentes en la zona de estudio. A los árboles seleccionados se les midió el Dn en cm con cinta diamétrica de la firma Forestry Suppliers Inc., modelo 283D/5m-CSE graduada en cm y con precisión al milímetro. La edad de cada ejemplar se determinó como se describe enseguida.

De acuerdo con Hess *et al.* (2018) y Savidge *et al.* (2023), con un taladro de incremento de Presler marca Haglöf, de cada árbol seleccionado se extrajo una viruta de incremento radial a la altura del Dn (1.3 m desde el nivel del suelo) y a una profundidad igual a la mitad del diámetro normal; las virutas fueron cilíndricas de 5 mm de diámetro y longitud variable. Con base en Iqbal *et al.* (2020) y Bakhtina *et al.* (2020) para determinar la edad en años por ejemplar, en cada viruta de incremento se contabilizó desde el centro hasta la periferia el número total de anillos anuales de crecimiento; posteriormente, a la cantidad de anillos resultante se le sumaron 8 años, que corresponde al tiempo promedio que los árboles de esta especie en la zona de estudio requieren para alcanzar la altura de 1.3 m. De esta manera, la muestra se conformó por un total de 294 árboles e igual pares de observaciones de las variables Dn – E, con las que se creó una base de datos, la cual fue auditada gráficamente para corroborar comportamientos lógicos previo al procesamiento estadístico. Las estadísticas descriptivas básicas de las variables analizadas se presentan en el Cuadro 1.



Cuadro 1. Estadísticas descriptivas básicas de las variables Dn – E de *Pinus montezumae* analizadas en la UMAFOR 2103, Puebla.

Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	DE	CV
Diámetro normal (Dn, cm)	294	25.98	11.40	62.30	10.68	41.09
Edad (E, años)	294	35.53	13.00	123.00	21.37	60.14

Dónde: DE es la desviación estándar; CV es el coeficiente de variación.

Para modelar la relación Dn – E se efectuó un análisis preliminar en el que se ajustaron 16 modelos de crecimiento consignados en Kiviste *et al.* (2002), Burkhart y Tomé (2012) y Panik (2013), tal análisis evidenció, con base en criterios de bondad de ajuste, que seis de estos modelos (Cuadro 2) pueden ser candidatos plausibles para modelar el crecimiento en diámetro normal en función de la edad. La estructura matemática general de los modelos es de la forma $Dn_{ij} = f(E_{ij}, \alpha_i) + \varepsilon_{ij}$, con $i=1, \dots, n$; en donde Dn_{ij} es la j -ésima observación del diámetro normal (cm) en el árbol i asumida como la variable respuesta, E_{ij} es la j -ésima observación de la variable explicativa (predictora) que corresponde a la edad en años del árbol i , α_i es el vector de parámetros del modelo, ε_{ij} es el error de la j -ésima observación en el árbol i que se asume independiente y normalmente distribuido con media cero y varianza constante.

Cuadro 2. Modelos de crecimiento base ajustados y evaluados para estimar el diámetro normal de *Pinus montezumae* en la UMAFOR 2103, Puebla.

Modelo de crecimiento	Expresión matemática	Etiqueta
Schumacher	$Dn = \alpha_0 \exp(-\alpha_1 / E)$	M1
Chapman-Richards	$Dn = \alpha_0 [1 - \exp(-\alpha_1 E)]^{\alpha_2}$	M2
Korf	$Dn = \alpha_0 \exp\left(\frac{-\alpha_1}{E^{\alpha_2}}\right)$	M3
Hossfeld I modificado	$Dn = \frac{E^2}{(\alpha_0 + \alpha_1 E)^2}$	M4
Hossfeld IV	$Dn = \frac{\alpha_0}{1 + \exp(\alpha_1 / E^{\alpha_2})}$	M5
Weibull	$Dn = \alpha_0 [1 - \exp(-\alpha_1 E^{\alpha_2})]$	M6

Dónde: α_i son los parámetros a estimar por regresión; \exp es la función exponencial.



El ajuste estadístico se realizó por análisis de regresión utilizando el método de máxima verosimilitud con información completa (FIML por sus siglas en inglés) con el procedimiento Model del programa estadístico SAS/ETS v. 9.3 (SAS Institute Inc. 2011; Tamarit-Urias *et al.*, 2021). Para seleccionar al mejor modelo se consideró la significancia de los parámetros estimados ($p < 0.05$) y se consideraron los valores de los estadísticos de bondad de ajuste: coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), raíz del cuadrado medio del error (RCME), el sesgo, el valor de la verosimilitud (logLik) y el criterio de información de Akaike (AIC), los cuales fueron calculados de la siguiente manera:

$$R^2_{adj} = 1 - (1 - R^2) \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \quad \text{con } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

$$RCME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-p}} \quad \text{Sesgo} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n}$$

$$AIC = 2p + n \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \right)$$

Donde \hat{Y}_i , Y_i y \bar{Y} son los valores estimados, observados y promedios del diámetro normal, respectivamente; n es el número total de observaciones usadas en el ajuste de los modelos, p es el número de parámetros del modelo y \ln es el logaritmo natural.

Para evaluar la calidad de ajuste y apoyar la identificación de los mejores modelos, sobre los estadísticos referidos con base en Tewari y Singh (2018) se aplicó un sistema de calificación relativa que consistió en jerarquizar cada estadístico de cada modelo, asignando valores consecutivos del 1 al 6 en función al orden de importancia (1 correspondió al mejor valor del estadístico y 6 al valor más pobre), por sumatoria de los valores de las calificaciones de los estadísticos se obtuvo una calificación total (CT) para cada modelo, por comparación se identificaron los mejores modelos que fueron los que presentaron el valor más bajo en la CT. Adicionalmente, para contribuir a identificar los mejores modelos, se realizó un análisis gráfico a cerca de la congruencia y realismo biológico que cada uno de los modelos reproduce, a través de la curva promedio de cada uno sobre la tendencia observada de los datos de crecimiento.

Después de seleccionar al mejor modelo, con base en Pretzsch (2009) se aplicó cálculo diferencial para derivar las expresiones respectivas de los diferentes incrementos en la forma siguiente: (1) para el incremento corriente anual (ICA) al modelo se le obtuvo su primera derivada con respecto a la edad; (2) para el ICA máximo ($ICA_{m\acute{a}x}$) se obtuvo la segunda derivada del modelo, se igualó a cero y se resolvió para la edad; (3) para el incremento medio anual (IMA) el modelo se dividió entre la edad y, (4) para el IMA máximo ($IMA_{m\acute{a}x}$) se obtuvo la primera derivada del IMA, se igualó a cero y se



resolvió para la edad. Se determinó el turno técnico que corresponde al $IMA_{m\acute{a}x}$ y es equivalente a la edad en que el ICA e IMA se igualan. Con el modelo seleccionado se graficó la curva de crecimiento promedio en D_n , con los valores calculados de los incrementos se graficó el ICA e IMA respectivo. Adicionalmente, el modelo seleccionado se invirtió para obtener una expresión que permite determinar el tiempo de paso (TP), que corresponde al tiempo promedio en años que al árbol requiere para pasar de una categoría diamétrica inferior a la inmediata superior.

Resultados y Discusión

Todos los parámetros de los seis modelos ajustados fueron significativos (Cuadro 3), por lo que en una primera impresión podría asumirse que todos los modelos son adecuados para utilizarse en la estimación del diámetro normal en función de la edad de *P. montezumae*. Sin embargo, con base en los estadísticos de bondad de ajuste de cada modelo y el resultado del sistema de calificación implementado (Cuadro 4), se observa que los modelos M6, M2 y M5 comparativamente son los mejores para realizar tales predicciones.

Cuadro 3. Valores estimados de los parámetros de los modelos de crecimiento evaluados.

Modelo	Parámetro	Estimado	EE	Valor t	Pr > t *
M1	α_0	60.048650	1.0096	59.48	<0.0001
	α_1	25.348660	0.8792	28.83	<0.0001
M2	α_0	45.938840	0.8487	54.13	<0.0001
	α_1	0.046956	0.0052	8.96	<0.0001
	α_2	2.061518	0.3143	6.56	<0.0001
M3	α_0	59.029850	4.3656	13.52	<0.0001
	α_1	27.381130	11.1634	2.45	0.0147
	α_2	1.029353	0.1462	7.04	<0.0001
M4	α_0	2.330482	0.0873	26.69	<0.0001
	α_1	0.121340	0.0015	83.02	<0.0001
M5	α_0	50.073110	1.7591	28.46	<0.0001



Modelo	Parámetro	Estimado	EE	Valor t	Pr > t *
	α_1	6.417781	0.5404	11.88	<0.0001
	α_2	1.905461	0.1786	10.67	<0.0001
M6	α_0	44.500930	0.6447	69.03	<0.0001
	α_1	0.004209	0.0014	3.11	0.0020
	α_2	1.565335	0.0978	16.01	<0.0001

Donde: EE es el error estándar; *Nivel de probabilidad 5% ($\alpha=0.05$).

Aunque el sistema de calificación indica que el modelo M6 que corresponde al de Weibull es estadísticamente mejor; sin embargo, el análisis gráfico de la tendencia de la curva de crecimiento promedio que describe cada modelo evidencia que este es biológica y comparativamente más conservador. Por su parte, el mismo análisis sugiere que el Modelo M5 tiene un mejor desempeño porque su comportamiento es biológicamente más consistente, razonable y por lo tanto realista en todo el intervalo de edad analizado (Figura 1), principalmente en las edades máximas en donde el diámetro normal tiende a estabilizarse hacia un techo asintótico superior; además, la calidad del sitio en la región de estudio es buena, razón por lo que se considera que tal modelo es el apropiado. Por lo anterior, el modelo M5 que corresponde al de Hossfeld IV se identificó como el de mejor capacidad predictiva y se seleccionó para modelar el crecimiento del Dn en función de la edad para árboles de *P. montezumae* en la zona de estudio.

Cuadro 4. Estadísticos de bondad de ajuste de los modelos de crecimiento evaluados y calificación total (CT) obtenida por cada modelo.

Modelo	R^2_{adj}	RCME	Sesgo	logLik	AIC	CT
M1	0.8268	4.7477	0.0271	-900.91	945.94	18
M2	0.8361	4.6184	0.0378	-892.04	930.20	11
M3	0.8262	4.7551	0.0338	-900.87	947.87	21
M4	0.8219	4.8146	-0.0679	-905.14	954.41	30
M5	0.8328	4.6649	0.0525	-895.07	936.26	16
M6	0.8395	4.5707	0.0556	-888.89	923.91	9

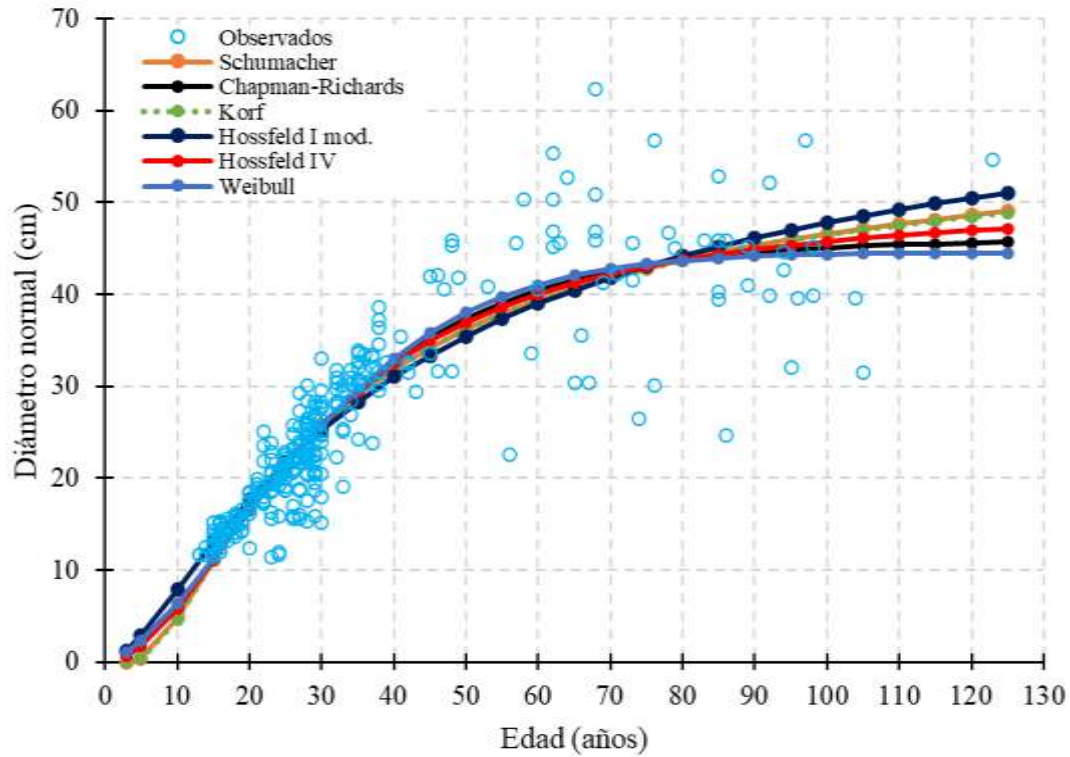


Figura 1. Tendencias de las curvas de crecimiento promedio en diámetro normal para *Pinus montezumae* estimadas con los modelos de crecimiento evaluados y valores observados.

El modelo M5 tuvo el tercer mejor valor en los estadísticos R^2_{adj} , RCME, logLik y AIC, explica el 83.28% de la variabilidad en Dn observada, la precisión media es de 4.66 cm y proporciona una desviación mínima con respecto a los valores observados de 0.05 cm. Además, los tres parámetros (α_i) fueron altamente significativos. Estos atributos ratifican que el modelo de Hossfeld IV es el adecuado para estimar el diámetro normal de los árboles de *P. montezumae*, cuya tendencia de crecimiento promedio y los valores observados se muestran en la figura 2.

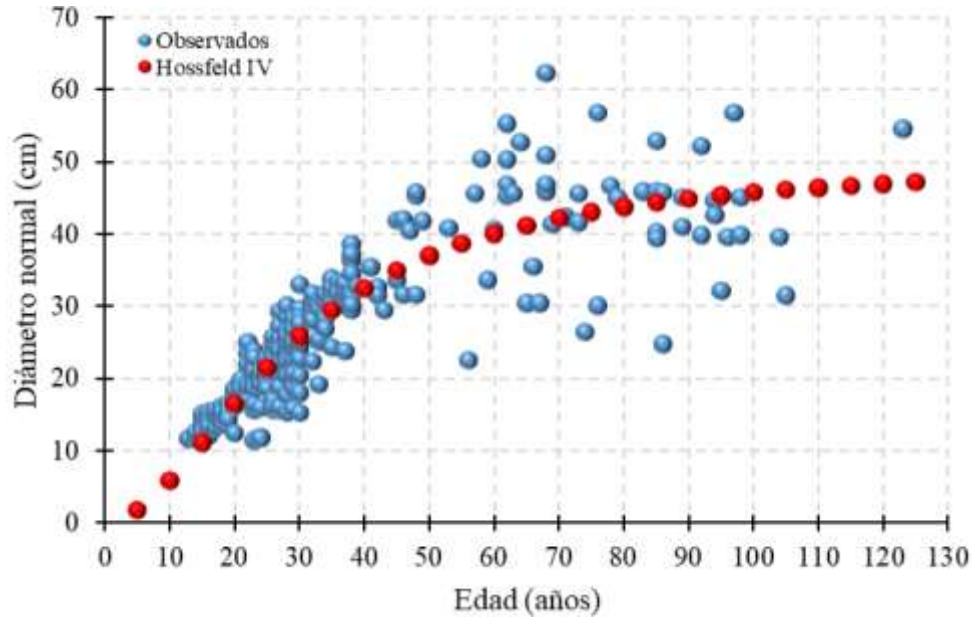


Figura 2. Tendencia de la curva de crecimiento estimada con el modelo de Hossfeld IV y patrón del crecimiento en diámetro normal observado en *Pinus montezumae*.

Las expresiones que se derivaron a partir del modelo M5 para calcular los diferentes incrementos se presentan enseguida.

$$ICA = \frac{\alpha_0 E^{\alpha_2 - 1} \exp(\alpha_1) \alpha_2}{(E^{\alpha_2} - \exp(\alpha_1))^2} \quad \text{Incremento corriente anual (ICA)}$$

$$ICA_{m\acute{a}x} = \exp\left(\frac{\ln\left(\frac{\alpha_2 - 1}{\alpha_2 + 1}\right) + \alpha_1}{\alpha_2}\right) \quad \text{Incremento corriente anual m\acute{a}ximo (ICA}_{m\acute{a}x})$$

$$IMA = \frac{\alpha_0 E^{\alpha_2 - 1}}{E^{\alpha_2} + \exp(\alpha_1)} \quad \text{Incremento medio anual (IMA)}$$

$$IMA_{m\acute{a}x} = \exp\left(\frac{\ln(\exp(\alpha_1) \alpha_2 - \exp(\alpha_1))}{\alpha_2}\right) \quad \text{Incremento medio anual m\acute{a}ximo (IMA}_{m\acute{a}x})$$

Donde todos los componentes se indicaron previamente.

Con tales expresiones se determinó que el $ICA_{m\acute{a}x}$ se presenta a los 15.7 años, con un crecimiento de $1.1 \text{ cm a\~{n}o}^{-1}$ y un Dn de 11.9 cm. El turno t\acute{e}cnico, que corresponde al $IMA_{m\acute{a}x}$ y equivale a la edad en que las curvas del ICA e IMA se cruzan fue estimado que se presenta a los 27.5 a\~{n}os (edad de mayor crecimiento en Dn) con un incremento de $0.86 \text{ cm a\~{n}o}^{-1}$ y un Dn de 23.8 cm (Figura 3), el cual desde el

punto de vista de interés comercial para su aprovechamiento por la industria de aserrío, implicaría la necesidad de dejar crecer las masas forestales de esta especie hasta la categoría diamétrica de 25 cm para que aumente el volumen y que la utilidad sea mayor.

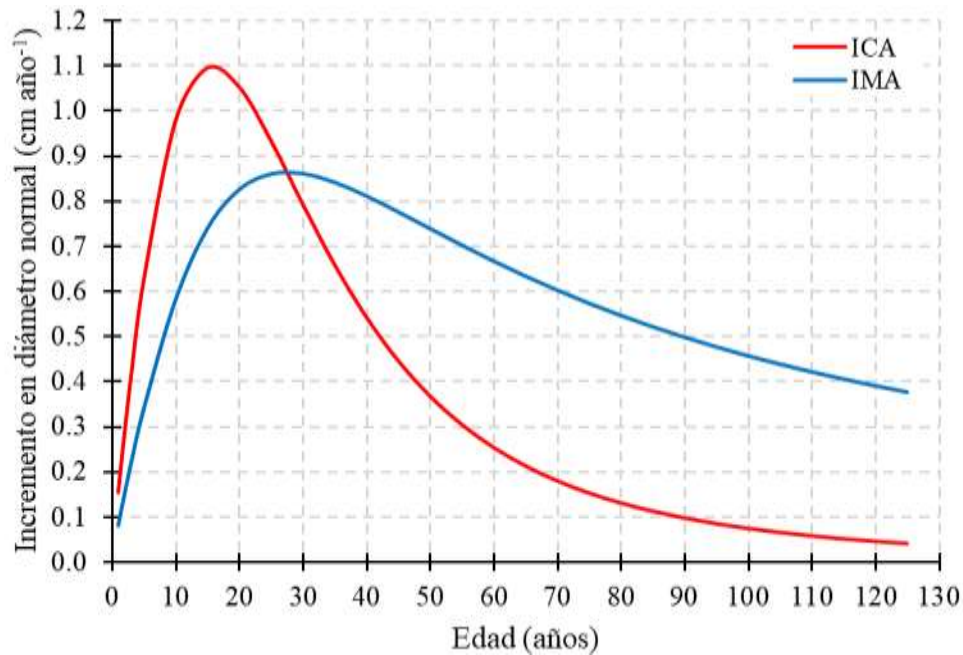


Figura 3. Curva del ICA e IMA en diámetro normal para *P. montezumae* obtenidas con el modelo de crecimiento de Hossfeld IV en la UMAFOR 2103 (Teziutlán) de Puebla, México.

Hernández (2012) reportó que el mejor modelo de crecimiento base para estimar el Dn en árboles de *P. montezumae* en el sureste de Hidalgo, México fue el de Korf, determinó que el turno ocurre a los 41 años, edad a la que se alcanza un diámetro de 26.8 cm, el $ICA_{m\acute{a}x}$ fue de 0.93 cm/año a la edad de 21 años y el $IMA_{m\acute{a}x}$ de 0.65 cm/año. Por su parte, Tamarit-Urias *et al.* (2021) determinaron que el crecimiento en diámetro en *P. montezumae* que crece en la UMAFOR 2101 (Ixta-Popo) en Puebla, México, puede modelarse apropiadamente con una ecuación dinámica generada de aplicar el enfoque de diferencia algebraica generalizada a partir del modelo de crecimiento base de Korf; para la condición de crecimiento promedio estimaron un $ICA_{m\acute{a}x}$ de 1 cm/año que corresponde a 9.33 cm y se alcanza a los 14.8 años; en tanto, el $IMA_{m\acute{a}x}$ fue de 0.79 cm año⁻¹ que corresponde a 25 cm de Dn y se presenta a la edad de 31.6 años. Las diferencias en los atributos de crecimiento referidos podrían deberse a que las condiciones y capacidad productiva (calidad de estación) son comparativamente mejores en la UMAFOR 2103 que en las dos regiones mencionadas. En contraparte, Pacheco *et al.* (2016) determinó para el mismo taxón en la región de Sola de Vega, Oaxaca, México, determinó un



ICA_{máx} de 1.1 cm año⁻¹ a los 13.5 años, en tanto que el IMA_{máx} fue de 0.97 cm año⁻¹ a los 25.31 años, lo que sugiere que las condiciones de sitio en aquella región son ligeramente mejores a las que prevalecen en la UMAFOR 2103.

La expresión que se obtuvo para estimar el tiempo (t) promedio en años a la que se logra obtener un Dn con alguna predeterminada dimensión de interés comercial e industrial, y que puede aplicarse para determinar el turno tecnológico (Tamarit-Urias *et al.*, 2021), presentó la siguiente estructura matemática:

$$t = \exp \left(\ln \left(\frac{Dn}{\alpha_0 - Dn} \right) + \alpha_1 / \alpha_2 \right)$$

Con tal expresión pueden especificarse diferentes turnos de aprovechamiento comercial en función del uso industrial al que se destinará la materia prima a cosechar, tal es el caso, por ejemplo, de la trocería para aserrío, en donde el diámetro de determinada medida comercial toma relevancia. En este sentido, en la práctica, lo común es estimar los tiempos en años (TP) por categoría diamétrica; así, para la condición de crecimiento promedio en Dn, en una progresión los TP medios estimados para esta especie en las categorías diamétricas de la 10 hasta la de 40 cm, con clases de 5 cm y considerando el centro de cada clase, fueron de 4.6, 4.7, 5.1, 6.1, 7.9, 11.4 y 20.3 años, respectivamente, este comportamiento de TP sugiere una tendencia de tipo exponencial.

Conclusiones

El modelo de crecimiento en diámetro seleccionado por su alta calidad predictiva para *P. montezumae* fue el de Hossfeld IV, por lo que como herramienta biométrica es útil para la planeación y ejecución de programas de manejo forestal con fines maderables porque permite predecir en forma objetiva la tasa de crecimiento en diámetro normal en árboles de *P. montezumae* en la UMAFOR 2103 (Teziutlán), Puebla, México. El modelo estima los incrementos, el turno técnico, el ciclo de corta y los tiempos de paso por categoría diamétrica, que son elementos fundamentales en la gestión forestal, por lo que con su uso puede contribuir a mejorar el manejo técnico-silvícola y el aprovechamiento sustentable de esta especie en la zona de estudio. Además, el modelo generado puede ser un componente relevante de un sistema de crecimiento y rendimiento maderable.



Agradecimientos

La presente investigación se desarrolló con el financiamiento de recursos fiscales del INIFAP al proyecto de investigación con número de registro 7352934499, bajo la responsabilidad técnica del primer autor.

Literatura Citada

- Bakhtina, S., Y. Yanbaev, A. Kulagin, N. Redkina, I. Masalimov and S. Fayzrakhmanov. 2020. Dynamics of annual growth of *Pinus sylvestris* on industrial wastes of mining companies. *Journal of Forestry Research* 32(4):1385-1393.
- Burkhart, H. E. and M. Tomé. 2012. *Modeling forest trees and stands*. Springer. NY, USA. 458 p.
- Carrillo, E. G. 2008. *Casos prácticos para muestreos e inventarios forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. 172 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFORa). 2012. *Pinus montezumae* Lamb. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/971Pinus%20montezumae.pdf> [Consultado 8 de mayo de 2023].
- Comisión Nacional Forestal (CONAFORb). 2012. *Estudio regional forestal de la unidad de manejo forestal Teziutlán, Puebla*. Comisión Nacional Forestal. Puebla, Pue. México. 400 p.
- García-Espinoza, G. G., G. Quiñonez-Barraza, Ó. A. Aguirre-Calderón, J. J. García-Magaña y J. Hernández-Ramos. 2023. Ecuaciones de índice de diámetro para plantaciones comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindley en Michoacán, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(1):10.



- Hess, A. F., M. Minatti, V. Liesenberg, P. P. de Mattos, E. M. Braz and E. A. Costa. 2018. Brazilian pine diameter at breast height and growth in mixed Ombrophilous forest in Southern Brazil. *Australian Journal of Crop Science* 12(5):770-777.
- Hernández, R. A. 2012. Determinación del turno e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb., en el sureste del estado de Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 62 p.
- Iqbal, S., T. S. Zha, M. Hayat, A. Khan, M. Ashraf, B. Ahmad *et al.* 2020. Spatiotemporal variation and climate change impact on radial growth of chir pine (*Pinus roxburghii*) in a subtropical pine forest in Pakistan. *Applied Ecology and Environmental Research* 18(4):4839-4855.
- Kiviste, A., G. J. Álvarez G., A. Rojo-Alboreca y G. A. Ruiz D. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid, España. 190 p.
- Moreno, P. C., S. Palmas, F. J. Escobedo, W. P. Cropper and S. A. Gezan. 2017. Individual-tree diameter growth models for mixed *Nothofagus* second growth forests in southern Chile. *Forests* 8(12):506.
- Pacheco, A. G., W. Santiago J., D. Martínez S. y R. Ortiz B. 2016. Análisis del crecimiento e incremento y estimación de índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en Santiago Textitlán, Sola de Vega, Oaxaca. *Foresta Veracruzana* 18(2):21-28.
- Panik, M. J. 2013. Growth curve modelling: theory and applications. John Wiley & Sons. NJ, USA. 413 p.
- Perry, J. P. Jr. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, OR, USA. 231 p.
- Pretzsch, H. 2009. Forest dynamics, growth and yield: From measurement to model. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg, Germany. 664 p.



- Quiñonez, B. G., H. M. De los Santos P. y J. G. Álvarez G. 2015. Crecimiento en diámetro normal para *Pinus* en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(29):108-125.
- Rodríguez-Acosta, M. y B. Arteaga-Martínez. 2005. Índice de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en los estados de Veracruz y Puebla, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1):39-44.
- Savidge, R. A., X. Yuan and H. Foerster. 2023. Gişogenetic variation in white-spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) trees of Yukon Beringia, Canada. *Forests* 14(4):787.
- Sánchez-González, M., M. Tomé y G. Montero. 2005. Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Annals of Forest Science* 62(7):633-643.
- SAS Institute. 2011. SAS/STAT user's guide. Versión 9.3. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Tamarit-Urias, J. C., M. Rodríguez-Acosta, G. Quiñonez-Barraza and W. Santiago-García. 2022. New dynamic equation of dominant height and site index for *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen in Puebla and Veracruz, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 28(3):461-477.
- Tewari, V. P, and B. Singh. 2018. Total wood volume equations for *Tectona grandis* Linn F. stands in Gujarat, India. *Journal of Forest and Environmental Science* 34(4):313-320.
- Xu, H., Y. Sun, X. Wang, Y. Fu, Y. Dong and Y. Li. 2014. Nonlinear mixed-effects (NLME) diameter growth models for individual china-fir (*Cunninghamia lanceolata*) trees in southeast China. *PLoS one* 9(8):e104012.



COMPONENTES LIGNOCELULOSICOS DE CUATRO ESPECIES TROPICALES DEL ESTADO DE YUCATÁN

Flora Apolinar Hidalgo^{259*} y Patricia Aguilar Sánchez²⁵⁹

Resumen

La biomasa lignocelulosa es una materia prima renovable que tiene el potencial para obtener productos químicos, biopolímeros, azúcares y combustibles, se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, de igual manera un porcentaje de extractos orgánicos y minerales inorgánicos. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo fue determinar, lignina, holocelulosa, α -celulosa, hemicelulosa y extractos en etanol-benceno, etanol y en agua de *Mimosa bahamensis*, *Acacia gaumeri* Baker, *Acacia milleriana* y *Lonchocarpus rugosa*. Las determinaciones se realizaron con los procedimientos de las normas TAPPI y ASTM, las muestras se prepararon de acuerdo con la norma TAPPI T264 y la cuantificación de extractos en etanol-benceno, etanol y agua se realizó con la norma TAPPI T204, la determinación de lignina con la norma T222 y las normas ASTM se utilizaron para la determinación de α -celulosa (D1103) y Holocelulosa (D1104) y la hemicelulosa se calculó por diferencia de porcentaje. Se aplicó un análisis de varianza a los datos obtenidos, seguido de una comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha=0.05$), usando el programa (SAS, 2000). Los resultados del análisis indicaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en contenido lignina, holocelulosa, α -celulosa, hemicelulosa, en extractos en etanol-benceno, etanol y agua. Los valores promedio para las muestras de *Mimosa bahamensis* fueron de 28.28% de lignina, 45.95% de α -celulosa, 69.23% de holocelulosa, 23.28% de hemicelulosa, 3.63% de etanol-benceno, 0.45% en etanol y 1.59% en agua. Para *Acacia gaumeri* los valores fueron de 22.17% de lignina, 43.04% de α -celulosa, 64.94% de holocelulosa, 21.09% de hemicelulosa, 10.28% de etanol-benceno, 0.21% en etanol y 1.31% en agua, para *Acacia milleriana* los valores fueron 21.95% de lignina, 45.18% de α -celulosa, 74.35% de holocelulosa, 29.17% de hemicelulosa, 4.42% en etanol-benceno, 1.21% en etanol y 1.16% en agua y para *Lonchocarpus rugosa* los valores fueron 20.77% de lignina, 48.51% de α -celulosa, 73.165% de holocelulosa, 24.65% de hemicelulosa, 6.97% de etanol-benceno, 0.56% de etanol y 0.535% para agua.

²⁵⁹ Campo Experimental San Martinito-INIFAP. *apolinar.flora@inifap.gob.mx



Los valores de lignina, α -celulosa, hemicelulosas y extractos de las especies tropicales estudiadas evidencian su potencial para ser consideradas en la obtención de productos químicos.

Palabras clave: lignina, celulosa, hemicelulosa

Introducción

El estudio de la composición química de la madera es importante para identificar el mejor uso que se le pueda dar en la industria, en la producción de papel y biocombustibles y con fines farmacéuticos entre otros. Los principales componentes de la madera constan de 3 polímeros, la celulosa (40 a 50%), la hemicelulosa (25 a 35%) y la lignina (18 a 35%), también se pueden encontrar componentes no estructurales como extractos orgánicos (4 a 10%), el porcentaje de extractos pueden ser hasta el 20% en especies tropicales y minerales inorgánicos (1%) (Pettersen, 1984; Chundawat *et al.*, 2011). La composición varía con la parte del árbol (raíz, tallo o rama), entre coníferas y latifoliadas, en la ubicación geográfica, clima y condiciones del suelo (Walker *et al.*, 2006). En los últimos años se ha incrementado la posibilidad de obtener productos químicos de alto valor agregado a partir de los compuestos principales de la madera, como celulosa para usos textiles, alimenticios, cosméticos, farmacéuticos, pulpa, papel y aplicaciones nanotecnológicas; de la lignina se puede obtener adhesivos, aditivos de combustibles, aglutinante entre otros y de la hemicelulosa es posible obtener xilitol, ácido ferúlico y láctico (Saha, 2003; Moon *et al.*, 2011), los productos que pueden obtenerse y derivarse de la madera dependen de su composición química. *Mimosa bahamensis* es una especie secundaria de la selva, aparece en sitios perturbados y va colonizando nuevas áreas, se desarrolla rápidamente y llega a alcanzar alturas no mayores de 8m, posee hojas verdes muy pequeñas, flores abundantes de color rosa o blanco, en forma de cabezas globosas (Greihner y Camacho 1993). Se le da un uso medicinal para la cual se quema la madera en donde se obtiene un líquido espumoso que se utiliza para combatir el exceso de orina en los niños (Rebollar y Quintanar, 1998). *Acacia milleriana* se considera una especie secundaria tropical, originaria de América tropical, su altura puede llegar hasta 20m, con diámetros de 5 a 10 cm, tiene hojas alternas compuestas de 20 a 30 pares de pinas, las flores se agrupan en cabezas globosas, fragantes y de color amarillo, es una madera dura y pesada, los principales usos son: árboles en potreros, plantación en cercas, incorporación en acahuals, postes, leña, sombra y utensilios (Pinto



et al.,2018). *Lonchocarpus Rugosa*, es una especie que se distribuye de México a Honduras, habita en diversos tipos de vegetación, muy frecuente en selvas caducifolias y selvas medianas subperennifolias, árboles que pueden llegar hasta 25 m, sus hojas son compuestas pinnadas (Sousa, 2008), es una especie maderable que se utiliza en la construcción, en artesanías y de su corteza se extrae un tinte morado que es usado para colorear telas (CONANP, 2015). *Acacia gaumeri* Bake, es una especie tropical endémica del sureste de México, se localiza específicamente en la península de Yucatán, pertenece a la familia de las leguminosas, posee una altura promedio de 8 metros, tiene hojas bipinadas y flores con espiga, forma parte de la selva mediana y de la vegetación secundaria, los usos reportados se dan en la medicina y la parte que se utiliza del árbol son la corteza y la raíz, al igual que los extractos (goma), que sirven para aliviar escalofríos, diarrea y hemorroides, también se utiliza como combustible sólido (IMTA,1989; Rebollar y Quintanar, 1998). El conocimiento de los patrones de variación dentro de las especies hace posible un mayor y mejor aprovechamiento de este recurso forestal. Por lo que es importante conocer la composición química de estas especies para generar conocimiento y poder explorar aplicaciones químicas, por ello se procesaron muestras para determinar extractos, lignina, holocelulosa, α celulosa y hemicelulosa de *Mimosa bahamensis*, *Acacia milleriana*, *Acacia gaumeri* y *Lonchocarpus Rugosa*.

Materiales y Métodos

En este trabajo se analizaron muestras de *Mimosa bahamensis*, *A. milleriana*, *A. gaumeri* y *Lonchocarpus Rugosa* provenientes de residuos forestales del aprovechamiento en el estado de Yucatán. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Materiales Lignocelulósicos del Campo Experimental San Martinito que pertenece al INIFAP, las muestras se cepillaron en un canteador eléctrico mizutti para obtener la viruta, la cual se secó a temperatura ambiente, posteriormente fue molido en un molino tipo Thomas Wiley. El material molido se tamizó en mallas del No. 40 (0.42 mm) y del No. 60 (0.25 mm), el material retenido en la malla 60 se utilizó para realizar las determinaciones de lignina, holocelulosa, α -celulosa y extractivos, se realizaron cuatro repeticiones por muestra. Para determinar los extractos se utilizó la norma TAPPI 204(TAPPI, 2007), que consistió en pesar 4 g de madera molida anhídrida en un dedal de extracción, que se colocaron en un sistema de extracción Soxhlet a reflujo por un tiempo de 8 horas con 250 ml de solvente de etanol-benceno (1-2 v/v), después



se procedió a lavarlo a vacío con etanol para quitarle los residuos de benceno, posteriormente se extrajo con 250 ml de etanol al 96% por 6 horas, seguidamente se lavó con agua para retirarle los residuos de etanol y finalmente se realizó una extracción con 250 ml de agua destilada por 6 horas, las muestras fueron secadas en una estufa a 105°C para su pesado. El contenido de extractos se calculó con la siguiente expresión:
$$\text{Extractos (\%)} = \frac{W_e - W_b}{W_p} * 100$$

Donde;

W_e = Peso anhidrido del extracto, g.

W_p = Peso anhidrido de la muestra, g.

W_b = Peso anhidrido del residuo en blanco, g

El contenido de lignina se determinó de acuerdo a la norma TAPPI 222 (TAPPI, 1991 b), se pesó 1 g de muestra molida libre de extractos y se le adicionó 15 ml de ácido sulfúrico al 72% (24 N) con agitación constante en un baño maría a 20°C durante dos horas, inmediatamente se transfirió a un matraz Erlenmeyer con 575 ml de agua destilada. Después, el matraz se conectó a un refrigerante y se mantuvo a ebullición durante 4 horas en una parrilla eléctrica dentro de una campana de extracción de vapores; posteriormente se dejó sedimentar el sólido en una posición inclinada durante 24 horas para su filtración, después la lignina se transfirió a un crisol de filtración y la lignina filtrada se lavó con 100 ml de agua destilada caliente para la eliminación del ácido residual, enseguida se secó en una estufa a 105°C durante 24 horas para su pesado. El contenido de lignina se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Lignina (\%)} = A \frac{100}{W}$$

Donde;

A = Peso anhidrido de la lignina, g.

W = Peso anhidrido de la muestra, g.

El método para la determinación de holocelulosa se basó en la acción de clorito de sodio y ácido acético en base a la norma ASTM (D1103), se pesaron 2.5 g de madera libre de extractos en matraces Erlenmeyer de 250 ml, enseguida se le adiciono 80 ml de agua destilada caliente, 0.5 ml de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, los matraces con la muestra se colocaron en un baño de agua a $75 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 1 hora, después de la hora se le añadió otravez 0.5 ml de ácido acético y 1 g de clorito de sodio, este procedimiento se repitió por dos veces mas hasta completar un total de 4 horas, al final de la cuarta hora se enfriaron las muestras en un recipiente con agua fría debajo de 10°C. Posteriormente el contenido del matraz de reacción se pasó sobre un crisol de filtrado previamente pesado. Las muestras



se lavaron con agua destilada hasta que el color amarillo y el olor a dióxido de cloro desaparecieron, enseguida se lavó con 150 mL de etanol y acetona. Finalmente se secó en una estufa a 40°C, el contenido de la holocelulosa se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Holocelulosa (\%)} = \frac{\text{Peso anhidrido del residuo}}{\text{Peso anhidrido de la muestra}} * 100$$

Para la determinación de α -celulosa se utilizó la norma ASTM (D1103), se pesaron 2 g de holocelulosa anhidrida y se colocaron en un vaso de precipitado de 250 ml, a la muestra se le agregó 10 mL de solución de NaOH al 17.5%, se maceró la holocelulosa con una barra de cristal hasta que las partículas se separaron una de las otras, después de que la muestra se le adicionara la primera porción de la solución de NaOH al 17.5%, en intervalos de 5 minutos se agregó 5 mL hasta completar la adición de 25 ml de la solución de NaOH al 17.5%, posteriormente se dejó reposar en un baño de agua a 20°C por 30 minutos, después se le agregó 33 ml de agua destilada y se permitió reposar por una hora antes de su filtrado. Para el lavado, el residuo de la holocelulosa se transfirió a un crisol de filtrado de peso conocido y se lavó con 100 mL de NaOH al 8.3%. Subsiguientemente se enjuagó con agua destilada y después se le agregó 15 ml de ácido acético al 10% y se dejó reposar por 3 minutos, enseguida se volvió a lavar con 250 mL de agua destilada para retirarle el residuo del ácido acético y finalmente se secó el crisol con la muestra en una estufa a 105°C. El contenido de lignina se calculó con la siguiente expresión:

$$\alpha\text{- Celulosa (\%)} = \frac{\text{Peso anhidrido de residuo de celulosa}}{\text{Peso anhidrido de la muestra holocelulosa}} * 100$$

La determinación de la hemicelulosa se calculó como la diferencia del contenido de holocelulosa y α -celulosa. Los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una comparación múltiple de medias con el procedimiento de Tukey ($\alpha = 0.05$) con el estadístico SAS (2000).



Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos mostraron que hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las determinaciones de lignina, holocelulosa, α -celulosa, hemicelulosa entre las 4 especies; *Mimosa bahamensis*, *Acacia gaumeri*, *Acacia milleriana* y *Lonchocarpus Rugosa* (Cuadro 1). En los resultados de lignina se encontró que *Mimosa bahamensis* tiene mayor contenido con 28.28%, seguido de *A. gaumeri* con 22.17% y la de menor porcentaje *L. Rugosa* con 20.77%, respecto a la holocelulosa se encontró que el valor más alto lo tiene *A. milleriana* con 74.35%, seguido de *L. Rugosa* con 73.16% y siendo *A. gaumeri* la de menor contenido con 64.94%, con relación α - Celulosa se encontró que *Lonchocarpus Rugosa* es la de mayor contenido con 48.51%, seguido de *M. bahamensis* con 45.95% y con la hemicelulosa se encontró que *A. milleriana* es la de mayor porcentaje con un valor de 29.17%, seguido de *Lonchocarpus Rugosa* con un valor de 24.65% y *A. gaumeri* la de menor contenido con un valor de 21.09%.

Cuadro 1. Componentes químicos principales de cuatro especies tropicales.

Aboles	Lignina %	Holocelulosa %	α - Celulosa %	Hemicelulosa %
<i>Mimosa bahamensis</i>	28.28a	69.23c	45.95b	23.28c
<i>Acacia gaumeri</i>	22.17 b	64.94d	43.04d	21.09d
<i>Acacia milleriana</i>	21.95 b	74.35 a	45.18 c	29.17 a
<i>Lonchocarpus Rugosa</i>	20.77 c	73.16 b	48.51 a	24.65 b

Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los valores encontrados en este estudio de lignina fueron de 20.77 a 28.28%, estos valores son mayores a los reportados por Costa *et al.*, (2019) para *Quercus* y Valverde *et al.*, (2020) para *Junglas neotropica* con valores de 20% y 12.56% respectivamente y son similares a los reportados por Ruiz *et al.*, (2019) para 5 especies de latifoliadas (23 .11 a 37%), Rutiaga (2010) para *Darbergia grandillo* y *Platymiscium* (26.24 y 25.8%), Honorato *et al.*, (2015) para *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* y *Ochroma pyramidale* (19.76 a 2.24%), Wei *et al.*, (2022) para *Dalbergia Oliveri* (28.07%). En lo que respecta a la holocelulosa los valores en este estudio fueron de 64.94 a 74.35%, estos valores son



mayores a los reportados por Rutiaga (2010) (54.25 y 50.15%), menores a los reportados por Honorato *et al.*, (2015) (79.08 a 81.99%) Cárdenas *et al.*, (2018) para *Alnus* spp. y *Quercus* spp. (86.50% y 74.99%) y Wei *et al.*, (2022) (76.08%). En el contenido de celulosa encontrado en este estudio fueron de 43.04 a 48.51%, estos valores son similar a los reportados por Honorato *et al.*, (2015) (40.30 a 45.35%) pero menores a los reportados por Ruiz *et al.*, (2019) (59.11 a 66.31%), Leal *et al.*, (2011) (51.72%), Cárdenas *et al.*, (2018) (51.55 a 56.56%) y Wei *et al.*, (2022) (65.22%). En lo que concierne a la hemicelulosa fueron valores de 21.09 a 29.17%, estos son mayores a los reportados por Ruiz *et al.*, (2019) (12.31 a 20.96%) y similar a los reportado por Leal *et al.*, (2011) (20.29%).

En el contenido de extractivos se encontró que hay diferencias significativas entre las 4 especies tropicales, siendo la de mayor contenido de extractos totales la especie de *A. gaumeri* con 11.81%, seguido de *L. Rugosa*, *A. milleriana* y *M. bahamensis* con valores de 8.06%, 6.79% y 5.67% respectivamente, en los valores de etanol-benceno se encontró que *A. gaumeri* es la de mayor porcentaje con 10.28%, seguido de *L. Rugosa*, *A. milleriana* y *M. bahamensis* con valores de 6.97%, 4.42% y 3.63% respectivamente, en etanol la especie de *A. milleriana* es la de mayor contenido con un valor de 1.21% y la de menor contenido la especies de *A. gaumeri* con un valor de 0.21%; finalmente en lo que respecta a extractos en agua, la especie de *L. Rugosa* es la de mayor valor con 1.59% y siendo *L. Rugosa* la de menor contenido con un valor de 0.53% (Cuadro 2).

Cuadro 2. Extractivos de cuatro especies tropicales.

Especie	Etanol-benceno %	Etanol %	Agua %	Extractos totales %
<i>Mimosa bahamensis</i>	3.63 d	0.45 c	1.59 a	5.67 d
<i>Acacia gaumeri</i>	10.28 a	0.21 d	1.31 b	11.81 a
<i>Acacia milleriana</i>	4.42 c	1.21 a	1.16 c	6.79 c
<i>Lonchocarpus Rugosa</i>	6.97 b	0.56 b	0.53 d	8.06 b

Valores con la misma letra indican que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$).

Los valores encontrados de etanol-benceno fueron de 3.63 a 10.28% estos valores están dentro del rango reportado por Honorato *et al.*, (2015) (2.29 a 3.23%), en extractos en etanol los valores fueron 0.21 a 1.21%, estos valores son menores a los reportados por Miranda *et al.*, (2017) para *Quercus*



faginea (2.6 a 13.2%), Costa *et al.*, (2019) (3.7%) y Chemetowa *et al.*, (2020) (3.7 y 6%), en extractos con agua los valores fueron 0.53 a 1.59%, estos valores menores a los reportados por Miranda *et al.*, (2017) (4.3 a 6.4%) y Chemetowa *et al.*, (2020) para *A. melanoxylon* con valores de 2.3% y 2.2%.

Conclusiones

La composición lignocelulósica de las cuatro especies presentaron diferencias significativas con valores de 20.77 a 28.28% para lignina, 64.94 a 74.35% para holocelulosa, 43.04 a 48.51% para α -celulosa, 21.09 a 29.17% para hemicelulosa y 5.67 a 11.81% para extractos totales. Por los valores de lignina, α -celulosa, hemicelulosas y extractos de las especies tropicales se pueden considerar para la obtención de productos químicos.

Literatura Citada

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977. Method of Test for Alpha- Cellulose in Wood ASTM D1103 – 60. Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; Adhesives. Pennsylvania: ASTM. 343-345 p.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977. Method of Test for Holocellulose in Wood ASTM D1104 – 56. Annual book of ASTM standards. Part 22: Wood; Adhesives. Pennsylvania: ASTM. 346-348 p.
- Cárdenas, G.M.A., Pedraza, B.F.E., Albarrán, L.P., Rutiaga, Q.J.G. 2018. Chemical components of the branches of six hardwood species. *Wood research*, 63:5, 795-808
- Carrillo, A., Mayer, I., Koch, G., Hapla, F. 2008. Wood anatomical characteristics and chemical composition of *Prosopis laevigata* grown in the northeast of Mexico. *IAWA Journal*, 29:1, 25–34.



- Chemetova, C., Ribeiro, H., Fabiao, A., Gominho, J., 2020. Towards sustainable valorisation of *Acacia melanoxylon* biomass: Characterization of mature and juvenile plant tissues. *Environmental Research* 191 (2020) 110090
- Chundawat, S.P.S., Beckham, G.T., Himmel, M.H., Dale, B.E.2011. Deconstruction of Lignocellulosic Biomass to Fuels and Chemicals *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.* 2011. 2:121–45
- CONANP 2015. Manual de actividades para reforestación: cultivo de plantas de forrajeo de la guacamaya verde (*Ara militaris*) zona del cañón del infiernillo, Pinal de amoles, Querétaro
- Costa, R., Lourenco, A., Oliveira, V., Pereira, H.2019 Chemical characterization of cork, phloem and wood from different *Quercus*. *Helion* 5, 1-9
- Greiherr, R y Camargo, R.S.L.1993. *Mimosa bahamensis* (Leguminosae) en la Península de Yucatán, México. *Bol Soc. BoL México* 53:55-72
- Guerriero, G., Hausman, J.F., Strauss, J., Ertan, H., Sohail, S.K.2016. Lignocellulosic biomass: Biosynthesis, degradation, and industrial utilization. *Review. Eng. Life Sci.*, 16, 1–16
- Honorato, S. J.A., Colotl, H.G., 1, Apolinar, H.F., Aburto, A.J.2015. Principales componentes químicos de la madera de *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* y *Ochroma pyramidale*. *Madera y Bosques* 21 (2) 131-146
- Leal, L. E., Juárez, V., Terán, M. 2011. Composición química de la madera de *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden* procedente de Finca Las Maravillas. *Revista de Ciencias Forestales*, 19: 1-2, 75-83
- Miranda I, Sousa V, Ferreira J, Pereira H. 2017. Chemical characterization and extractives composition of heartwood and sapwood from *Quercus faginea*. *PLoS ONE* 12 (6) 1-14



- Pettersen, R.C. (1984). The chemical composition of wood. p 57-126. In: Rowell, R. M. (ed). The Chemistry of Solid Wood Advances in Chemistry Series 20, American Chemical Society. Washington, D.C. U. S. A.
- Pinto, R.R., Urbina, C.F.M., Jiménez, T.J.A. 2018. *Acacia milleriana* Standl, Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable. Universidad de Colima.
- Rebollar, S. y Quintanar, A. 1998. Anatomía y usos de la madera de ocho especies tropicales de Quintana Roo, México. *Rev. Biol. Trop.* 46:4, 1047-1057.
- Ruiz, A.F., Ruiz, A.S., Feria, R.R., Santiago, G.W., Suárez, M.M.E., Rutiaga, Q.J.G. 2008. Wood Chemical Composition of Five Tree Species from Oaxaca, Mexico. *BioResources* 14(4), 9826-9839
- Rutiaga, Q.J.G., Pedraza, B.F.G., López, A.P. 2010. Componentes químicos principales de la madera de *Dalbergia granadillo* Pittier y de *Platymiscium lasiocarpum* Sandw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16:2, 179-186
- Saha, B. C. 2003. Hemicellulose bioconversion. *J. Ind. Microbiol. Biotechnology.* 30: 279–291.
- Sousa S.M. 2008. Las subespecies de *Lonchocarpus rugosus* Benth. (Leguminosae, Papilionoideae: Millettieae). *Ceiba*, 49(1):119-132.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) 2007. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. Versión CD, Atlanta, GA., EUA. 4p.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) 2007. Preparation of wood for chemical analysis. T 264 cm-97. TAPPI Test Methods. Fibrous Materials and Pulp Testing. Versión CD, Atlanta, GA., EUA. 3 p.



- TAPPI (Technical association of the Pulp and Paper industry). 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88 TAPPI. Test Methods.Vol.1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA.USA. 5p.
- Téllez, S. C., Ochoa, R. H.G., Sanjuan, D.R., Rutiaga, Q.J.G. 2010. Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC. (Leguminosae). Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16:1, 87-93.
- Tenorio, C., Moya, M., Salas, C., Berrocal, A., 2016. Estudio de propiedades de la madera de seis especies nativas en plantaciones de Costa Rica. Bosque 37(1): 71-84
- Valverde, R. J. X., Jumbo, B. N.C., Fernández, G. P. V., González, R. J.B., Iñiguez, O. D.P., Pucha, C. D.A. 2020. Composición química de la madera de *Juglans Neotropica* Diels y su relación con las propiedades químicas del suelo en la parroquia Valladolid, provincia de Zamora Chinchipe. Revista Investigación Agraria. 2:3, 68 – 82
- Walker, J. 2006. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure, p 23 – 67. In: Walker, J. (ed). Primary Wood Processing, Principles and Practice. 2nd edition. Springer, Dordrecht. The Netherlands.
- Wei, L., Ma, R., Fu, Y. 2022. Differences in Chemical Constituents between *Dalbergia oliveri* Heartwood and Sapwood and Their Efectt on Wood color. Molecules, 27,7978.



CONSERVACIÓN Y USO DE RECURSOS GENÉTICOS DE *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus engelmannii* Carrière

Andrés Flores^{260*}, Tomás Pineda Ojeda²⁶¹, Enrique Buendía Rodríguez²⁶¹, Eulogio Flores Ayala²⁶¹
y Jorge Méndez González²⁶²

Resumen

México es uno de los centros de diversidad del género *Pinus* ya que alberga 49 de las 120 especies que hay en el mundo. Sesenta por ciento de los pinos mexicanos son de importancia comercial e industrial, proporcionan madera, resina y pulpa para papel, y constituyen una fuente de recursos genéticos. A pesar de la importancia indicada los estudios genéticos son escasos. Los objetivos de este trabajo fueron i) identificar áreas prioritarias para el establecimiento de unidades de conservación genética de *Pinus durangensis* y *Pinus engelmannii* en México y ii) determinar el uso de sus recursos genéticos. Para esto, se definieron los rangos de distribución natural de las especies en las zonas de movimiento de germoplasma definidas por la Comisión Nacional Forestal. Las zonas con menos de 20 árboles fueron excluidas. Durante la definición de las unidades de conservación genética se consideraron seis criterios de selección basados en el tamaño de la población, el tipo de gestión, el monitoreo y el régimen de propiedad. La determinación del uso de los recursos genéticos de las especies en cada zona genética consideró seis indicadores: número de árboles muestreados por el INFyS, número de poblaciones con datos moleculares, número de poblaciones con rodales semilleros, número de individuos seleccionados para pruebas de progenie, número de poblaciones presentes en pruebas de procedencia y el número de huertos de semilleros. Los resultados definieron 9 unidades de conservación genética para *P. durangensis* en 5 zonas de movimiento de germoplasma (III.1, III.2, III.3, III.4 y X.1) y 11 unidades para *P. engelmannii* en 7 zonas (III.1, III.2, III.3, III.4, V.1, X.1 y XII.4). En cuanto al uso de los recursos genéticos, *P. durangensis* presentó mayores valores en el número de árboles muestreados por el INFyS, número de poblaciones con datos moleculares y número

²⁶⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-CENID-COMEF. *flores.andres@inifap.gob.mx

²⁶¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIR-Centro. CEVAMEX.

²⁶² Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento Forestal.



de poblaciones con rodales semilleros que *P. engelmannii*, pero esta última especie fue la única que registró de ensayos de procedencias.

Palabras clave: diversidad genética, pino blanco, pino real, zonas de movimiento de germoplasma

Introducción

México es uno de los centros de diversidad del género *Pinus*, presentando 49 de las 120 especies de pinos en el mundo (Gernandt y Pérez-De la Rosa, 2014), muchas de las cuales son manejadas activamente. Sesenta por ciento de ellos son de importancia comercial e industrial, proporcionan madera, resina y pulpa (Sánchez-González, 2008), pero también constituyen una valiosa fuente de recursos genéticos (Dvorak, 1990). A pesar de la importancia de los árboles forestales mexicanos y sus recursos genéticos, los estudios genéticos son escasos, cubriendo apenas el 1.2% de las especies mexicanas y el 58% de las correspondientes a *Pinus* (Wehenkel *et al.*, 2017). El nivel de conocimiento genético de las especies de pino mexicano es, en la mayoría de los casos, claramente incompleto.

Las prioridades de conservación de recursos genéticos se basan en la importancia económica y ambiental de una especie en particular, sus funciones ecológicas u otras características que contribuyen a su relevancia y/o su nivel de riesgo (Rajora y Mosseler, 2001). Aunque los estudios genéticos de especies de árboles forestales se han incrementado (Alberto *et al.*, 2013), todavía se carece de información para muchas de ellas, y las decisiones se toman en su mayoría sin ningún conocimiento genético (Eriksson *et al.*, 1993).

Pinus durangensis Martínez se distribuye en las cordilleras noroccidentales de la Sierra Madre Occidental, donde el clima es cálido-templado, pero con períodos fríos durante el corto invierno en las elevaciones más altas. Se encuentra en altitudes que oscilan entre 2 000 y 2 500 m, crece en suelos rocosos poco profundos y recibe alrededor de 600 mm de precipitación anual (Farjon, 2017; Perry, 1991). Por su parte, *Pinus engelmannii* Carrière se encuentra en el noroeste de la Sierra Madre Occidental. Sus poblaciones crecen en el rango altitudinal de 2 000 a 2 500 m, con precipitaciones anuales que varían de 400 a 500 mm, y existen en laderas y cerros más secos donde el clima es templado (Farjon, 2017; Perry, 1991).



P. durangensis es la quinceava especie más producida en vivero con 1 540 114 plantas/año en promedio (Flores *et al.*, 2021b), por lo que es de importancia en los programas de reforestación del norte del país, y aprovechada con 8 520.35 m³ de madera en rollo/año en promedio en los bosques naturales de los estados en que se encuentra (Flores *et al.*, 2021a). La madera de esta conífera es utilizada para la construcción, como vigas para techos, carpintería en general, ebanistería, pisos, molduras, madera contrachapada y pulpa para papel (CONAFOR, 2007a). *P. engelmannii* es una de las especies más producida en vivero ya que ocupa el quinto lugar a nivel nacional con 9 553 858 plantas/año en promedio (Flores *et al.*, 2021b) y contribuye con 10 651.16 de madera en rollo/año en promedio a la producción nacional (Flores *et al.*, 2021a). Su madera se emplea para muebles y construcción, molduras, pisos, palo de escoba, triplay, pulpa para papel, postes y ebanistería (CONAFOR, 2007b). Por lo anterior expuesto y a los impactos ecológico y económico que tienen estas especies es necesario definir áreas para su conservación genética y garantizar su continuidad en sus zonas de distribución natural en el futuro. Los objetivos de esta investigación fueron i) identificar áreas prioritarias para el establecimiento de unidades de conservación genética de *P. durangensis* y *P. engelmannii* en México y ii) determinar el uso de sus recursos genéticos.

Materiales y Métodos

Se definió la distribución de las especies en las zonas de movimiento de germoplasma, las cuales fueron previamente definidas por la CONAFOR (2016). Esto se hizo con base en los registros de latitud y longitud del Inventario Nacional Forestal y de Suelo (INFyS, correspondiente al período 2004 a 2007 (CONAFOR, 2017)). Se utilizaron las parcelas muestreadas en bosques naturales, después de eliminar las parcelas consideradas como plantaciones. El trabajo se hizo mediante el programa QGIS 3.28.2 (QGIS Development Team, 2022).

Posteriormente, se definieron las áreas de conservación de cada especie. Para ellos, se consideraron cuatro requisitos definidos por Koskela *et al.* (2013): estado de conservación de la especie, tamaño de la población, gestión y el monitoreo. Las unidades elegidas cumplieron dos condiciones relacionadas con su caracterización genética y ubicación (Cuadro 1).



Cuadro 1. Criterios para la selección de unidades de conservación genética en zonas genéticas.

Condición 1	Condición 2	Criterio
La población tiene información genética (estudios previos moleculares o fenotípicos) a gran escala del rango de la especie.	Ubicada en un área protegida.	C1.1
	Ubicada fuera de un área protegida.	C1.2
La población tiene información genética (estudios previos moleculares o fenotípicos) a escala local del rango de la especie.	Ubicada en un área protegida.	C2.1
	Ubicada fuera de un área protegida.	C2.2
La población no tiene ninguna información genética previa. Se identifica en una trama de INFyS.	Ubicada en un área protegida.	C3.1
	Ubicada fuera de un área protegida.	C3.2

Para cada zona de movimiento de germoplasma, en primer lugar, se eligieron las poblaciones caracterizadas en estudios genéticos o ensayos de procedencia. En segundo lugar, en el caso de no contar con la información anterior, se eligieron áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad establecidas por la Comisión Mexicana para la Biodiversidad (CONABIO, 2017). Finalmente, se seleccionaron poblaciones situadas en rodales semilleros o bosques al no cumplir con las características anteriores. Se eligió al menos una unidad de conservación genética por zona genética cuando presentó amplia distribución, pero en zonas fragmentadas, solo se definió una unidad cuando hubo un mínimo de 20 árboles. Esto permitió determinar, en algunos casos, más de una unidad de conservación genética por zonas de movimiento de germoplasma. Todos los datos geográficos se representaron utilizando el programa QGIS 3.28.2 (QGIS Development Team, 2022).

Finalmente, para determinar el uso de los recursos genéticos de las especies en cada zona genética se consideraron seis indicadores definidos por Flores (2018): número de árboles muestreados por el INFyS, número de poblaciones con datos moleculares, número de poblaciones con rodales semilleros (rodal semillero/área de semillas), número de individuos seleccionados para pruebas de progenie, número de poblaciones presentes en pruebas de procedencia y el número de huertos de semilleros.

Resultados y Discusión

Se definieron las zonas prioritarias para ayudar a la conservación y el uso de los recursos genéticos forestales en 2 especies de pinos mexicanos: *P. durangensis* y *P. engelmannii*. Con base en las zonas de movimiento de germoplasma, se identificaron 20 áreas para establecer unidades de conservación en 7 zonas. *P. durangensis* se distribuye en nueve zonas de movimiento de germoplasma (III.1, III.2, III.3, III.4, IV.1, IX.2, X.1, X.3 y XII.3) (Figura 1), pero únicamente 5 (III.1, III.2, III.3, III.4 y X.1) satisficieron los criterios planteados para la selección de nueve unidades de conservación genética (Figura 2, Cuadro 2).

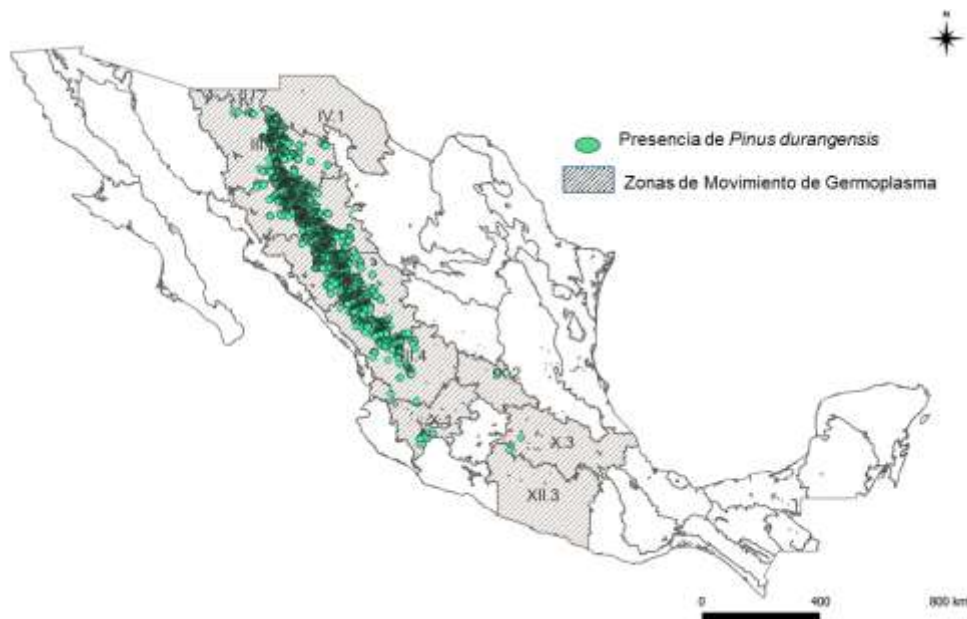


Figura 1. Distribución natural de *P. durangensis* Martínez en México, con base en el INFyS, y zonas de movimiento de germoplasma. La presencia de la especie se indica en las zonas achuradas.



Figura 2. Ubicación de las Unidades de Conservación Genética propuestas por Zona de Movimiento de Germoplasma para *P. durangensis* Martínez en México.

Cuadro 2. Unidades de conservación genética propuestas por zona genética para *P. durangensis* Martínez y *P. engelmannii* Carrière en México.

Zona genética	Área natural protegida	Ubicación
<i>P. durangensis</i>		
III.1	Tutuaca	Cordón del 45, Teomohachi, Chihuahua
III.1	–	La Piedrera, Chihuahua
III.2	–	Mesa de Carrera, Ocampo, Chihuahua
III.2	–	Panteón, Guachochi, Chihuahua
III.3	Cerro Mohinora	Guadalupe y Calvo, Chihuahua
III.3	–	La Joyita, Santiago Papasquiari, Durango
III.4	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	El Oso, Pueblo Nuevo, Durango
III.4	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	Mezquitic, Jalisco
X.1	–	Gómez Farías, Jalisco
<i>P. durangensis</i>		
III.1	–	El Largo Maderal, Chihuahua
III.1	Papigochic	Zarupa, Chihuahua



Zona genética	Área natural protegida	Ubicación
III.2	–	Guachochi, Chihuahua
III.3	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	Pueblo Nuevo, Durango
III.3	–	Santiago Papasquiaro, Durango
III.3	Cerro Mohinora	Balleza – Chihuahua, Chihuahua
III.4	C.A.D.N.R. 043 Estado de Nayarit	Valparaíso, Zacatecas
III.4	–	La Yesca, Nayarit
V.1	C.A.D.N.R. 004 Don Martín	Zaragoza, Coahuila
X.1	Sierra de Quila	Tecolotlán, Jalisco
XII.4	–	Santa María Lachixío, Oaxaca

De estas, 78% estuvieron en áreas que contaban con información genética existente (caracterización molecular) y el 22% restante se localizaron en bosque naturales. Se destaca que el 44% de las unidades seleccionadas se ubicaron dentro de áreas naturales protegidas. *P. engelmannii* también se localiza en nueve zonas de movimiento de germoplasma (III.1, III.2, III.3, III.4, V.1, V.3, X.1, XII.1 y XII.4) (Figura 3) aunque solo 7 (III.1, III.2, III.3, III.4, V.1, X.1 y XII.4) cumplieron con los criterios definidos para determinar 11 unidades de conservación genética (Figura 4, Cuadro 2). Al respecto, 45% de las unidades tuvieron información genética reportada en estudios previos (caracterización molecular), el 9% se ubicó en rodales semilleros y el 46% restante en bosques naturales. De estas unidades, el 54% se localizaron en áreas naturales protegidas.

Para las especies analizadas, los indicadores de uso de sus recursos genéticos mostraron diferencias entre ellas. *P. durangensis* tuvo mayor número de árboles muestreados por el INFyS (25 435 individuos) a diferencia de *P. engelmannii* (6 899 individuos). Con respecto al número de poblaciones con datos moleculares, *P. durangensis* presentó la mayor cantidad (72 poblaciones) mientras que las de *P. engelmannii* una proporción menor (39 poblaciones). Por otra parte, *P. durangensis* posee mayor número de poblaciones con rodales semilleros (20) que *P. engelmannii* (12). En relación a ensayos de procedencia, únicamente *P. engelmannii* presentó un trabajo. No obstante, en ambas especies no se registraron ensayos de progenies ni huertos semilleros establecidos.

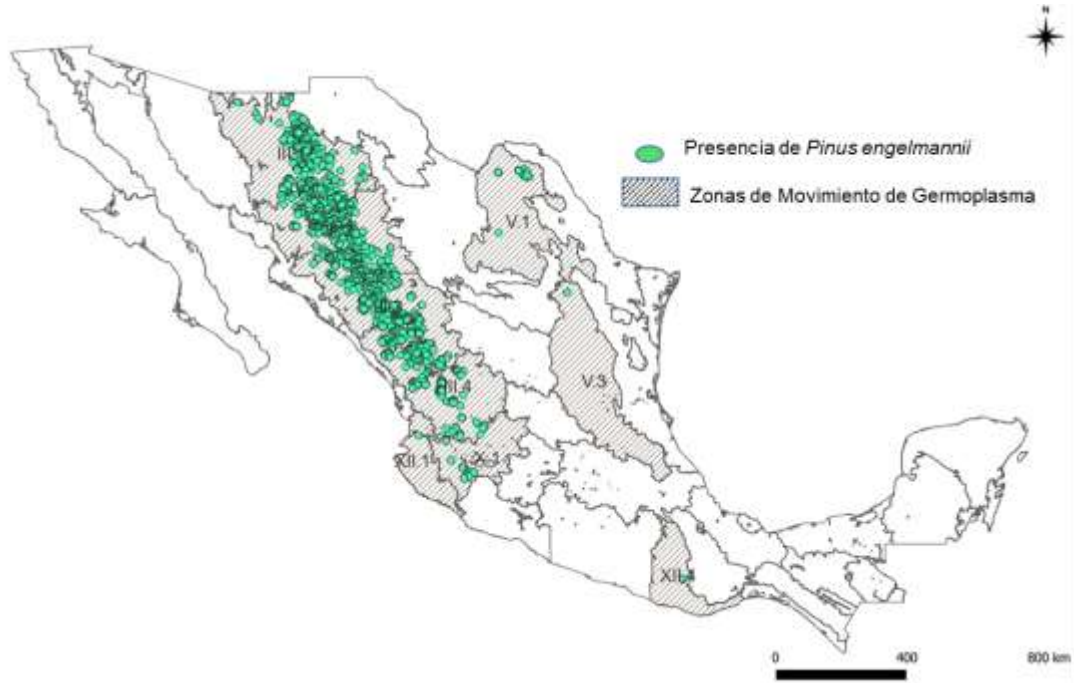


Figura 3. Distribución natural de *P. engelmannii* Carrière en México, con base en el INFyS, y zonas de movimiento de germoplasma. La presencia de la especie se indica en las zonas achuradas.

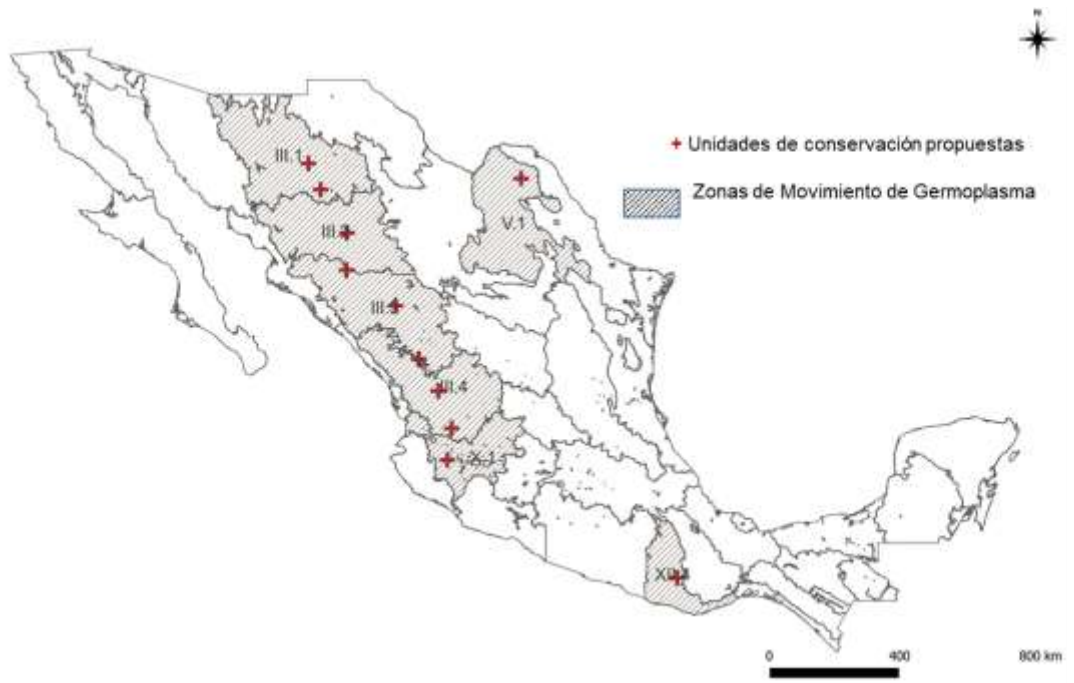


Figura 4. Ubicación de las Unidades de Conservación Genética propuestas por Zona de Movimiento de Germoplasma para *P. engelmannii* Carrière en México.



Aunque existen esfuerzos para conservar las especies de pino analizadas, la preservación de sus recursos genéticos es limitada debido a que la legislación vigente solo señala el aprovechamiento de estos recursos, pero no define estrategias de conservación. Las pocas acciones de conservación que se realizan en las instituciones gubernamentales dependen de su presupuesto, que cada año es más escaso. Los resultados mostraron que la información sobre caracterización genética para las especies no es suficiente; sin embargo, pueden ayudar a iniciar un programa nacional de conservación. La conservación de la diversidad genética debe ser una prioridad porque es la base para la eventual adaptación y resiliencia de las especies arbóreas estudiadas frente al estrés y cambio ambiental (Potter *et al.*, 2017). Por otro lado, aunque existe una red de Áreas Naturales Protegidas (ANP) que albergan algunas de las poblaciones analizadas y que podrían ser utilizadas como reservas de diversidad genética, esta es insuficiente para las necesidades futuras de conservación.

Conclusiones

En este estudio, se definieron 20 unidades de conservación genética para *P. durangensis* y *P. engelmannii* en su área de distribución natural. En particular, la segunda especie tuvo mayor número de unidades de conservación que la primera (11 y 9, respectivamente). Para *P. durangensis*, el 78% de las unidades seleccionadas contaron con información genética molecular mientras que en *P. engelmannii* fue el 45%. Solo en *P. engelmannii* se propusieron unidades en rodales semilleros (9%), pero en ambas especies se determinaron en bosques naturales (22 y 46% en *P. durangensis* y *P. engelmannii*, respectivamente). En cuando al uso de los recursos genéticos, *P. durangensis* presentó mayores valores en el número de árboles muestreados por el INFyS, número de poblaciones con datos moleculares y número de poblaciones con rodales semilleros que *P. engelmannii*, pero esta última especie tuvo registro de ensayos de procedencias.



Agradecimientos

Los autores agradecen al INIFAP por financiar este trabajo a través del proyecto fiscal número 1-1.6-10283335082-F-M.2-2 – «Definición de áreas para la conservación y uso de los recursos genéticos forestales para especies del género *Pinus*».

Literatura Citada

- Alberto, F. J., S. N. Aitken, R. Alía, S. C. González-Martínez, H. Hänninen, A. Kremer *et al.* 2013. Potential for evolutionary responses to climate change—Evidence from tree populations. *Glob. Chang. Biol.* 19:1645–1661.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007a. *Pinus durangensis* Ehren. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/959Pinus%20durangensis.pdf> [consultado el 10 de julio de 2023].
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2007b. *Pinus engelmannii* Carr. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/960Pinus%20engelmannii.pdf> [consultado el 10 de julio de 2023].
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2016. Manual para el establecimiento de unidades productoras de germoplasma forestal. Conafor. Zapopan, Jalisco, México. 71 p.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2017. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. http://www.ccmss.org.mx/descargas/Inventario_nacional_forestal_y_de_suelos_informe_2004_-_2009_pdf [consultado el 18 de enero de 2018].



CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2017. Áreas Naturales Protegidas Federales de México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpnov17gw.html> [consultado el 18 de enero de 2018].

Dvorak, W.S. 1990. CAMCORE: Industry and governments' efforts to conserve threatened forest species in Guatemala, Honduras and Mexico. *For. Ecol. Manag.* 35:151–157.

Eriksson, G., G. Namkoong and J. H. Roberds. 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *For. Ecol. Manag.* 62:15–37.

Farjon, A. 2017. A handbook of the world's conifers. 2nd ed. Koninklijke Brill. Leiden, The Netherlands. 1153 p.

Flores García A. 2018. Phenotypic variation among natural populations of pines. Implications for the management and conservation of genetic resources. Doctoral thesis. University of Valladolid. Palencia, Spain. 153 p.

Flores A. y G. Moctezuma-López. 2021a. Cosecha de madera de 20 coníferas en zonas de movimiento de germoplasma. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(66): 122-140.

Flores A., M. E. Romero-Sánchez, R. Pérez-Miranda, T. Pineda-Ojeda y F. Moreno-Sánchez. 2021b. Potencial de restauración de bosques de coníferas en zonas de movimiento de germoplasma en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(63): 4-27.

Gernandt, D.S. y J.A. Pérez-De la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Rev. Mex. Biodivers.* 85:126–133.

Koskela, J., F. Lefèvre, S. Schueler, H. Kraigher, D. C. Olrik, J. Hubert *et al.* 2013. Translating conservation genetics into management: Pan-European minimum requirements for dynamic conservation units of forest tree genetic diversity. *Biol. Conserv.* 157, 39–49.



Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Inc. Portland, OR, USA. 231 p.

Potter, K. M., R. M. Jetton, A. Bower, D. F. Jacobs, G. Man, V. D. Hipkins *et al.* 2017. Banking on the future: Progress, challenges and opportunities for the genetic conservation of forest trees. *New For.* 48: 153–180.

QGIS Development Team. 2022. QGIS Geographic Information System; v 3.28.2. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org/en/site/> [consultado el 10 de julio de 2023].

Rajora, O. P. and A. Mosseler. 2001. Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. *Euphytica* 118:197–212.

Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14:107–120.

Wehenkel, C., S. Del Rocío Mariscal-Lucero, J. P. Jaramillo-Correa, C. A. López-Sánchez, J. J. Vargas-Hernández and C. Sáenz-Romero. 2017. Genetic diversity and conservation of Mexican forest trees. p. 37–67. *In:* Ahuja, M. and S. Jain (eds.). *Biodiversity and Conservation of Woody Plants, Sustainable Development and Biodiversity*. Springer International Publishing. Cham, Switzerland.



USO POTENCIAL DE DIFERENTES FUENTES DE RADIACIÓN EN LA PRODUCCIÓN EN VIVERO DE *Pinus pseudostrabus* LINDL

Laura Yasmín Flores López²⁶³, Lourdes Georgina Iglesias Andreu^{263*}, Martín Ortiz Morales²⁶⁴ y Lourdes Palafox Chávez²⁶⁵

Resumen

Pinus pseudostrabus Lindl. es una especie que se distribuye ampliamente en México y en el estado de Veracruz. Por su importancia ocupa el tercer lugar en aprovechamiento forestal y para el establecimiento de reforestaciones y restauraciones. Sin embargo, en los últimos años debido a la deforestación, los incendios forestales, el manejo deficiente de las semillas y la mala calidad de las plantas producidas en viveros, se han presentado altos porcentajes de mortalidad de la especie. Por ello es de gran importancia el empleo de herramientas biotecnológicas como las radiaciones ionizantes y no ionizantes para producir plantas de calidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto hormético de diferentes fuentes de radiaciones en la capacidad germinativa de las semillas de *Pinus pseudostrabus*, con el fin de generar propágulos de calidad para el establecimiento de reforestaciones. Para ello se colectó germoplasma (semillas) de árboles *plus* la comunidad de las Vigas de Ramírez, Veracruz y se irradiaron, con diferentes dosis y fuente de radiación (rayos X y láser He-Ne), un total de 1440 semillas para evaluar su efecto sobre la capacidad germinativa. Los resultados mostraron que las irradiaciones con láser He-Ne generó un mayor porcentaje de germinación (56.67%), lo que contrastó con el mayor porcentaje de germinación (50.03%) detectado con la dosis de 0.5 Gy de rayos X, que superó los porcentajes obtenidos (33 a 35%), con los tratamientos testigo de ambas fuentes de radiación. Considerando los costos que el empleo de ambas fuentes de radiación pudiera implicar para los productores se recomienda irradiar las semillas de esta especie con dosis de 150s con láser He-Ne ya que permiten generar un mayor número de propágulos, con mejor crecimiento y desarrollo bajo condiciones de vivero.

Palabras clave: hormesis, germinación, rayos X, laser He-Ne, forestales

²⁶³ Instituto de Biotecnología y Ecología Aplicada, Universidad Veracruzana, México. *Autor de correspondencia: liglesias@uv.mx

²⁶⁴ Centro de Investigaciones en Óptica, AC Unidad Aguascalientes.

²⁶⁵ Centro Estatal de Cancerología Servicios de Salud de Veracruz.



Introducción

Pinus pseudostrobus Lindl. es una especie que posee una amplia distribución geográfica y climática. Esto le ha permitido ser considerada una de las especies forestales de mayor importancia económica y ecológica en México (Sandoval-García *et al.*, 2019). Debido a su gran plasticidad se desarrolla muy bien en numerosos ambientes (Noland *et al.*, 2001; Cambrón-Sandoval *et al.*, 2011).

Esta plasticidad competitiva la ha llegado a posicionar como una de las especies más útiles en los programas de reforestación. Con ese fin se le ha ocupado en diferentes entidades de México, como Morelos, Puebla, Hidalgo, Estado de México y Distrito Federal, así como en los estados sureños de Oaxaca, Chiapas y Guerrero. Esto ha permitido lograr una producción anual cercana a 19 millones de plantas, que se han cultivado tanto en sistemas tradicionales como tecnificados (Viveros *et al.*, 2006; CONAFOR, 2011). Por su importancia se destinan estos propágulos para el establecimiento de plantaciones comerciales para explotar su capacidad en la producción de resina y la calidad de su madera que mayormente se destina al aserrío, triplay, chapa, cajas de empaque, molduras, así como a la industria de la construcción, fabricación de ventanas, muebles finos, artesanías, ebanistería y pulpa de papel. Dada sus cualidades ornamentales, se le utiliza también en campos deportivos y parques (Gómez, 2009; Pérez-Miranda *et al.*, 2012).

Una de las problemáticas a las que actualmente enfrenta la propagación de esta especie es los altos porcentajes de mortalidad que se presenta debido al manejo deficiente de las semillas y la mala calidad de las plántulas lo que limita el establecimiento de las reforestaciones y/o plantaciones. Para contribuir a elevar el porcentaje y calidad de los propágulos producidos de esta especie resulta de utilidad el empleo de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, con el fin de generar un efecto hormético en cuanto a su comportamiento germinativo y crecimiento en vivero, durante los primeros meses de vida.

La hormesis es un fenómeno de dosis-respuesta bifásica, que usualmente se genera en respuesta del organismo ante efectos de factores estresantes como las radiaciones. Al exponerse las plantas a bajas dosis de un factor estresante como las radiaciones ionizantes (IR) se puede desencadenar efectos positivos en el crecimiento (Jan *et al.*, 2012; Majeed *et al.*, 2018), lo que contrasta con lo que sucede cuando los mismos se exponen a niveles altos de estrés (Agathokleous *et al.*, 2019). Es por ello que se ha puesto de relieve en diversas especies que la respuesta de la germinación y el crecimiento de las diferentes plantas al tratamiento con radiación generalmente depende del tipo y la intensidad de la



radiación (dosis y tasa de dosis), el tiempo de exposición y de la especie (Araujo et al., 2016; Majeed *et al.*, 2018).

Desde el punto de vista molecular el efecto de este fenómeno se ha estado dilucidando. Al respecto se ha indicado que pudiera estar asociado con la activación de proteínas de choque térmico, proteosomas, cambios en el metabolismo del nitrógeno, equilibrio fitohormonal y, en general, procesos de reparación y respuesta antioxidante (Calabrese *et al.*, 2009; Tang y Loke, 2015). Las radiaciones generan especies reactivas de oxígeno (ROS) que juegan un papel importante en la transducción de señales intracelulares y la activación del sistema de defensa antioxidante enzimático (Wrzaczek *et al.*, 2013).

Se sabe que las ROS pueden acelerar una transición del genoma de la semilla en estado de latencia a un estado activo (Poschenrieder *et al.*, 2013). Esto se manifiesta en cambios radicales en el metabolismo celular y activación de todas las funciones fisiológicas (Kuehne *et al.*, 2015). Por ello las semillas sometidas a bajas dosis de radiación pueden sufrir cambios drásticos en su programa genético que contribuyan a reducir los tiempos de la transición de la latencia a la germinación.

Debido a todo lo anterior, se propuso en el presente trabajo evaluar el efecto de diferentes fuentes de radiación ionizantes y no ionizante como tratamientos pre-germinativos en *Pinus pseudostrobus* para generar un efecto hormético en su capacidad germinativa con fines de generar propágulos de calidad para contribuir al desarrollo de trabajos de reforestación.

Matertiales y Metodos

En el año 2020 se colectaron las semillas de un rodal natural de *Pinus pseudostrobus*, que se encuentra a 2700 m s. n. m. en la Localidad “El Aguaje” perteneciente al municipio de Las Vigas de Ramírez, Veracruz, México (19°38' latitud norte y 97°06' longitud oeste). Del conjunto de semillas colectadas se seleccionaron 1440 semillas para ser irradiadas; primero se seleccionaron 720 semillas las cuáles se sometieron a diversas dosis (0, 0.5, 1.5, 3.0, 5.0, 7.5 Gy) de radiación con un acelerador lineal marca Elekta Synergy Platform (fotones con energía de 6 MV). Con este fin se colocaron las muestras de semillas a una profundidad de 1.5 cm (campo de 30 x 30 cm) (Flores-López *et al.*, 2022). Las 720 semillas restantes se sometieron a irradiación no ionizante empleando diferentes tiempos de radiación (0, 30, 60, 90, 120 y 150 s), con un láser He-Ne de baja intensidad (longitud de onda 632 nm, 10 mW, CW). Se utilizó para ello un rayo láser, expandido a un tamaño de aproximadamente 2,5 cm de



diámetro. Los tiempos de exposición se seleccionaron siguiendo lo empleado por Costilla-Hermosillo et al. (2019).

Tanto las semillas irradiadas y el tratamiento control se sembraron, bajo condiciones de vivero en tubetes (TB-310) de 16 cm de largo, con una mezcla de: Peat Moss, vermiculita y agrolita, en proporción 3:1:1. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado en el que cada dosis estuvo representada por cuatro repeticiones de 30 semillas cada una. En total se sembraron 1440 semillas (120 por tratamiento). Las semillas germinadas se contaron diariamente durante 25 días. Para cada dosis se determinó la capacidad germinativa (CG), como el porcentaje de germinación al final de la prueba (Kolotelo *et al.*, 2001). El análisis estadístico de la información se realizó mediante el programa estadístico STATISTICA (versión 7) (Statsoft, Inc. 1998). Previamente, los datos de la capacidad germinativa se transformaron con la función arcoseno de la raíz cuadrada de p ($\theta = \arcseno \sqrt{p}$), θ donde es el dato transformado y p es la capacidad germinativa sin transformar, para normalizar la distribución (Sokal y Rohlf, 1981). Finalmente, se realizaron comparaciones de media con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para todas las variables evaluadas.

Resultados y Discusión

México es el país con la mayor diversidad de especies de Pinos (Pausas, 2015). Estos tienen una gran importancia ecológica, económica y social (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005). Por ello, la producción de plántula forestal es una actividad que ha recobrado gran importancia en las últimas décadas, debido a la necesidad de restablecer la cobertura vegetal y evitar presión sobre los bosques mediante actividades de reforestación y restauración (García *et al.*, 2001; Benítez *et al.*, 2002).

Las semillas irradiadas con dosis de radiaciones laser de 30 y 150 s iniciaron la germinación 12 días después de la siembra, mientras que las semillas sometidas a las dosis de 120 s germinaron a los 14 días al igual que las semillas irradiadas a los 60, 90 y 0 s que también germinaron hasta el día 14. Los resultados de las semillas irradiadas con diferentes dosis (0.5, 1.5, 3.0, 5.0 y 7.5 Gy) en el acelerador lineal germinaron el día 12 después de la siembra. Sin embargo, las dosis de 0.5, 1.5 y 3.0 Gy presentaron un porcentaje mayor de semillas germinadas (50.03, 46.46 y 47.50% respectivamente) conforme transcurrieron los días. En la Figura 1 se muestran algunas plántulas obtenidas de las semillas irradiadas.



Figura 20. Producción de plántulas obtenidas de semillas de *P. pseudostrobus* irradiadas a bajas dosis con láser He-Ne y acelerador lineal. A y C. Semillas germinadas en el día 14. B. Plántulas a los 18 días después de la siembra. D. Plántulas a un mes de la siembra.

En el Cuadro 1 se presentan los resultados con fuente de irradiación con la fuente no ionizante de láser He-Ne para aumentar la capacidad germinativa. La mejor dosis obtenida fue la irradiación con láser a una dosis de 150 s (56.57%), seguida de la fuente de rayos X que empleando una dosis de 0.5 Gy (50.3%), generaron un efecto positivo en la germinación, mayor que el testigo sin irradiar. Sin embargo, se pudo constatar que la capacidad germinativa obtenida con el láser He-Ne aumentaba conforme la aumentaba la dosis, contrario con lo observado con la radiación de las semillas con el acelerador lineal (rayos X) pues con esta fuente disminuía la capacidad germinativa a medida que aumentaba la dosis.



Cuadro 1. Capacidad germinativa (CG) de semillas de *P. pseudostrobus* irradiadas a diferentes dosis con acelerador lineal y láser He-Ne.

Dosis (s) con láser He-Ne	Capacidad Germinativa (%)	Dosis (Gy) con acelerador lineal	Capacidad Germinativa (%)
0	33.33 ^a	0	35.46 ^a
30	52.50 ^b	0.5	50.03 ^e
60	53.00 ^{bc}	1.5	46.46 ^f
90	53.33 ^c	3	47.50 ^d
120	53.33 ^c	5	45.15 ^c
150	56.67 ^d	7.5	42.31 ^b
Error estándar ±	2.1		1.8

Los valores representan la media ± Error estándar. Las medias con letras diferentes representan diferencias significativas. (Tukey, $p \leq 0.05$).

En especies forestales se han desarrollado diversos trabajos que han aplicado las radiaciones ionizantes y no ionizantes para modificar características como germinación, crecimiento, supervivencia y contenido de clorofila. Tal es el caso de especies como *Pinus kesiya* D. Don, *Pinus wallichiana*, *Abies religiosa* (Kunth), *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden y *Magnolia champaca* L (Thapa, 2004; Iglesias-Andreu *et al.*, 2010; Zanzibar y Sudrajat, 2016) en los que se ha demostrado que la aplicación de radiaciones gamma en semillas en un rango de dosis de 0.5 a 10 Gy se genera un efecto hormético en la capacidad germinativa. Con estos resultados se demuestra el efecto hormético de las fuentes de radiación empleadas sobre la capacidad germinativa de esta valiosa especie.

Los resultados obtenidos en los parámetros germinativos observados en este trabajo que variaron en el rango de 30% hasta 80%, se encuentran en el rango de germinación obtenidos en otros estudios realizados en *P. pseudostrobus* (Aparicio-Rentería *et al.*, 1999; Calleros *et al.*, 2016 y Rangel *et al.*, 2017). Estos resultados confirman que el efecto de las radiaciones ionizantes en la germinación de una especie no solo depende del tipo de radiación sino también de la dosis aplicada, del tiempo, de la procedencia de la semilla y de las condiciones ambientales en las que se germina (Udensi *et al.*, 2012).



Conclusiones

Las dos diferentes fuentes de radiación empleadas en las semillas de *P. pseudostrabus* generaron un efecto hormético en los parámetros germinativos con respecto a las semillas no irradiadas, sin embargo, la dosis que mostró un mayor efecto estimulador fue la dosis de 150 s con el láser He-Ne seguida de la dosis de 0.5 Gy con el acelerador lineal.

Los resultados obtenidos indican que la irradiación como tratamiento pre-germinativo con láser He-Ne puede reducir el tiempo de germinación y mejorar la capacidad germinativa de *P. pseudostrabus* en los viveros forestales. Esta herramienta biotecnológica pudiera ser de utilidad para su empleo por los productores interesados en la propagación de esta valiosa especie forestal. Aunque en este trabajo solo se evaluó el efecto hormético sobre la capacidad germinativa se espera que evaluaciones posteriores que se realizaran en estos materiales que se desarrollan bajo condiciones de invernadero puedan manifestar un efecto hormético de interés en el crecimiento, desarrollo y calidad de estas plantas

Agradecimientos

Agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la subvención No. 1088083 a LYFL, así como al Centro Estatal de Cancerología Servicios de Salud de Veracruz Xalapa Veracruz, al Centro de Investigaciones en Óptica en su Unidad Aguascalientes y al Vivero Forestal Universitario de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana.

Literatura Citada

Aparicio-Rentería, A., Cruz-Jiménez, H., y Alba-Landa, J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrabus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, 1(2), 31-34.

Agathokleous, E., Kitao, M., y Calabrese, E. J. 2019. Hormesis: a compelling platform for sophisticated plant science. *Trends in plant science*, 24(4), 318-327.



- Araujo, S. D. S., Paparella, S., Dondi, D., Bentivoglio, A., Carbonera, D., y Balestrazzi, A. 2016. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*, 7, 646.
- Benítez, G., Equihua, M., y M.T., Pulido. 2002. Diagnóstico de la situación de los viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 8, 5-12.
- Calabrese, E. J., y Blain, R. B. (2009). Hormesis and plant biology. *Environmental Pollution*, 157(1), 42-48.
- Calleros, P.A.D., de Jesús Navar-Chaidez, J., Pompa-García, M., y Treviño-Garza, E.J. 2016. Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 29-36.
- Cambrón-Sandoval, V. H., España-Boquera, M. L., Sánchez-Vargas, N. M., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J. J., y Herrerías-Diego, Y. 2011. Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(2), 253-260.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal, MX). 2011. Indicadores de gestión de desempeño del programa PROCOREF durante el ejercicio fiscal 2010. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Consultado 23 ene. 2023. Disponible en: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/evaluaciones/documentos-y-alcances-de-las-evaluaciones>
- Costilla-Hermosillo, M. G., Ortiz-Morales, M., Loza-Cornejo, S., Frausto-Reyes, C., y Metwally, S. A. 2019. Bioestimulación láser para mejorar capacidad germinativa de semillas y el crecimiento de plántulas de *Prosopis laevigata* y *Jacaranda mimosifolia*. *Madera y bosques*, 25(2).



- Flores-López, L. Y., Iglesias-Andreu, L. G., & de Lourdes Palafox-Chávez, M. 2022. Radiohormetic effect on the germination of *Pinus pseudostrobus* Lindl. seeds irradiated with linear accelerator. Disponible en: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-2002227/v1/ddcf07c2-410e-43d2-a903-7013cb0f2fc5.pdf?c=1662490219>
- García, O.C., Alcantar, G.G., Cabrera, R.I., Gavi, F.R., y, V.H., Volke. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3), 249-258.
- Gómez D., J. D., A. I. Monterroso R., J. A. Tinoco R. M. L., y Toledo R. 2009. Cuarta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático: Sector forestal. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México; Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. México. 93 p.
- Jan, S., Parween, T., Siddiqi, T. O., y Mahmooduzzafar. 2012. Effect of gamma radiation on morphological, biochemical, and physiological aspects of plants and plant products. *Environmental Reviews*, 20(1), 17-39.
- Iglesias-Andreu, L.G., Sánchez-Velásquez, L.R., Tivo-Fernández, Y., Luna-Rodríguez, M., Flores-Estévez, N., Noa-Carrazana, J.C., Ruiz-Bello, C., y Moreno-Martínez, J.L. (2010) - Effect of gamma radiation on *Abies religiosa* (Kunth) Schltd. et Cham. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(1), 5-12.
- Kolotelo, D., Steenis, E. V., Peterson, M., Bennett, R., Trotter, D., y Dennis, J. 2001. Seed handling guidebook. British Columbia Ministry of Forests, Tree Seed Centre. 46 p.
- Kuehne, A., Emmert, H., Soehle, J., Winnefeld, M., Fischer, F., Wenck, H., y Zamboni, N. 2015. Acute activation of oxidative pentose phosphate pathway as first-line response to oxidative stress in human skin cells. *Molecular cell*, 59(3), 359-371.



- Majeed, A., Muhammad, Z., Ullah, R., y Ali, H. 2018. Gamma irradiation i: effect on germination and general growth characteristics of plants—a review. *Pakistan Journal of Botany*, 50(6), 2449-2453.
- Noland, T., L.; Mohammed, G., H., y WAGNER, R., G. 2001. Morphological characteristics associated with tolerance to competition from herbaceous vegetation for seedlings of jack pine, black spruce and white pine. *New Forests* 21: 199–215.
- Pausas, J.G. (2015) Evolutionary fire ecology: lessons learned from pines. *Trends in Plant Science*, 20(5), 318-324.
- Pérez Miranda, R., Moreno Sánchez, F., González Hernández, A., y Arreola Padilla, V. 2013. Escenarios de la distribución potencial de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. con modelos de cambio climático en el Estado de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(15), 73-86.
- Poschenrieder, C., Cabot, C., Martos, S., Gallego, B., y Barceló, J. 2013. Do toxic ions induce hormesis in plants? *Plant science*, 212, 15-25.
- Rangel, S.R., Licona, L.E.R., Serrano, L.C., Zenteno, C.R., y Pineda, M.G. 2017. Comportamiento germinativo y crecimiento temprano de *Pinus devoniana* y *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae). *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 10(37), 749-756.
- Sandoval-García, R., González-Cubas, R., y Bautista-Cruz, A. 2020. Asociación ecológica de *Pinus pseudostrobus* (Pinaceae) como respuesta de las variaciones biogeográficas en el Centro-Sur de México. *Acta Botánica Mexicana*, 127: e1627.
- Thapa, C.B. 2004. Effect of acute exposure of gamma rays on seed germination and seedling growth of *Pinus kesiya* gord and *Pinus wallichiana* A.B. Jacks. *Our Nature*, 2(1), 13-7.



- Tang, F. R., y Loke, W. K. 2015. Molecular mechanisms of low dose ionizing radiation-induced hormesis, adaptive responses, radioresistance, bystander effects, and genomic instability. *International journal of radiation biology*, 91(1), 13-27
- Udensi, O., Arong, G.A., Obu, J. A., Ikpeme, E.V., y Ojobe, T.O. 2012. Radio-sensitivity of some selected landraces of pulses to gamma irradiation: indices for use as improvement and preservation techniques. *American Journal of Experimental Agriculture*, 2(3), 320
- Viveros, V. H., C. Sáenz R., J. J. Vargas H. y J. López U. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudo-strobus* establecidas en dos sitios de Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (2):121-1.
- Wrzaczek, M., Brosche, M., y Kangasjärvi, J. 2013. ROS signaling loops—production, perception, regulation. *Current opinion in plant biology*, 16(5), 575-582.
- Zanzibar, M., y Sudrajat, D. J. 2016. Effect of Gamma Irradiation on Seed Germination, Storage, and Seedling Growth of *Magnolia champaca* L. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 3(2), 95-106.



ESTIMULACIÓN DE LA FLORACIÓN EN ÁRBOLES DE NAVIDAD DE *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco

Liliana Muñoz Gutiérrez^{266*} y Sara Irene Velasco Hernández²⁶⁶

Resumen

Con el objetivo de generar un programa operativo de producción de semilla en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de árboles de Navidad, se estableció un ensayo en árboles jóvenes de *P. menziesii* de entre 10 y 13 años de origen sexual establecidos en plantaciones de árboles de Navidad en el Parque Ecoturístico Bosque Esmeralda, Amecameca, Estado de México. Se evaluó el efecto de dos tipos de ácido giberélico (AG₃ y AG_{4/7}) y del anillado en el tronco sobre la formación de estructuras reproductivas femeninas y masculinas. Se aplicó una dosis de ambos tipos de AG (2.55 mg cm⁻²) por inyección en el tronco. Los datos se analizaron empleando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney con un nivel de significancia $\alpha=0.05$. Se determinó que la proporción de árboles con estróbilos femeninos fue del 20% y entre el 10 y 13% los árboles que formaron estróbilos masculinos. El anillado en el tronco por sí solo no tuvo efecto sobre el desarrollo de las estructuras ($P=0.76$ y 0.61); mientras que en combinación con el AG_{4/7} sí logró promover un mayor número de estróbilos femeninos y masculinos (222 y 192, respectivamente). La aplicación de AG₃ no tuvo un efecto significativo sobre la diferenciación de las yemas vegetativas a florales, lo que puede ser atribuido a que el tipo de ácido giberélico inhibe el desarrollo de la floración como ocurre en algunos frutales tropicales (mango) y de clima templado (manzana); aun así no hay evidencias de su efecto en especies de coníferas; por lo anterior, se sugiere realizar aplicaciones de AG₃ considerando frecuencias, concentraciones y tiempo de aplicación para el desarrollo vegetativo de yemas. Se concluye que los tratamientos con AG_{4/7} con y sin anillado son efectivos en la promoción de la floración en árboles jóvenes de *P. menziesii* y pueden aplicarse estos tratamientos en un programa operativo para la producción de semilla en el corto y mediano plazo.

²⁶⁶ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF).
INIFAP *gutierrez.liliana@inifap.gob.mx



Palabras clave: anillado en el tronco, AG₃ y AG_{4/7}

Introducción

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco se encuentra en la porción norte de la Sierra Madre Occidental (Del Castillo *et al.*, 2004); en el centro del país (Domínguez, 1986; Vázquez, 2004) y Guanajuato (Villagómez y Bello, 2015); en la Sierra Madre de Oaxaca, en Santa Catarina Ixtepeji (Acevedo, 1998). El uso principal es ornamental, como árbol de Navidad (Guerra *et al.*, 2018), debido a sus características de conformación de la copa, color y retención de follaje, olor y durabilidad después de cortado (Álvarez *et al.*, 2007). La demanda de árboles de Navidad en los últimos diez años fue de alrededor de un millón de individuos, de los cuales el 45% se cultivaron en México y el resto se importó de Estados Unidos de América y Canadá (CONAFOR, 2020).

Factores como el aislamiento y tamaño reducido de las poblaciones, altas tasas de endogamia son comunes con baja producción de semillas llenas (Sorensen, 1971; Mosseler *et al.*, 2000; Cruz, 2007; Ventura *et al.*, 2010); al respecto, estudios previos han mostrado que poblaciones pequeñas y aisladas de *P. menziesii* en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, en el centro de México, presentan escasa producción de semillas y baja capacidad germinativa (Yáñez, 1991; Mápula *et al.*, 1996; Zavala y Méndez, 1996), mínima regeneración natural (Mápula *et al.*, 2007), y la proporción de renuevos-adultos es muy baja con una tendencia hacia el desplazamiento de la regeneración natural por brinzales de otras especies leñosas *Quercus* sp, *Abies* sp., *Alnus* sp. (Domínguez *et al.*, 2004).

La producción de semilla llena de *P. menziesii* es sumamente escasa en todas las poblaciones estudiadas de México (Mápula *et al.*, 2007). La baja densidad de árboles adultos y aislados en algunas de las poblaciones hace suponer que el éxito reproductivo y la germinación de la semilla son relativamente bajos, como lo muestran los pocos estudios de producción y germinación de semillas (Yáñez, 1991; Mápula *et al.*, 1996; Juárez *et al.*, 2006). En años con reducida producción de semilla es común que disminuya la viabilidad de ésta, porque el escaso número de individuos que participan en la reproducción favorece altos niveles de autopolinización (Hermann y Lavender, 1990).

Considerando los factores que afectan la producción de semillas en poblaciones naturales, y dado que se requiere de un abasto continuo de semillas de calidad para el establecimiento de árboles de Navidad, es necesario establecer un programa de manejo de rodales naturales y en plantaciones que incluya la



producción de semilla. En douglas y otras coníferas se han desarrollado diversas técnicas para acelerar el desarrollo de estructuras reproductivas, en árboles de corta edad producidos por semillas o por injertos (Bonnet y Zaerr, 1987); mediante la aplicación de tratamientos culturales como anillado en el tronco, la aplicación de hormonas vegetales (giberelinas, citocininas, auxinas o ácido abscísico), fertilizantes a base de nitrógeno, tratamientos con calor, podas de ramas y raíz (Kong y Aderkas, 2007). Vargas y Vargas (2016) emplearon una combinación de anillado en el tronco y dos niveles de AG_{4/7} (1.27 y 2.54 mg/cm²), los cuales resultaron eficaces para inducir estructuras reproductivas en un huerto clonal de *Pinus patula* de 7-8 años de edad, lograron inducir la formación de estróbilos masculinos y femeninos en un 48 y 82% de los árboles, respectivamente. Mientras que Muñoz *et al.*, (2010), en plantaciones de árboles de navidad de *P. menziesii* y de origen sexual, encontraron que la mejor combinación de tratamientos fue una dosis de 1.27 mg/cm² de AG_{4/7} y anillado en el tronco, entre el 37.5 y 62.5% de los árboles formaron estructuras femeninas, y en menor cantidad (menos del 20%) estructuras masculinas. Estos autores sugieren que la posible causa de esta respuesta está relacionada con el momento en que se aplicaron los tratamientos, ya que los estróbilos masculinos se presentaron en árboles que recibieron el tratamiento cuando el brote de yemas vegetativas se encontraba entre un 30 y 70% de avance, mientras que las estructuras femeninas aumentaron en árboles con más del 90% de brotación. Con base en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de dos tipos de ácido giberélico (AG₃ y AG_{4/7}) y el anillado del tronco sobre el desarrollo y formación de estructuras reproductivas en una plantación de árboles jóvenes y de origen sexual de *Pseudotsuga menziesii*.

Materiales y Métodos

Localización del ensayo

El ensayo se estableció en la plantación de árboles de Navidad de *P. menziesii* ubicada en el Parque Ecoturístico Bosque Esmeralda, perteneciente al ejido Emiliano Zapata en Amecameca de Juárez, Estado de México, (19° 07' 14" latitud Norte y -98° 44' 06" longitud Oeste) a 2,640 msnm (Figura 1).

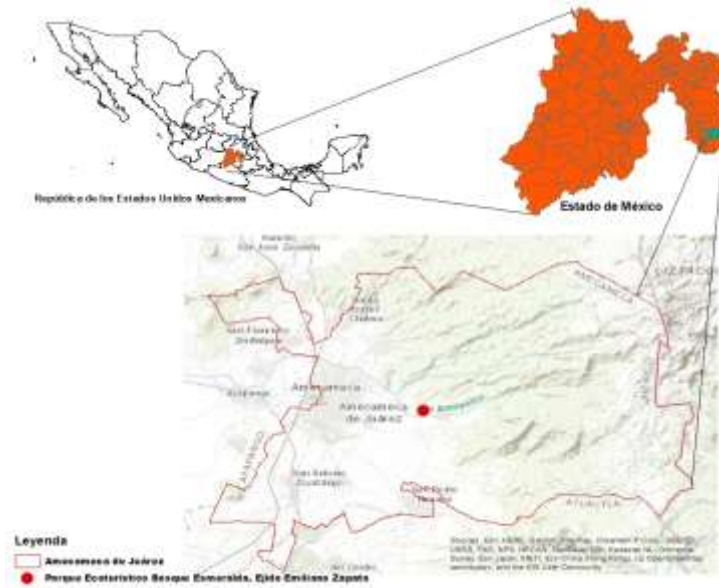


Figura 21. Ubicación del parque ecoturístico Bosque Esmeralda, Ejido Emiliano Zapata, Amecameca de Juárez, Estado de México. Autor: Sara Velasco.

Tratamientos para estimular la floración

Se siguió la metodología empelada por Muñoz *et al.* (2010), en una sección de la plantación se seleccionaron 30 árboles jóvenes de 7 y 8 años lo más homogéneo posible en cuanto a altura y diámetro del tronco, plantados directamente en el terreno y en condición de luz solar plena. Se aplicó una dosis de AG₃ y una de AG_{4/7} (2.55 mg cm⁻² equivalente a 200 mg de AG en un árbol de 10 cm de área basal). Los tratamientos fueron T1: AG₃; T2: anillado + AG₃; T3: AG_{4/7}; T4: anillado + AG_{4/7}; en un diseño completamente al azar con arreglo factorial y seis repeticiones por tratamiento.

El anillado consistió en realizar dos cortes en forma de media luna con un serrrote, aproximadamente en un 60% de la circunferencia del tronco; el primer corte se hizo a una altura de 50 cm del suelo y el segundo a una distancia de 1.5 veces el diámetro del árbol. Los tratamientos se aplicaron al inicio del crecimiento del brote terminal.

El AG_{4/7} se aplicó en una solución de 30 mg mL⁻¹ en alcohol etílico al 96%, y el AG₃ diluido en 40 ml de agua destilada, las dosis se aplicaron en un solo evento. En el tronco se hicieron orificios inclinados de 2-3 cm de profundidad, a 10 cm por arriba del corte superior del anillado y a una altura similar en los árboles no anillados. La solución requerida, en función de la dosis y el área basal del tronco, se aplicó con micro-pipeta; en los árboles testigo se aplicó un volumen equivalente de alcohol etílico al



96%; posteriormente los orificios se taparon con cera para evitar pérdida de la solución por evaporación.

VARIABLES EVALUADAS Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Al año siguiente de aplicados los tratamientos se estimó el porcentaje de árboles con formación de estructuras reproductivas femeninas y masculinas, así como el número de estróbilos masculinos y femeninos por árbol. La comparación de medias se evaluó empleando la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y para las interacciones de los factores se empleó el ANOVA de una vía con los datos transformados en rangos y prueba de comparación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$). Los datos se analizaron con el programa de análisis estadístico SAS (SAS, 2013).

Resultados y Discusión

Proporción de árboles con estructuras reproductivas

El porcentaje de árboles que formaron estróbilos femeninos fue del 20% con la aplicación del AG_{4/7} solo o en combinación con el anillado en el tronco; con los mismos tratamientos se promovió la formación de estróbilos masculinos, pero con menor porcentaje (10-13%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Proporción de árboles de *Pseudotsuga menziesii* que desarrollaron estróbilos masculinos (♂) y femeninos (♀).

Tratamiento		Estróbilos (%)	
		♀	♂
T1	AG ₃	3	0
T2	anillado + AG ₃	0	0
T3	AG _{4/7}	20	10
T4	anillado + AG _{4/7}	20	13
Total		43	23

Número de estructuras reproductivas por árbol.



Se logró inducir la formación de ambos tipos de estructuras en árboles de origen sexual, respuesta similar a la obtenida por Muñoz *et al.*, (2010) quienes reportaron que entre 37.5 a 62.5% de los árboles formaron estructuras femeninas y del 6 al 12.5% estructuras masculinas, con materiales de origen sexual y edades entre 10 y 13 años, en condiciones de luz solar plena y sin manejo de podas y fertilización durante el último año. La mayoría de los trabajos aplican los tratamientos en árboles de origen asexual, usualmente en injertos, lo que representa mayor edad ontogénica y, por lo tanto, mayor respuesta a la formación de las estructuras reproductivas, pero con los resultados obtenidos se demuestra que es posible promover la floración en árboles jóvenes.

El efecto del anillado por sí solo no tuvo un efecto sobre el desarrollo de estructuras reproductivas femeninas ($P = 0.76$) y masculinas ($P = 0.61$). La aplicación de ambos tipos de ácidos giberélicos (AG_3 y $AG_{4/7}$) si tuvieron un efecto ($P < .0001$ y 0.0028) (Cuadro 2). En promedio fue mayor la respuesta en el número de estructuras femeninas desarrolladas con la aplicación de $AG_{4/7}$ y anillado en el tronco que cuando se aplica el AG solo (78 vs. 23, respectivamente); la respuesta fue similar para la formación estructuras masculinas (20 vs. 7, respectivamente) (Figura 2).

Cuadro 2. Prueba de U de Mann-Whitney para el número de estructuras reproductivas masculinas y femeninas de *Pseudotsuga menziesii*.

Factor	Estróbilos femeninos			Estróbilos masculinos		
	Suma de puntajes	Puntaje medio	Pr < Z	Suma de puntajes	Puntaje medio	Pr < Z
Anillado			0.7614			0.6148
Sin	144.50	12.04		142.50	11.87	
Con	155.50	12.95		157.50	13.12	
AG_3			<.0001			0.0028
Sin	222.0	18.50		192.0	16.0	
Con	78.0	6.50		108.0	9.0	
$AG_{4/7}$			<.0001			0.0028
Sin	78.0	6.50		108.0	9.0	
Con	222.0	18.5		192.0	16.0	



Los resultados demostraron la efectividad de los tipos de ácido giberélico sobre la diferenciación de estructuras reproductivas; sin embargo, el efecto fue mayor con AG_{4/7} solo o en combinación con el anillado en el tronco sobre el desarrollo de estructuras femeninas principalmente, lo que se ha demostrado en trabajos similares y con otras especies de coníferas (Cherry *et al.*, 2007; Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2010; Vargas-Hernández y Vargas-Abonce, 2016); respecto a la formación de estróbilos masculinos, esto siguen siendo escasos, por lo tanto, se debe continuar probando con factores como la dosis y la época de aplicación, sin embargo, Cherry *et al.* (2007) lograron promover mayor número de estróbilos femeninos con dosis bajas de AG_{4/7} (0.338 y 1.35 mg cm⁻²). Por otra parte, es necesario probar con la aplicación de los tratamientos en diferentes etapas de desarrollo de los brotes, ya que la formación de ambos tipos de estróbilos tendió a aumentar cuando los brotes se encontraban fenológicamente más avanzados; mayor número de estróbilos femeninos con más del 90% de brotación al momento de aplicar los tratamientos, y para estróbilos masculinos con un 30 y 70% (Muñoz-Gutiérrez *et al.*, 2010).

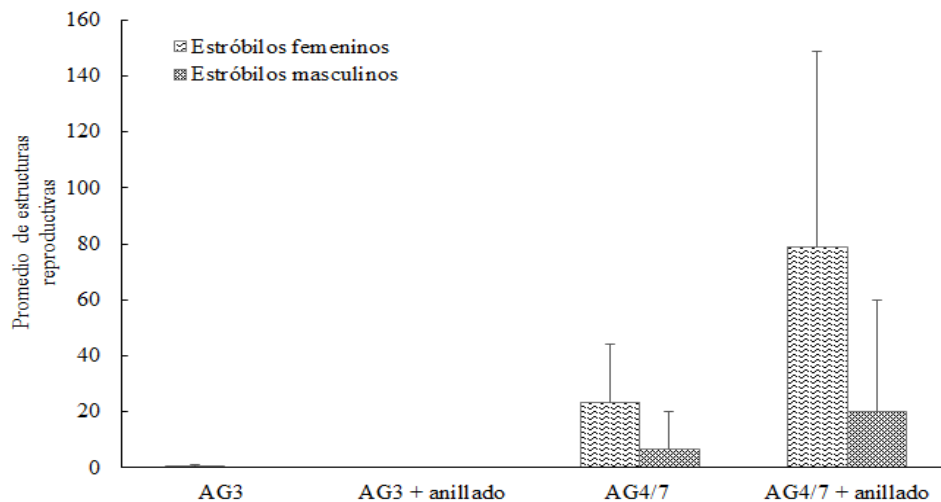


Figura 2. Efecto de la interacción tipo de ácido giberélico y anillado en el tronco sobre la formación de estructuras reproductivas masculinas y femeninas.

Diversos autores han mostrado que las giberelinas o ácido giberélico (AG) inhiben la iniciación floral en diversas especies de frutales y no se ha probado en coníferas; se sabe que su efecto está influenciado por el estado de desarrollo de la yemas, dosis y época de aplicación; por ejemplo, dosis altas de AG₃ (200 mg/litro) aplicadas a yemas de mango en reposo estimula el crecimiento vegetativo tardío, y bajas concentraciones (25 y 50 mg/litro) provocaron una brotación temprana y crecimiento reproductivo



(Salazar y Lovatt, 1999). Otro factor es que, si se aplica el AG₃ en varias ocasiones, aún en proporciones bajas, son más efectivas que una sola, sin embargo, el momento preciso debe ser definido (Turnbull *et al.*, 1996). Por lo anterior, en el presente trabajo, es posible que el AG₃ tuviera un efecto similar sobre *P. menziessi*, en inhibir o retrasar la formación de estructuras reproductivas, ya que su efecto fue poco significativo, es necesario aplicar en diferentes momentos de desarrollo vegetativo.

Conclusiones

El uso del ácido giberélico (AG_{4/7}) es efectivo para promover el desarrollo de estructuras reproductivas en *P. menziesii* con una dosis intermedia (2.55 mg cm⁻²), en árboles jóvenes (10-13 años) y de origen sexual; y pueden aplicarse estos tratamientos en un programa operativo para la producción de semilla en el corto y mediano plazo. Por el contrario, el AG₃ no tuvo un efecto significativo sobre la diferenciación de yemas, posiblemente inhibe la floración, por lo anterior es necesario continuar con la aplicación de los tratamientos en diferentes etapas de desarrollo vegetativo y en varios eventos y dosis.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los señores ejidatarios Pascual Meléndez (Don Lupe), Francisco Pedregal (Don Panchito), Ciro Méndez, Mario Sánchez, Ing. Jose Luis López y al Dr. Rafael Parrilla, quienes otorgaron las facilidades y el apoyo en campo para la realización de este trabajo; al Ejido Emiliano Zapata por el financiamiento a través del proyecto No. 10423435495 titulado “Inducción de estructuras reproductivas en *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco”.



Literatura Citada

- Acevedo, R. R. 1998. Estudio sinecológica del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. Oaxacana Debreczy & Racz, en la zona de Santa Catarina Ixtepeji, Oaxaca. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. De México, México. 105 p.
- Álvarez, M. J. G., I. Alía T., M.T. Colinas L. and J. Sahagún C. 2007. Interspecific differences in postharvest quality on Mexican Christmas trees. *Silvae Genet.* 56(2):65–73.
- Bonnet, M. M. y B. Zaerr J. 1987. The role of plant growth regulators in promotion of flowering. *Plant Growth Regul.* 6:13-35.
- Cherry, M. L., T. S. Anekonda, M. J. Albrecht and G. T. Howe. 2007. Flower stimulation in young miniaturized seed orchards of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Can. J. For. Res.* 37(1):1-10.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2020. Producción sustentable de árboles de navidad en México. Foro Virtual, 2 de diciembre de 2020. Jalisco, México. <https://www.youtube.com/watch?v=7vx4qDRppsw> [Consultado el 5 de junio de 2023].
- Cruz, N. J. 2007. Diversidad genética y patrón de cruzamiento en poblaciones naturales de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 54 p.
- Del Castillo, R., J. Pérez de la R., G. Vargas A. y R. Rivera G. 2004. Coníferas, biodiversidad de Oaxaca, México. 19 p. *In:* García-Mendoza, A., M.J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.). Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de Biología UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Foundation. México, D.F.



- Domínguez, A. F. 1986. Estudio ecológico de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la región de Huayacocotla, Veracruz. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. De México, México. 266 p.
- Domínguez, A. F. A., J. J. Vargas H., J. López U., P. Ramírez V. y E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica 75(2):191-203.
- Guerra de la C., V., J.C. López D., J. López U., C. Bautista S. y L. Hernández G. 2018. Estructura silvícola de poblaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en Tlaxcala y Puebla. Rev. Mex. Cien. Forestales. 3(13):73–88. DOI:10.29298/rmcf.v3i13.490
- Hermann, R.K., and D.P. Lavender. 1990. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. p. 527-540. In: Burns R. and B.H. Honkala (eds.), Silvics of North America. Vol. 1 Conifers. USDA, Forest Service. Washington, D.C.
- Juárez, A. A., J. López U., J. J. Vargas H., y C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. Agrociencia 40(3):783-792.
- Kong, L. y P. Aderkas. 2007. Plant growth regulators and cone induction in Pinaceae. University of Victoria. Victoria. BC, Canadá. 27 p. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=184d20cb342b1226c548c87512dabf92d806620a> [Consultado el 10 de junio de 2023].
- Mápula, L. M., J. López U., J. J. Vargas H. y A. Hernández L. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. Biodivers. Conserv. 16(3):727-742.
- Mápula, L. M., R. Bonilla B., y D.A. Rodríguez T. 1996. Germinación y crecimiento inicial de *Pseudotsuga macrolepis* Flous, en Chapingo, México. Rev. Chap., Ser. Cienc. For. Y del Ambient. 2(1):111-117.



- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S. Park, K. H. Johnsen and O. P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Can. J. Botany* 78(7):928-940.
- Muñoz-Gutiérrez, L., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton y N. Gutiérrez-Rangel. 2010. Inducción de estructuras reproductivas en *Pseudotsuga menziesii*. *Agrociencia*, 44(7):835 - 847.
- Salazar, G., S. and C. J. Lovatt. 1999. Winter trunk injections of gibberellic acid altered the fate of 'Hass' avocado buds: Effects on inflorescence type, number and rate of development. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 74(1):69–73.
- SAS (Statistical Analysis Software). 2013. Statistical Analysis Software. Users' Guide Statistics Version 9.4. SAS Institute Inc., Cary.
- Sorensen, F. 1971. Estimate of self-fertility in coastal Douglas-fir from inbreeding studies. *Silvae Genet.* 20(4):115-120.
- Turnbull, C. N., K. L. Anderson, and E.C. Winston. 1996. Influence of gibberellin treatment on flowering and fruiting patterns in mango. *Aust. J. Exp. Agric.* 36(5):603-611
- Vargas-Hernández, J. J., and J. I. Vargas-Abonce. 2016. Effect of gibberellic acid (GA_{4/7}) and girdling on induction of reproductive structures in *Pinus patula*. *For. Syst.* 25(2):e063. <https://doi.org/10.5424/fs/2016252-09254>
- Vázquez R. J. (2014). Fenología reproductiva de las comunidades vegetales del Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz, México. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Forestales, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 116 p.
- Ventura-Ríos, A., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y V. Guerra de la Cruz. 2010. Caracterización de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en el centro de México. Implicaciones para su conservación. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(2):107-116.



Villagómez, L., M. y M. Bello G. 2015. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *glauca* (Beissn.) Franco: nuevo registro para Guanajuato. Rev. Mex. Cien. Forestales 6(30):66-73.

Yáñez, E. L. 1991. Análisis de la producción de semilla de *Pseudotsuga macrolepis* Flous en una población natural de la Sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. 116 p.

Zavala-Chávez, F., y J. T. Méndez M. 1996. Factores que afectan la producción de semilla en *Pseudotsuga macrolepis* Flous en el estado de Hidalgo, México. Acta Bot. Mex. 36:1-13.



ESTRUCTURA Y CARACTERIZACIÓN DE RODALES DE *Pinus hartwegii* LINDL. EN EL VOLCÁN PICO DE ORIZABA

Bernabe Colohua Citlahua^{267*}, Armando Gomez Guerrero²⁶⁸, Arian Correa Díaz²⁶⁹ y J. Jesús Vargas Hernández²⁶⁸

Resumen

El Parque Nacional Pico de Orizaba, es un área natural protegida y cubierta mayormente por bosques de *Pinus hartwegii* Lindl., que son vulnerables al cambio climático y que actualmente se encuentran sometidos a diversas presiones naturales y antropogénicas. El objetivo del presente estudio fue comparar los parámetros dasométricos de estos bosques bajo un diseño factorial en cuatro exposiciones (N, S, E y O) y dos niveles de altitud (3700 y 3900 msnm). Cada una de las ocho combinaciones de elevación y exposición se ubicó en campo con material cartográfico y GPS, seleccionando coberturas representativas de cada zona, donde se establecieron los sitios de dimensiones fijas y el análisis se complementó con imágenes obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado (VANT). Se encontró mayor densidad de arbolado (593 árboles/ha¹) en la combinación E-3700 y la mínima en la zona O-3900 (113 árboles/ha). La mayor área basal (35.2 m²/ha) y mínima (11.9 m²/ ha) se encontraron en las combinaciones E-3700 y S-3900, respectivamente. El área basal y volumen disminuyen con la elevación. La estructura horizontal mostró mayor número de individuos en categorías diamétricas bajas (10 – 40 cm) y para la estructura vertical un mayor número de individuos en las categorías de 25 a 30 m de altura total. La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias estadísticamente significativas entre las ocho combinaciones de elevación y altitud para las variables diámetro (DN) y altura total (AT). La disminución más notoria de parámetros dasométricos ocurrió al aumentar la elevación de 3700 a 3900 m en exposición Sur, lo que indica que, en estos bosques, las exposiciones al Sur y de máxima elevación son las más vulnerables al cambio climático. La condición menos vulnerable es hacia las exposiciones Norte.

²⁶⁷ Parque Nacional Pico de Orizaba* jkdber@gmail.com

²⁶⁸ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos

²⁶⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF).



Palabras clave: área natural protegida, cambio climático, parámetros dasométricos, vulnerabilidad, estructura horizontal

Introducción

Los bosques son ecosistemas complejos y dinámicos que brindan múltiples servicios ecosistémicos a la humanidad. En México, los bosques representan una parte significativa del territorio, siendo los bosques de coníferas, como el bosque de altura formado por *Pinus hartwegii* Lindl., una parte importante de ellos (Farjon y Filer, 2013). Sin embargo, se espera que el cambio climático afecte de manera considerable a estos bosques (Alfaro-Ramírez et al., 2020).

El Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO) alberga bosques de *Pinus hartwegii* y está expuesto a diversas presiones naturales y antropogénicas que modifican su estructura y composición (Carreto-Peralta, 2020). Actualmente, existe una falta de información detallada sobre el estado de estos bosques en diferentes altitudes y exposiciones. Esta información es crucial para proponer estrategias de conservación y comprender cómo estos bosques pueden responder al cambio climático global.

La caracterización de la estructura arbórea de los bosques es fundamental para evaluar su salud y proponer acciones de manejo y conservación. En este sentido, los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs) han surgido como una herramienta prometedora para complementar los inventarios forestales tradicionales, al proporcionar imágenes de alta resolución y modelos 3D que ayudan a caracterizar la estructura de los bosques (Otero et al., 2018).

Con el objetivo de generar información sobre la estructura de los bosques de *Pinus hartwegii* en el PNPO, este estudio analizó la estructura dasométrica de los bosques en diferentes altitudes y exposiciones. Se planteó la hipótesis de que no existen diferencias significativas en los parámetros dasométricos entre las diferentes exposiciones y altitudes. El presente trabajo contribuye a la generación de información valiosa para el manejo y conservación de los bosques de *Pinus hartwegii* en el PNPO, así como para comprender su respuesta al cambio climático global.



Materiales y Métodos

La zona de estudio es el Pico de Orizaba, que tiene una elevación de 5636 m y es la montaña más alta de México. Se ubica en las coordenadas 19°02' N 97°16' O, formando parte de la franja volcánica Transmexicana. Con respecto a sus límites políticos, se encuentra en la jurisdicción de cinco municipios, al suroeste Chalchicomula de Sesma y Atzitzintla; al noroeste Tlachichuca, en el estado de Puebla; al noreste Calchahuaco; y al sureste La Perla, en el estado de Veracruz (Figura 1).

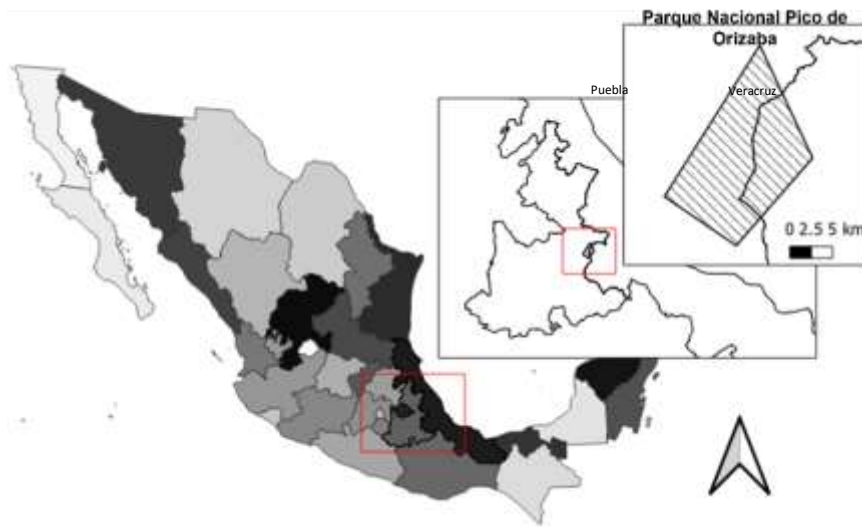


Figura 22. Ubicación de zona de estudio.

Selección de zonas y sitios de estudio

Con el apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica, se seleccionaron dos altitudes (3700 y 3900 msnm), y cuatro exposiciones (Norte, Sur, Este y Oeste), dando una combinación de ocho zonas de observación, cada una con superficie aproximada de 15 hectáreas. Dentro de cada una de estas zonas se establecieron tres sitios de dimensiones fijas (1,000 m²) para el muestreo dasométrico, siguiendo la cota altitudinal en la medida de lo posible (3700 o 3900 m) (Figura 2).

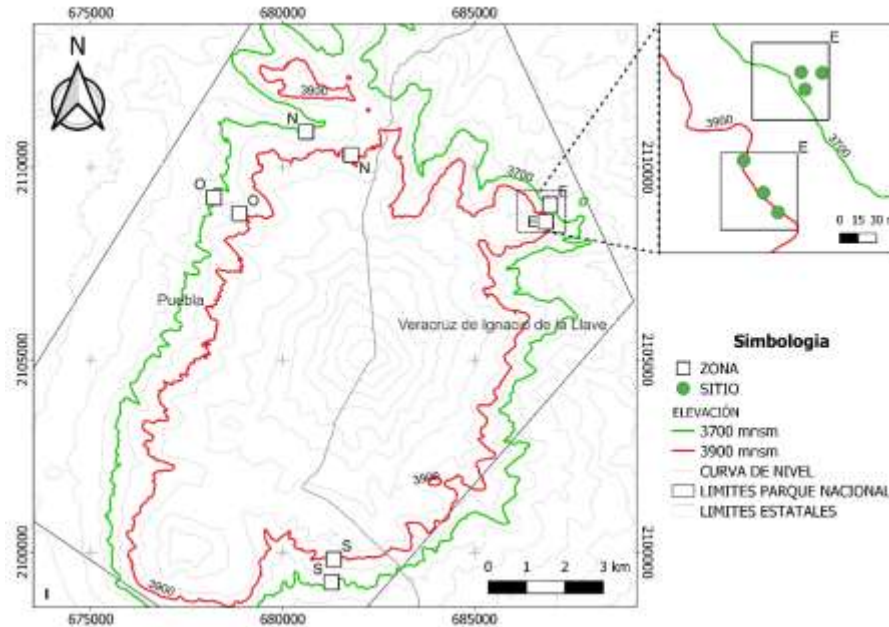


Figura 23. Ubicación de zonas y sitios de estudio.

Levantamiento fotogramétrico

En cada una de las ocho zonas de observación, se realizó un levantamiento fotogramétrico con el uso de un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT): MAVIC 2 ENTERPRISE DUAL con Sensor térmico radiométrico, FLIR 8-14 μm Cámara visual RGB M2ED 4056 \times 3040 (4:3), equipado con una cámara infrarroja Survey3W (NIR). Cubriendo un área aproximada de 15 hectáreas en cada zona. Con el software Agisoft Metashape Profesional 1.8.0, se realizaron los procesamientos fotogramétricos para cada una de las 8 zonas alineación de escenas, nube de puntos densa para la generación de modelos digitales de elevación (0.3 m/px) y la generación de ortomosaicos (imagen ráster RGB – 0.05 m/px). Los resultados se exportaron a formato TIFF al software Global Mapper versión 19.0.0, donde se trazó una línea de 300 m de distancia geométrica obtenida a partir de la distancia horizontal y la diferencia de altitud, trazada sobre la pendiente y con 15 metros de ancho, para observar la estructura vertical del rodal de forma gráfica.

Levantamiento dasométrico

En cada sitio de dimensiones fijas se obtuvieron los siguientes datos: altitud, pendiente (%) y coordenadas (UTM) utilizando un GPS (Garmin ® modelo eTrex20) con un error de precisión mínimo de 3 m y un clinómetro (Suunto ®). El valor de la pendiente fue utilizado para realizar la compensación del terreno y con ello el correcto trazo del sitio. Posteriormente, utilizando clinómetro, cinta diamétrica



(Forestry Suppliers ®), cinta métrica de 30 m, tabla y formatos de campo, se realizó el levantamiento de información dasométrica del arbolado con diámetro normal superior a 5 cm, considerando las variables especie (SP: *Pinus hartwegii*, *Abies religiosa*, Otro); diámetro normal en centímetros (DN); y altura total en metros (AT). Adicionalmente, se contó el número de tocones y número de renuevos en el sitio.

Caracterización de la estructura arbórea

La información dasométrica de los rodales se obtuvo siguiendo los procedimientos descritos por (Cancino-Cancino, 2012), con el software RStudio versión 2022.12.0, analizando en categorías diamétricas de cinco cm y categorías de cinco m en alturas, generando gráficos de composición vertical y horizontal. El volumen se estimó con las ecuaciones obtenidas de la biblioteca digital del sistema biométrico para la planeación del manejo forestal sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en México (<http://fcfposgrado.ujed.mx/sibifor/>). La información de los sitios de 1000 m², como área basal, volumen y número de individuos se expresaron por unidad de ha y para cada zona de observación.

Análisis estadístico

Se realizaron pruebas de normalidad sobre los datos dasométricos. Dado que no se cumplió el criterio de normalidad, se optó por utilizar las pruebas no paramétricas de Kruskal Wallis y comparación por pares con la prueba de Mann-Whitney con ajuste de Bonferroni para la comparación de DN y AT, utilizando el software R Studio versión 2022.12.0.

Resultados y Discusión

Aunque se encontraron las especies *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, la segunda no fue representativa de los rodales, ya que sólo representó el 0.01% de los individuos. La presencia de algunos individuos de *Abies religiosa* fue en la elevación de 3700 m con exposiciones Este y Sur. La baja presencia de oyamel se explica porque su distribución altitudinal generalmente se limita a la cota de 3500 m de elevación (Pérez-Miranda *et al.*, 2017). Por lo anterior, la discusión de este estudio se enfoca exclusivamente en *Pinus hartwegii*.

La mayor densidad arbórea (593 árboles/ha) se encontró en la combinación E-3700, seguida por la combinación S-3900 (343 árboles/ha), en tanto que el menor número de árboles por hectárea se



encontró en ambas altitudes (3700 y 3900 m) de la exposición O, con 140 y 113 árboles/ha. Esto posiblemente este asociado a factores antropogénicos, como la accesibilidad a estas zonas, lo que ha permitido la extracción de arbolado de mayores dimensiones, dejando arbolado joven en el rodal (Cuadro 1). Llama la atención que en la exposición S, que generalmente está asociada a condiciones más secas (para el hemisferio norte), exista un número relativamente alto de individuos (en promedio 258 ind/ha). Sin embargo, este es arbolado con menor diámetro y altura comparado con otras combinaciones de elevación y exposición.

Cuadro 10. Resumen dasométrico de las poblaciones de *Pinus hartwegii* por exposición y altitud del sitio.

Exp	Altitud.	N	DN	AB	AT	VOL
E	3700	593 ± 83	25.9 ± 9.4	35.22 ± 2.41	21.6 ± 4.7	446.08 ± 21.96
E	3900	273 ± 41	26.4 ± 15.0	19.79 ± 4.50	9.3 ± 4.4	118.12 ± 26.55
N	3700	173 ± 20	42.2 ± 14.3	26.98 ± 2.07	24.1 ± 6.3	369.25 ± 37.57
N	3900	167 ± 21	44.9 ± 14.9	29.25 ± 0.38	18.5 ± 4.8	287.27 ± 12.47
O	3700	140 ± 8	35.2 ± 19.8	17.83 ± 3.39	20.2 ± 10.9	257.04 ± 52.61
O	3900	113 ± 13	55.9 ± 17.8	30.53 ± 3.83	24.9 ± 3.6	383.24 ± 46.79
S	3700	273 ± 53	32.1 ± 21.1	31.57 ± 3.76	15.9 ± 10.7	390.14 ± 85.03
S	3900	343 ± 35	18.5 ± 9.9	11.85 ± 1.50	6.5 ± 3.0	54.96 ± 11.21

En negritas los valores máximos y mínimos. Donde Exp: exposición general de la zona, Altitud: Elevación en metros sobre el nivel del mar, N: número de árboles por hectárea, DN: diámetro normal promedio expresado en cm, AB: área basal expresado en m² por hectárea, AT: altura promedio en metros, VOL: volumen total por hectárea en m³, ±: representa la desviación estándar.

Por otra parte, el mayor DN se observó en la exposición O-3900 y el mínimo en la S-3700, con valores de 55.9 y 18.5 cm, respectivamente. Se esperaría que los diámetros mayores se encontraran a altitudes de 3700 m, dado que a mayor altitud *P. hartwegii* presenta limitaciones de crecimiento (Alfaro-Ramírez *et al.*, 2017). Correa-Díaz *et al.* (2019) encontraron que, comparado con la elevación de 3900, los árboles de *P. hartwegii* crecen mejor a 3500 msnm. Núñez-García *et al.* (2020) encontraron mayores tasas de crecimiento radial de *Pinus hartwegii* a 3700 m de altitud, comparado con la elevación de 3800 m. En el caso del PNPO, el resultado anterior, sugiere que posiblemente los sitios con menor acceso han mantenido arbolado de mayores dimensiones, mientras que los sitios en cotas



bajas, con mayor facilidad en su acceso, tienen una mayor presión a factores externos como los antropogénicos que están determinando la estructura actual del bosque estudiado.

La mayor área basal (AB) por hectárea se encontró en la combinación E-3700 (35.22 m²) y la mínima en S-3900 (11.85 m²), mientras que la mayor altura total (AT) fue 24.9 m para la zona O-3900 y la mínima en S-3900. El mayor volumen por hectárea se encontró en E-3700 (446.08 m³) y el mínimo 54.96 m³ en S-3900.

El número de árboles por hectárea tiende a disminuir con la altitud (Alfaro-Ramírez *et al.*, 2017), lo que es también consistente con los resultados del área basal por hectárea. La misma tendencia se mantiene para el AB y VOL en las zonas de observación. Con respecto a exposición, se observó que los valores más altos correspondieron a la zona Este y Sur a los 3700 m de altitud (593 y 273 árboles/ha, respectivamente). Se hubiera esperado que los parámetros dasométricos más altos ocurrieran en exposiciones al Norte, por ser más húmedas y tener menores extremos en temperatura. Sin embargo, algunos estudios han mostrado una alta variación de la temperatura en bosques de alta montaña, con variaciones entre 40°C (-4.8°C a 35°C) en exposiciones Norte a 3900 m de altitud (Correa-Díaz *et al.*, 2021). No obstante, el hecho de que *P. hartwegii* sea intolerante a la sombra indica que crece bien en exposiciones de alta radiación y en este caso, probablemente, en la zona de estudio la humedad del suelo no es un factor limitante en dichas exposiciones. Para la misma especie, los resultados se diferencian a los reportados por otros estudios, según se puede observar en el Cuadro 2.

Cuadro 11. Comparación de variables dasométricas con otros estudios.

Autor	Altitud	Arboles/ha	Presente estudio	Área Basal/ha	Presente estudio
	3,700	456			
Acosta <i>et al.</i> , 2014		312	140	SD	17.83 m ²
		156			
Chávez <i>et al.</i> , 2022	3,700	1,243	140 a 593	12.79 m ²	30.53
Chávez <i>et al.</i> , 2022	3,900	243	113 a 343	13.5 m ²	11.85 a 30.53 m ²
	3,900	200			
Acosta <i>et al.</i> , 2014		200	113	SD	30.53 m ²
		443			

SD: Sin dato.



Estructura horizontal y vertical

De manera general, las categorías diamétricas muestran mayor número de individuos hacia las clases más bajas (10 - 40 cm) acumulando un 74% de todas las observaciones, mientras que el restante se observa en las categorías que van hasta los 115 cm (Figura 3). De estos, la mayor cantidad de individuos se encuentran en la categoría de 25 cm (22.5 a 27.5) representando 14.0%, seguido de la categoría 30 cm con 11.6%.

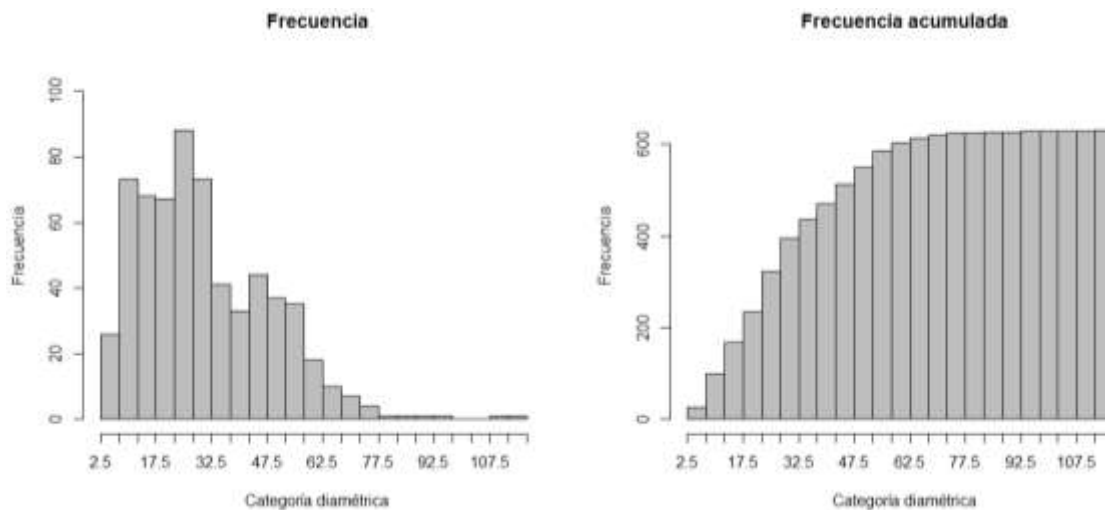


Figura 24. Categorías diamétricas totales muestreadas en las zonas de estudio; Izquierda frecuencia relativa; Derecha frecuencia acumulada, ambos en categorías diamétricas de 5 cm.

Esta estructura indica presencia de arbolado juvenil en el área natural protegida, en el cual la dinámica se encuentra activa con presencia de regeneración y poco arbolado adulto de grandes dimensiones. La estructura no es homogénea, obedeciendo así a la estructura de un rodal incoetáneo e irregular, que se forman en sitios en los que los árboles o grupos de ellos se talan o mueren de forma natural dentro de rodales de edad uniforme.

Para la estructura vertical, se observó la mayor cantidad de individuos en el intervalo de clase de 25 a 30 m, seguidos de la clase de 5 a 10 m, los valores menores fueron para la categoría de 30 a 35 m (Figura 4). La frecuencia acumulada indicó un mayor porcentaje en la categoría de 25 a 30 m (21.5%) seguido de la categoría 5 a 10 m (19%).

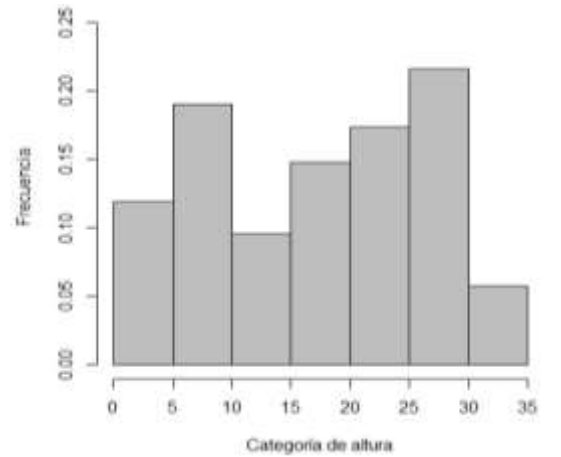


Figura 25. Frecuencias de categorías de altura muestreadas en categorías de 5 m.

Análisis de la estructura vertical y horizontal

Analizando de forma independiente por zona y comparando con la estructura generada a partir de la nube de puntos del procesamiento fotogramétrico, se constó que los valores gráficos (categorías diamétricas y de alturas) corresponden a lo observado en los perfiles (Figura 5). En la exposición sur se detectan diferencias de composición entre las dos cotas altitudinales. En la cota de 3900 m, la gran mayoría de individuos se ubican en los valores bajos de las categorías diamétricas (CD) y categorías de altura (CD), con una composición mayor de renuevos y latizales, lo cual contrasta con la altitud 3700 m, donde existen mayor cantidad de renuevos y latizales, pero equilibrados con presencia de árboles de mayor altura (25-30 m).

El mayor número de renuevos por hectárea se encontró en N-3700 (183 ind.), seguido de la S-3700 (133 ind.), observando los perfiles, esto se refleja en la existencia de arbolado adulto y aperturas en el dosel que definen como un área del piso del bosque directamente bajo la superficie abierta del dosel producida por la caída de uno o varios árboles (Runkle, 1992), o debido a la ocurrencia de disturbios que disminuyen la dominancia y propician la regeneración natural debido a la liberación de recursos.

En la zona N-3700 se encontró el mayor número de tocones, en promedio por cada 1000 m², que corresponden a 60 árboles/ha. Sin embargo, también es importante comentar que la exposición norte y la altitud baja de 3700 m, representan las mejores condiciones de crecimiento para los árboles, debido a que esta altitud está más cerca del óptimo de crecimiento de la especie, por otro lado, las exposiciones Norte tienden a ser más húmedas y por lo tanto los suelos más profundos. Lo anterior sugiere que la

mayor presencia de renuevo se debe a las condiciones ambientales más favorables para el establecimiento de regeneración.

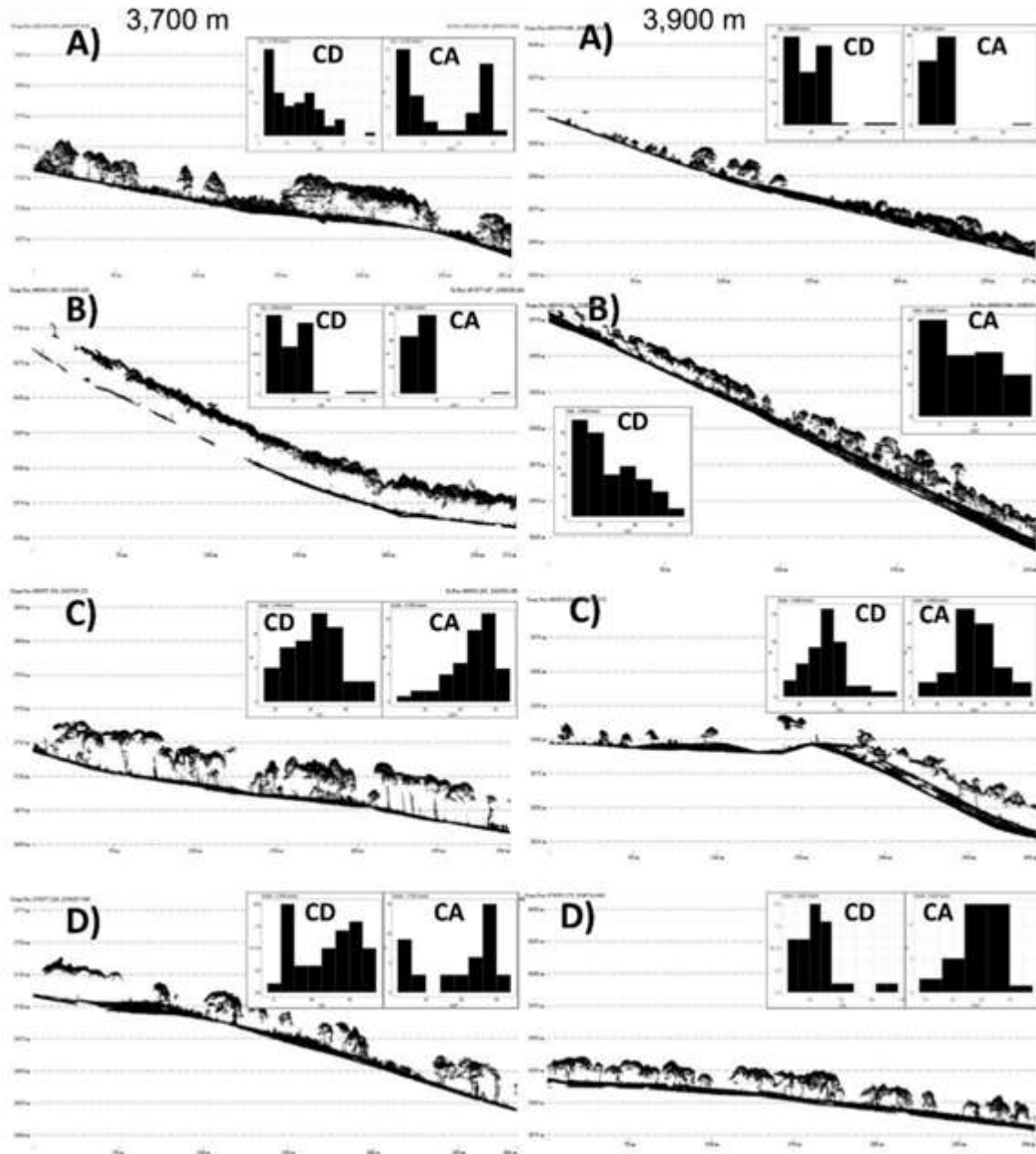


Figura 26. Perfiles de terrenos (distancia geométrica de 300 m, cada línea horizontal representa 25 m), estructura horizontal y vertical muestreada. CD: Indica la frecuencia de categorías diamétricas agrupadas de izquierda a derecha (menor a mayor); CA: indica la frecuencia de categorías de altura agrupadas de izquierda a derecha (mayor a menor).



Por otra parte, el menor número de renuevos se observó en O-3700, O-3900, N-3900 y E-3700. En la zona Oeste, a pesar de que existen también aperturas en el dosel y hay arbolado de varias categorías diamétricas, se observaron indicios de incendios forestales recientes; lo que probablemente esté relacionado a que no se encontrara regeneración. En el caso de la zona Este (3700), existe una alta densidad de arbolado, por ello existe una menor cantidad de luz solar bajo el dosel, lo que contribuiría a una reducción en la regeneración.

Análisis de comparación de medias

Considerando el diámetro, comparando con S-3700, las zonas E-3700, E-3900 y O-700, no presentan diferencias significativas entre la distribución de los diámetros presentes, considerando que con excepción de la zona E-3900 todas corresponden a una altitud de 3700 m. De la misma manera, la comparación de la zona N-3700 no resulta estadísticamente diferente de las zonas N-3900 y O-3700 (Figura 6-A). Considerando la exposición, únicamente la combinación O - N resultó no significativa, por lo que la distribución de los diámetros en estos rodales es estadísticamente similar (Figura 6-B), lo cual es visible gráficamente. Por otro lado, el análisis para la comparación de las altitudes no mostró diferencias significativas ($p\text{-value} = 0.4719$), lo cual se traduce en que la distribución de los diámetros entre las cotas altitudinales 3700 y 3900 son estadísticamente similares.

Para el caso de la AT, gráficamente se pudo observar una diferencia consistente para las zonas de la cota 3900 (S, E y N) con excepción de la zona Oeste donde se observan alturas superiores a 20 m. Para la cota 3700 las alturas son consistentes y homogéneas (Figura 6-D). La prueba de Kruskal-Wallis mostró que existen diferencias en al menos un grupo ($p < 0.001$), y la prueba de Mann-Whitney indicó que la zona S-3700 es estadísticamente similar con E-3900 y N-3900, aunque gráficamente pudieran observarse estas diferencias, ello se debe a que en el sitio S-3700 existe una mayor amplitud en categorías de alturas.

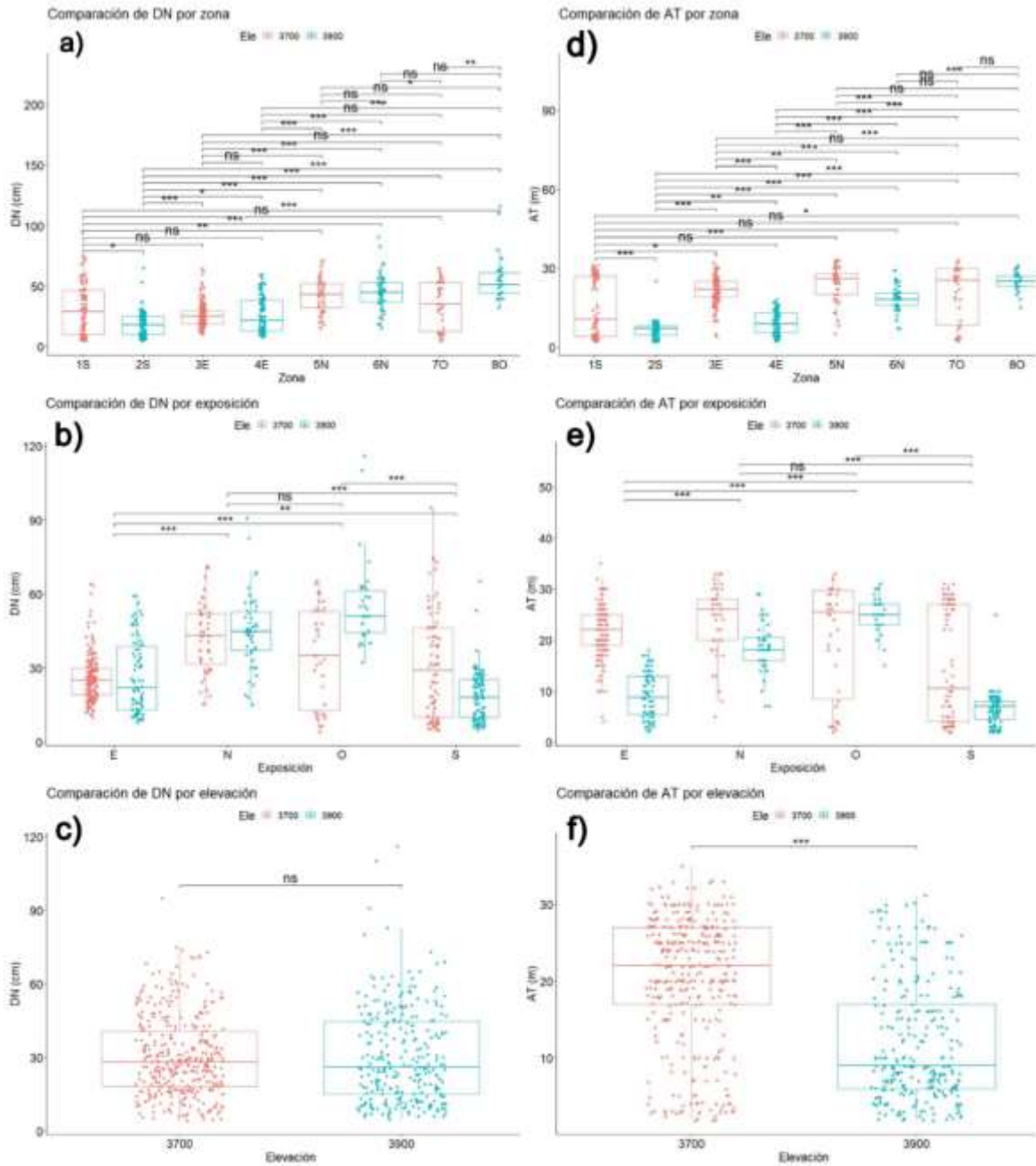


Figura 27. Comparación de la distribución de DN y AT por zona (a y b), exposición (b y e) y altitud (c y f). Para la representación por zona y exposición, el color naranja corresponde a la altitud 3,700 y azul a 3,900. ns representan combinaciones no significativas. *Valores con Valores con $p \leq 0.01$. **Valores con $p \leq 0.01$ *Valores con Valores con $p \leq 0.05$.**

Por otra parte, la zona S-3900 presentó diferencias significativas con todas las zonas, observándose lo mismo para la E-3900. La zona E-3700 es estadísticamente similar a O-3700. Así mismo, N-3700 es estadísticamente similar a O-3700 y O-3900, tampoco existen diferencias entre ambas zonas de la



exposición Oeste, a pesar de que en el primero se puede observar presencia de árboles de baja altura y estos no se observan en la altitud 3900 m.

Considerando la exposición, con el p-value ($p < 0.001$) de la prueba de Kruskal-Wallis se infiere que existen diferencias entre las exposiciones y en los resultados de la prueba de Mann-Whitney se deduce que la única combinación en la que no existen diferencias significativas es entre la exposición Norte y Oeste. Por altitud, los resultados son gráficamente observables (Figura 6-F), apoyándose en la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.001$). Esto una vez más reafirma lo encontrado por otros estudios para *P. hartwegii* (Alfaro-Ramírez *et al.*, 2017; Buendía-Rodríguez *et al.*, 2018; Chávez-Aguilar *et al.*, 2022), reportando una disminución de AT a medida que aumenta la elevación.

Conclusiones

1. La estructura de los rodales de *P. hartwegii* del Parque Nacional Pico de Orizaba difiere estadísticamente según la combinación de exposiciones y altitudes. La exposición Sur a 3900 m muestra los valores dasométricos más bajos en diámetro, área basal, altura total y volumen en comparación con la exposición Oeste en la misma altitud. La exposición Este a 3700 msnm presenta una mayor densidad, área basal y volumen.
2. La estructura del bosque no se explica únicamente por condiciones ambientales, sino posiblemente por intervención humana y frecuencia de incendios.
3. Se encontró menores condiciones favorables de crecimiento en la exposición Sur y poca variabilidad en diámetro y altura en las exposiciones Norte y Oeste. La altitud no muestra diferencias en diámetro, pero sí en altura, con valores menores a 3900 msnm.
4. Las laderas de exposición Sur podrían ser más vulnerables al cambio climático debido a la baja presencia de renuevos y menor tamaño del bosque. Es crucial observar los cambios en cada zona y dirigir acciones de protección y manejo en el contexto del cambio climático.



Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para la realización de estudios de Posgrado que derivan en el presente estudio.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas / Parque Nacional Pico de Orizaba por las facilidades para el levantamiento de la información en campo.

Al Colegio de Posgraduados por la formación y apoyo en el proceso.

Literatura Citada

Acosta M. M., Carrillo A. F., Delgado, D., y V. Bautista, E. 2014. Establecimiento de parcelas permanentes para evaluar impactos del cambio climático en el Parque Nacional Izta-Popo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 06–29.

Buendía R. E., A. Rodríguez, E., A. Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J., Flores-Ayala, E., & Carrillo-Anzures, F. 2018. Efecto de la exclusión de un área natural protegida en la composición y estructura arbórea. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 981–992.

Cancino-Cancino, J. O. 2012. Dendrometría básica. Universidad de Concepción. Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente, 1(2), 1–171.

Chávez-Aguilar, G., Campos-Ángeles, G. V., & Pérez-Suárez, M. 2022. Estructura y composición del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en su distribución altitudinal en el Nevado de Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 54–76.

Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., & Velasco-Bautista, E. 2021. A close up of daily temperature and moisture in two Mexican high-elevation forests. *Madera y Bosques*, 27(3).



- Correa-Díaz, A., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J. J., Rozenberg, P., & Horwath, W. R. 2020. Long-Term Wood Micro-Density Variation in Alpine Forests at Central México and Their Spatial Links with Remotely Sensed Information. *Forests*, *11*(4), 452.
- Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., Velázquez-Martínez, A., & Suárez-Espinoza, J. 2019. Linking Remote Sensing and Dendrochronology to Quantify Climate-Induced Shifts in High-Elevation Forests Over Space and Time. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *124*(1), 166–183.
- Correa-Díaz, A., Silva, L. C. R., Horwath, W. R., Gómez-Guerrero, A., Vargas-Hernández, J., Villanueva-Díaz, J., Suárez-Espinoza, J., & Velázquez-Martínez, A. 2020. From Trees to Ecosystems: Spatiotemporal Scaling of Climatic Impacts on Montane Landscapes Using Dendrochronological, Isotopic, and Remotely Sensed Data. *Global Biogeochemical Cycles*, *34*(3).
- Farjon, A., & Filer, D. (2013). *An Atlas of the World's Conifers*. BRILL.
- Manzanilla-Quñones, U., Aguirre-Calderón, Ó. A., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., & Yerena-Yamallel, J. I. 2019. Distribución actual y futura del bosque subalpino de *Pinus hartwegii* Lindl en el Eje Neovolcánico Transversal. *Madera y Bosques*, *25*(2).
- Núñez, J., Suarez, A., Rodríguez, R., Maurer, I., Gallardo-Cruz, J., & Perez-DeLaMora, D. 2022. Presencia de la tecnología de Vehículos Aéreos No Tripulados en los dominios de investigación en ciencias de la sustentabilidad. *Interciencia*, *47*, 232.
- Núñez-García, A., Gómez-Guerrero, A., Terrazas-Salgado, T. M., Vargas-Hernández, J. J., & Villanueva-Díaz, J. 2020. Analysis of basal area increment of *Pinus hartwegii* Lindl. at different altitudes and aspects on Jocotitlán Mountain, State of Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*.



- Otero, V., Van De Kerchove, R., Satyanarayana, B., Martínez-Espinosa, C., Fisol, M. A. Bin, Ibrahim, M. R. Bin, Sulong, I., Mohd-Lokman, H., Lucas, R., & Dahdouh-Guebas, F. 2018. Managing mangrove forests from the sky: Forest inventory using field data and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery in the Matang Mangrove Forest Reserve, peninsular Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 411, 35–45.
- Pérez-Miranda, R., Romero-Sánchez, Me., González-Hernández, A., Pérez-Sosa, E., & Flores-Ayala, E. 2017. Distribución del *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. bajo escenarios de cambio climático en el Eje Neovolcánico, México. *AgroProductividad*, 10, 29–34.
- Ramírez A. F. U., Ramírez-Albores, J. E., Vargas-Hernández, J. J., Franco-Maass, S., & Pérez-Suárez, M. 2020. Potential reduction of Hartweg's Pine (*Pinus hartwegii* Lindl.) geographic distribution. *PLOS ONE*, 15(2), e0229178.
- Ramírez, A. F. U., Arredondo-Moreno, J. T., Pérez-Suárez, M., & Endara-Agramont, Á. R. 2017. Ecotono del límite superior del bosque de *Pinus hartwegii* Lindl.: estructura y límites altitudinales en el Nevado de Toluca, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 23(2), 261–273.
- Runkle, J. R. 1992. Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Villanueva-Díaz, J., Cerrano-Paredes, J., Vázquez-Selem, L., Stahle, D. W., Fulé, P. Z., Yocom, L. L., Franco Ramos, O., & Ruiz Corral, J. A. 2015. Red Dendrocronológica del Pino de Altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 0(86).



EVALUACIÓN DEL SECADO DE CULMOS DE *Guadua aculeata* Rupr. EN HORNO ELÉCTRICO A TEMPERATURA CONSTANTE

Juan Quintanar Olguin^{270*} y Martha Elena Fuentes López²⁷⁰

Resumen

El bambú es una planta de crecimiento rápido, distribuido prácticamente en todos los ecosistemas terrestres, que desde tiempos ancestrales ha representado en los entornos rurales una fuente de material constructivo, para protección, alimento y una fuente de ingresos, además de tener presencia en expresiones culturales y religiosas alrededor del mundo. La parte del bambú que más se emplea son los culmos, que corresponden a la porción aérea de la planta y contienen, principalmente, material leñoso; crecen en forma tubular con diámetro que disminuye con la altura, el espesor de su pared es casi constante. está separado internamente de manera transversal por nudos macizos que se ubican entre dos entrenudos adyacentes, los cuales son huecos. Uno de los procesos clave para el aprovechamiento industrial de los culmos de bambú es el secado, que inicia desde el instante en que se corta la planta, ya que empieza a perder la humedad contenida en sus componentes. El secado mejora tanto las propiedades estructurales, como su apariencia estética y permite que se amplíe la gama de sus aplicaciones y aumente su valor de utilización. En el presente estudio se evaluó el proceso de secado de muestras obtenidas de la parte baja, media y superior de culmos de *Guadua aculeata* bajo una condición de temperatura constante, en un horno eléctrico. Se determinó el contenido de humedad inicial de las muestras y se dio seguimiento a la pérdida de humedad durante 24 días; con estos datos, se generaron las curvas de secado y se determinó la tasa de secado. Los resultados sugieren que los tiempos para que las muestras alcancen un contenido de humedad semejante, es menor para las que provienen de la parte superior del culmo y mayor para las de la parte baja o basal. Respecto a la tasa de secado, el comportamiento es inverso: menor en piezas obtenidas de la parte baja y aumenta con la altura del culmo.

Palabras clave: contenido de humedad inicial, curvas de secado, tasa de secado

²⁷⁰ Campo Experimental San Martinito. CIRGOC-INIFAP. *Autor por correspondencia: quintanar.juan@inifap.gob.mx



Introducción

El bambú es una gramínea que en el contexto mundial se clasifica como un producto forestal no maderable y agroforestal, distribuido prácticamente en todos los ecosistemas del mundo; comprende 1662 especies, distribuidas en 121 géneros (Borowsky *et al.*, 2022). En México, existen ocho géneros y se han consignado 61 especies de bambú leñoso, de las cuales 42 son endémicas (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2022), distribuidas en la mayoría de los estados, con excepción de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila y Tlaxcala (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2015); en Chiapas, se distribuyen 33 especies, por lo que es la entidad con mayor diversidad.

El bambú es una planta versátil de rápido crecimiento, que posee múltiples usos y facilidad de transformación en diferentes productos, es ligera, resistente y con capacidad de crecer a una velocidad alta, por lo que se genera volúmenes altos de biomasa. Y ha representado desde tiempos ancestrales un importante recurso natural en los entornos rurales como fuente de material constructivo, para protección, alimento y de ingresos, además de tener presencia en expresiones culturales y religiosas alrededor del mundo. Los usos del bambú, generalmente, se clasifican en primarios (postes, brotes y tocones), secundarios o semiprosesados (tiras, palos, tablero) y productos terminados (artesanía, muebles y brotes listos para cocinar/comer). Los dos primeros grupos se utilizan como materia prima para diversas industrias, mientras que el tercer grupo se canaliza directamente a los usuarios finales (Zhao-hua y Kobayashi, 2004).

En México, el uso del bambú tiene antecedentes prehispánicos: los totonacas en Veracruz, los huastecos en Hidalgo y Tamaulipas, los aztecas y teotihuacanos en el centro de México, los maya-chontales en Tabasco y los mayas en la Península de Yucatán han construido casas de bambú y lo siguen haciendo hoy en día. En el país, se han registrado, aproximadamente, 42 usos tradicionales para el bambú, en particular para las especies silvestres: bastones, utensilios de cocina, cestos, garrochas, alimento para el ganado, juguetes, flechas, material de construcción de viviendas, ornamentales, medicinales y andamios son solo algunos de ellos (Camarillo *et al.*, 2020). Sin embargo, la generación y desarrollo de productos con valor agregado a base de bambúes tienen una tendencia creciente a nivel mundial.

En el periodo 2014-2018 destacó el desarrollo de productos con alto valor agregado como los alimentos procesados a base de brotes en combinaciones de sabores con 69% de aumento; los productos de cuidado personal y belleza que tienen como ingrediente natural y sostenible al bambú, para el cuidado



del cabello y la piel con 20% y productos de uso doméstico con 6% (Ulloa, 2019). No obstante, en México uno de los principales usos de las especies de bambú es para la construcción de vivienda rústica.

La parte del bambú que más se emplea son los culmos (tallo principal de la planta), compuestos principalmente por material leñoso, que crece en forma tubular con diámetro que disminuye con la altura y el espesor de su pared es aproximadamente constante; están separados internamente de manera transversal por nudos macizos que se caracterizan por un abultamiento que rodea los extremos de los segmentos y se ubica entre dos entrenudos adyacentes, los cuales son huecos (Borowsky *et al.*, 2022). Uno de los factores críticos que indican la factibilidad de uso del bambú es la presencia de humedad dentro del material, ya que su procesamiento debe realizarse con bajos contenidos de humedad para evitar cambios dimensionales por contracción. Por lo tanto, el secado es uno de los procesos clave en el procesamiento de culmos de bambú, que inicia desde el instante en que se corta, ya que empieza a perder la humedad contenida en sus componentes. Es recomendable secar el bambú hasta que alcance un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones de humedad y temperatura promedio del lugar en que se va a utilizar, esto para disminuir pérdidas o ganancias de humedad; lo cual genera contracciones o hinchamientos que se reflejan en deformaciones y rajaduras, básicamente a lo largo de la pieza de bambú (Lv *et al.*, 2021).

Sin embargo, al proceso de secado de culmos no se le ha dado importancia por parte de los productores y procesadores de bambú, ya que se considera que su desarrollo ocurre de forma natural y que requiere de largos periodos. Por lo tanto, frente al desconocimiento y poca importancia que se le ha dado al proceso de secado de culmos de bambú, el objetivo del presente estudio fue evaluar el proceso de secado de culmos de *Guadua aculeata* bajo una condición de temperatura constante.

Materiales y Métodos

La colecta de material se realizó en un rodal natural de *G. aculeata* localizado en el predio Las Margaritas, municipio Hueytamalco, Puebla. Se cortaron dos culmos, de cada uno de los cuales se obtuvo una muestra de la parte basal, media y superior (Figura 1) del tamaño de un entrenudo con ambos nudos al final de cada muestra.



El contenido de humedad (CH) inicial de las muestras (en condición verde) se determinó mediante el método gravimétrico; para ello, se obtuvieron dos probetas de humedad de 5 cm de largo, una de cada extremo de las muestras, las cuales se pesaron en una balanza electrónica con precisión de 0.01 g para determinar su peso húmedo; luego se dispusieron en un horno de laboratorio para su secado a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas, periodo requerido para alcanzar su peso seco. De acuerdo con la Norma ISO 22157-1:2019, numeral 6 (ISO, 2019), el CH de cada probeta se calcula como la pérdida de peso, expresada como un porcentaje de su peso seco, mediante la expresión (1):

$$CH_i = \frac{P_{hi} - P_s}{P_s} * 100 \quad (1)$$

Donde:

CH_i es el contenido de humedad de cada probeta.

P_{hi} es el peso húmedo inicial de la probeta de humedad antes del secado.

P_s es el peso seco en horno de la probeta de humedad.



Figura 1. Muestras de secado obtenidas de la parte basal, media y superior de los culmos de *Guadua aculeata*.

Para realizar el seguimiento del proceso de secado, se estimó el peso seco calculado (PSC) de las muestras de secado, a partir del CH promedio obtenido de las probetas antes referidas y el peso de cada muestra al momento de su obtención, mediante la ecuación 2:



$$PSC = \frac{P_m}{CH_i + 100} 100 \quad (2)$$

Donde:

PSC = Peso seco calculado para la muestra.

P_m = Peso húmedo inicial de la muestra de secado.

CH_i = Contenido de humedad promedio de las probetas, determinado con la ecuación (1).

El proceso de secado de las muestras se realizó en un horno de secado tipo conectivo, a una temperatura constante de 45°C. El seguimiento del proceso se realizó con el método gravimétrico, para ello se hizo el pesaje de las muestras diariamente. El CH se determinó utilizando la ecuación 3:

$$CH_{ms} = \frac{P_h - PSC}{PSC} 100 \quad (3)$$

Donde:

CH_{ms} = Contenido de humedad de cada muestra de secado al momento del registro del peso durante el proceso de secado.

P_h = Peso de las muestras en cualquier momento del proceso de secado.

PSC = Peso seco calculado de las muestras de secado.

La tasa de secado (TS) describe la diferencia del contenido de humedad medido a un tiempo (t) con respecto al tiempo anterior (t-1) y se determinó utilizando la ecuación (4):

$$TS = \frac{\Delta CH}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde:

TS = Tasa de secado (%CH/día),

ΔCH = Variación de contenido de humedad (%)

Δt = Tiempo entre cada medición (día).

Resultados y Discusión

El contenido de humedad inicial de las diferentes especies de bambú citadas en la bibliografía es superior a 100% en base seca, aunque existe variación del mismo en función de la especie, el área de crecimiento y la temporada de corte (Akter *et al.*, 2021. De acuerdo a Hartono *et al.* (2022), existe una clara diferencia en el contenido de humedad entre las diferentes alturas de un culmo de bambú, lo que



se evidenció en las muestras de *Guadua aculeata* estudiadas, cuya diferencia entre el contenido de humedad inicial de las muestras provenientes de la parte basal y superior fue de 24.89%, en la parte basal fue mayor con un promedio de 110.52% y en la parte superior de 85.63% (Cuadro 1). Lo que concuerda con lo expuesto por Adam y Jusoh (2019) quienes mencionan que el contenido de humedad en los culmos de bambú disminuye con la altura.

Cuadro 1. Contenidos de humedad inicial y final de las muestras de *Guadua aculeata*.

Muestras	Contenido de humedad (%)			
	Inicial	Promedio	Final	Promedio
Basal	111.86	110.52	20.53	21.91
	109.18		23.30	
Media	109.92	111.77	10.85	11.97
	113.63		13.10	
Superior	83.76	85.63	11.40	11.95
	87.50		12.50	

Las curvas de secado se obtuvieron experimentalmente convirtiendo la pérdida de peso en pérdida de humedad y trazando el contenido de humedad frente a la duración del secado. En la figura 2 se muestra el progreso del secado, se indica el contenido de humedad de las muestras para cada día. El tiempo total de secado fue de 24 días para alcanzar un contenido de humedad final promedio de 11.96% para las muestras provenientes de la parte media y superior, con un contenido de humedad promedio de 21.91% para las muestras de la parte basal. Este periodo es similar al señalado por Vetter *et al.* (2006), quienes requirieron 25 días para secar de 48% a 9% muestras de la parte basal de *Bambusa vulgaris* Schrad ex JC Wendl var. *vittata* Riviere & C. Riviere, a una temperatura constante de 40°C.

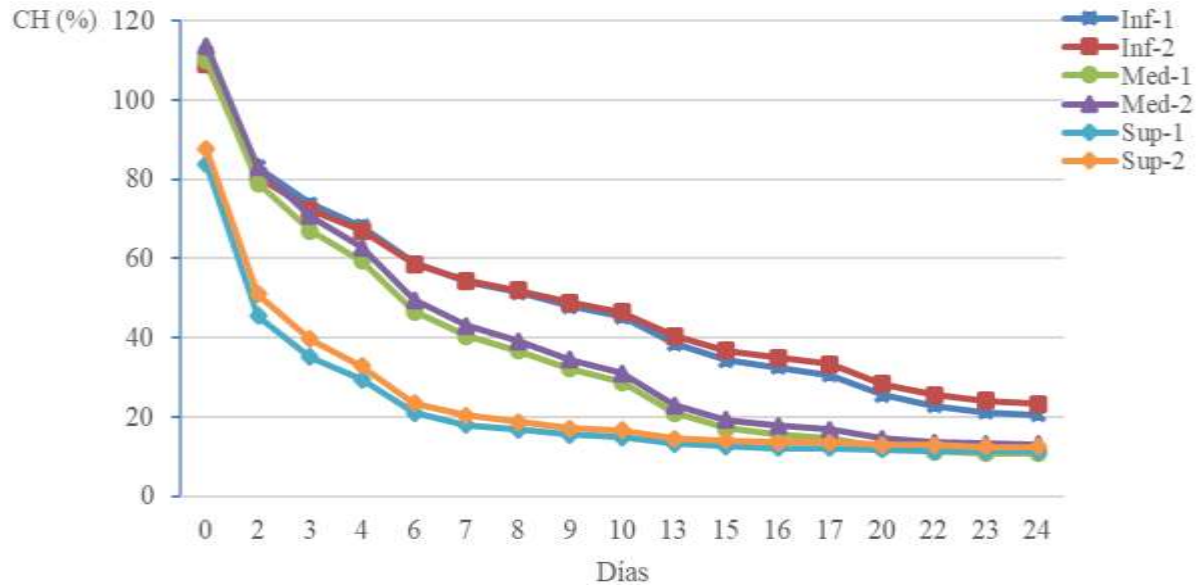


Figura 2. Curvas de secado para las muestras a una temperatura de 45°C.

Por otro lado, la humedad de las muestras de este estudio tuvo un comportamiento diferenciado según la parte del culmo de donde se cortaron. Así, aquellas muestras provenientes de la parte superior, a los 7 días de proceso presentaban un contenido de humedad final promedio de 19.11%, por 41.71% y 54.31% de las muestras obtenidas de la parte media y basal del culmo, respectivamente para el mismo periodo. Es decir, el proceso de secado de las muestras obtenidas de la parte basal es más lento debido al mayor grosor de la pared del culmo (Chen *et al.*, 2023). Además, Montoya y Gutiérrez (2021) mencionan que la duración del secado de bambú depende de factores inherentes a la especie como diámetro del culmo, espesor de pared, contenido de humedad inicial, edad, posición en la altura del culmo, longitud de la muestra por secar y del sitio de crecimiento.

En la figura 3 se muestran las tasas de secado de las muestras durante los 24 días que duró el proceso de secado. En todos los casos se aprecia que la pérdida de humedad durante los primeros cinco días de secado fue mayor a 5% por día en todas las muestras, sin importar de que altura del culmo provenían.

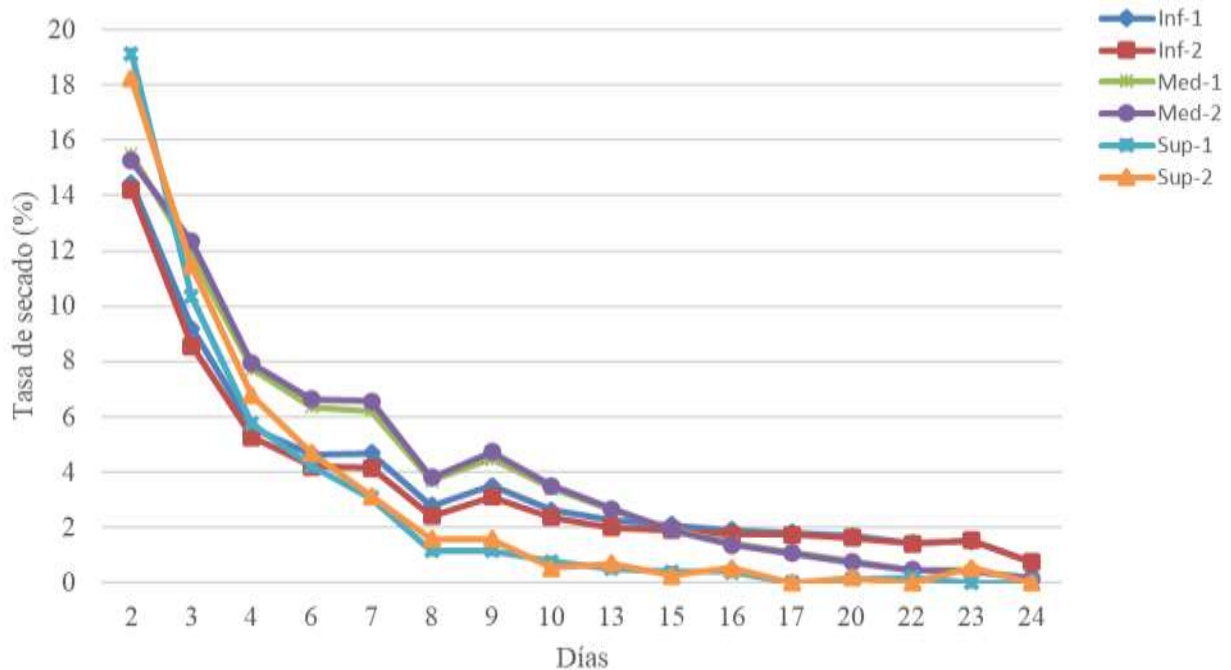


Figura 3. Tasa de secado para las muestras a una temperatura de 45°C.

Las muestras de la parte superior del culmo, en los primeros cinco días del proceso presentaron un contenido de humedad promedio de 26.77%, con un contenido de humedad inicial promedio de 85.63%; esto es, en cinco días perdieron 58.86% de humedad. Mientras que las muestras obtenidas de la parte basal, en los primeros cinco días del proceso habían perdido 47.48% de humedad, al pasar de un contenido de humedad inicial de 110.52% a un contenido de humedad promedio de 63.05%. Es decir, la tasa de secado de las muestras de la base fue más lenta comparada con la tasa de secado de las muestras obtenidas de la porción media y superior del culmo. Estos valores son congruentes con lo registrado por Chaowana *et al.* (2021), quienes indican que piezas provenientes de la parte media del culmo tienen una velocidad de secado más alta que obtenidas de la parte baja; lo anterior se debe a las diferencias químicas, físicas y de estructura anatómica que se presentan en los culmos de bambú; por lo que, los valores de la tasa de secado son inversos a los valores de grosor de las paredes de las muestras (Vetter *et al.*, 2006).

Posterior a este periodo, la tasa de secado fue más lenta, igualándose en 2.0% a los 15 días del proceso para las muestras provenientes de las partes media y basal. Estos valores son muy altos en comparación con lo documentado por Yan *et al.* (2022) al secar culmos de *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz. al aire libre bajo cobertizo, cuya tasa de secado diario fue de 0.50% con una reducción de su contenido de



humedad de 76 a 35% durante un lapso de tiempo de 81 días y de 0.22% para pasar de 35 a 11% en un periodo de 108 días.

Conclusiones

1. La distribución del contenido de humedad inicial en un culmo de bambú es inversa con respecto a la altura. A mayor altura menor contenido de humedad.
2. Los tiempos de secado para alcanzar un contenido de humedad semejante son inversos a la altura de donde provengan las muestras por secar; es decir, es menor para muestras provenientes de la parte superior del culmo y aumenta al disminuir la altura de donde provienen las muestras.
3. La tasa de secado es menor en piezas provenientes de la parte baja de los culmos en comparación con las obtenidas de la parte media y superior.

Agradecimientos

A Volkswagen México S. A. de C. V. por el apoyo financiero al INIFAP para ejecutar el proyecto “Establecimiento de una plantación forestal sustentable de bambú nativo (*Guadua aculeata*) en una superficie de 355 ha en el Sitio Experimental "Las Margaritas", municipio Hueytamalco, Puebla”.

Literatura Citada

- Adam, N. and I. Jusoh. 2019. Physical and mechanical properties of *Dendrocalamus asper* and *Bambusa vulgaris*. Transactions on Science and Technology 6(1-2):95-101.
- Akter, H. M., M. Arifur R., U. K. Rokeya and R. Akther. 2021. Application of solar heated kiln for determination of seasoning schedule of borak (*Bambusa balcooa*), baijja (*Bambusa vulgaris*) and dolu (*Schizo stachyum*) round bamboo species. Eco-friendly Agril. J. 14(03):09-13.



- Borowski, P. F., I. Patuk, and E. R. Bandala. 2022. Innovative industrial use of bamboo as key “Green” material. *Sustainability* 14: 1955.
- Camarillo, C. A. Y., A. León M., D. M. Sangerman J., M. Hernández J. y M. C. Zamora-Martínez. 2020. Aspectos socioeconómicos del aprovechamiento del bambú en una comunidad rural de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(62):32-54.
- Chaowana, K., S. Wisadsatorn and P. Chaowana. 2021. Bamboo as a sustainable building material - culm characteristics and properties. *Sustainability* 2021(13):7376.
- Chen, Q., Y. He, Y. Jiang, J. Qi, S. Zhang, X. Huang, Y. Chen, H. Xiao, S. Jia and J. Xie. 2023. Effect of bamboo nodes on crack generation of round bamboo and bamboo-based composites during drying. *European Journal of Wood and Wood Products* 81(2).
- Hartono, R., A. H. Iswanto, T. Priadi, E. Herawati, F. Farizky, J. Sutiawan and I. Sumardi. 2022. Physical, chemical, and mechanical properties of six bamboo from Sumatera Island Indonesia and its potential applications for composite materials. *Polymers* 2022, 14:4868.
- ISO. 2019. NORM 22157. 2019 Bamboo structures - Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms - Test methods. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 25 p. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22157:ed-1:v1:en> (Consultado el 24 de junio de 2023).
- Lv, H., M. Chen, C. Lian, H. Li, S. Yang, B. Xu and B. Fei. 2021. Distribution and migration of moisture in round bamboo in response to microwave drying. *BioResources* 16(3):5915-5925.
- Montoya A., J. A. y G. H. Gutiérrez C. 2021. Cartilla de corte, preservado y secado de la guadua: Aprovechamiento y tratamiento de la guadua. Convenio interadministrativo N° 130 de 2020 entre CVC-UTP. Santiago de Cali, Colombia. 27 p.



- Ruiz-Sánchez, E., L. G. Clark., X. Londoño., T. Mejía-Saulés and G. Cortés R. 2015. Morphological keys to the genera and species of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Mexico. *Phytotaxa* 236 (1):1–24.
- Ruiz-Sanchez E., C. D. Tyrrell, P. Carrillo-Reyes and A. T. Nuño-Rubio. 2022. A striking new species of *Rhipidocladum* (Poaceae: Bambusoideae: Bambuseae: Arthrostylidiinae) with single, terminal-spikelet synflorescences, endemic to Jalisco, Mexico. *Plant Ecology and Evolution* 155(3):417-424.
- Ulloa, L. E. 2019. Evaluación de opciones de valor agregado para rambután y bambú. Dirección de Inteligencia Comercial. PROCOMER, Costa Rica. <http://sistemas.procomer.go.cr/DocsSEM/6A910023-65E0-4517-A92F-A8604413BC97.pdf>. (Consultado el 15 de junio de 2023).
- Vetter, R. E., M. G. Sá Ribeiro and R. A. Sá Ribeiro. 2006. Preliminary remarks on the drying of bamboo-imperial (*Bambusa vulgaris* var. *vittata*). Brazilian Conference on materials and technologies non-conventional on ecological construction and sustainable. BRAZIL NOCMAT 2006-Salvador, BA.
- Yan Y., B. Fei and S. Liu. 2022. The relationship between moisture content and shrinkage strain in the process of bamboo air seasoning and cracking. *Drying Technology* 40(3):571-580.
- Zhao-hua, L. and M. Kobayashi. 2004. Plantation future of bamboo in China. *Journal of Forestry Research* 15(3):233–242.



ESTIMACIÓN DE VARIABLES DASOMÉTRICAS MEDIANTE VANTS EN UN RODAL BOSCOZO DEL PICO DE ORIZABA

Martha Luisa Rodríguez Espinoza²⁷¹, Bernabé Colohua Citlahua²⁷² y Teresa de Jesús Nicolás Silva²⁷¹

Resumen

La medición de variables dasométricas se realiza a través de muestreos en campo; sin embargo, la constante evolución de la tecnología ha hecho posible que los Vehículos Aéreos No tripulados (VANT) puedan utilizarse en diversas actividades del sector forestal. En ese sentido, el objetivo de este trabajo fue estimar variables dasométricas mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados en bosques de *Pinus hartwegii*. en el Parque Nacional Pico de Orizaba y realizar su análisis potencial para mejorar la información obtenida en los inventarios forestales tradicionales. El estudio se realizó en un rodal boscoso de 20 ha situado en las coordenadas 681248.15 y 2099320.98 a 3700 m de altitud con exposición sur ubicado en el Parque Nacional Pico de Orizaba entre los estados de Puebla y Veracruz; para ello se registraron variables dasométricas de manera tradicional para 22 individuos de *Pinus hartwegii*, mismas que también se estimaron digitalmente por medio de análisis de imágenes capturadas por el VANT mediante procesos fotogramétricos realizados con apoyo del software Agisoft Metashape 1.8 y Global Mapper 19.0.0. Para el análisis estadístico se utilizó el nivel de correlación estimado a partir de regresión lineal simple. Para la variable diámetro de copa, se obtuvo una correlación de $p = 0.83$ y de 0.95 en el caso de la altura total; sin embargo, no fue posible la medición digital del diámetro normal, por lo que su estimación se realizó con una correlación lineal de los datos de altura total obtenidos en campo en función del diámetro normal, cuyo resultado fue de 0.89 . La positiva y alta correlación en la obtención de las variables derivadas de los procesos fotogramétricos demuestran que medir las variables con esta tecnología es confiable para su aplicación en inventarios forestales, ya que se mejora la precisión y reducen los tiempos de las mediciones realizadas en campo.

Palabras clave: fotogrametría, modelo digital de elevación, dasometría

²⁷¹ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. 186w0480@zongolica.tecnm.mx

²⁷² Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas



Introducción

Los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) permiten obtener información geográfica para realizar medidas lineales, volumétricas, modelaciones 3D, entre otras aplicaciones (Zafra, 2018). En los últimos años, los VANT han posibilitado la obtención de información de gran resolución espacio - temporal para el estudio de procesos ecológicos y forestales.

La estimación de las variables dasométricas de interés para la gestión de masas forestales (diámetro normal, altura total, área basal, volumen, biomasa, especie) se ha realizado con inventarios de campo de manera tradicional (Herero, 2016). Los métodos terrestres para estimar variables en el bosque incluyen métodos directos (muestreo destructivo) u ópticos indirectos (Chianucci *et al.*, 2016); estos enfoques requieren de mucho tiempo para que resulten estadísticamente confiables y son poco prácticos para grandes áreas forestales.

La aplicación de VANT se está utilizando en diversas ramas del conocimiento científico y tecnológico. Aguilar (2016) menciona que en el sector forestal se han logrado diversas aplicaciones para el uso de drones como el conteo y medición de árboles, el monitoreo del estado de bosques y plantaciones forestales; en Argentina, monitorearon y cuantificaron el daño en reforestaciones de coníferas e identificaron, a escala de árbol, la sintomatología y cuantificaron los niveles de daño. En México, son pocos los estudios sobre el particular; uno de ellos fue desarrollado por Botello (2018), quien realizó un procedimiento para estimar biomasa con imágenes digitales capturadas desde un dron, además de efectuar la modelación 3D (ID-dron-3D).

En el Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO), se ha usado esta tecnología para determinar el área boscosa afectada por incendios forestales, la vigilancia comunitaria y obtención de material multimedia; sin embargo, no se han realizado investigaciones que la apliquen para efectos de inventarios forestales, actividades de restauración o protección forestal.

En ese contexto, conocer y aplicar estas metodologías mejorará la calidad, precisión y cantidad de información manejada en el PNPO para su conservación, restauración, manejo y protección, mediante un análisis espacio temporal de los bosques.. Por tal motivo esta investigación tuvo por objetivo estimar variables dasométricas mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados en bosques de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Nacional Pico de Orizaba y realizar su análisis potencial para mejorar la información obtenida en los inventarios forestales tradicionales.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La zona de estudio fue el Parque Nacional Pico de Orizaba, situado entre los estados de Puebla y Veracruz, su clima predominante es templado subhúmedo a semifrío; la vegetación consiste en bosques coetáneos de *Pinus hartwegii* y en menor medida mezclados con *Abies religiosa* (Kunth) Schldtl. et Cham., *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schldtl. y en las partes de menor altitud *Alnus* spp. Se ubicó un rodal de 20 ha mediante sistemas de información geográfica, en el que no existiera intervención antrópica (Figura 1), situado en las coordenadas 681248.15 y 2099320.98, a una altitud de 3700 m con exposición sur.

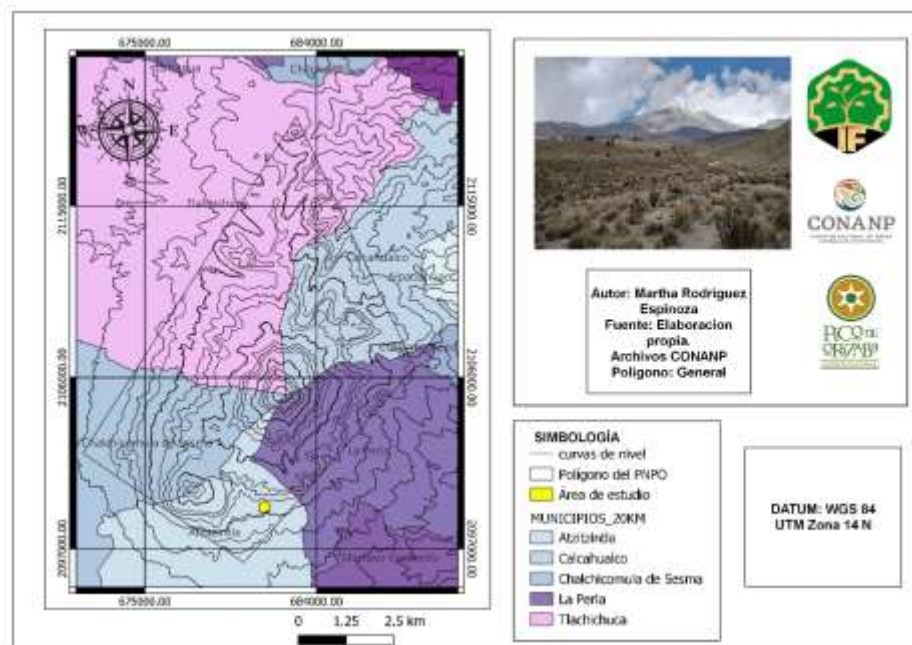


Figura 1. Área de estudio ubicada en el municipio Atzitzintla, Puebla.

Obtención de variables dasométricas

La medición de variables dasométricas se realizó dentro de la zona de estudio, se seleccionaron aleatoriamente árboles de diversas tallas, tanto aislados como en conglomerados. Se midieron variables dasométricas como diámetro normal (DN, m), diámetro de copa (DC, m) con el promedio de las orientaciones norte-sur y este-oeste, altura total (AT, m) con una cinta métrica de 50 m, cinta



diamétrica de 5 m (Forestry Suppliers ®) y clinómetro (Suunto ®); además se registró cada coordenada central mediante un GPS (Garmin ® modelo eTrex20) con un error de precisión mínimo de 3 m.

La AT de los individuos se calculó con la fórmula del manual para trazar la unidad de muestreo en bosques, selvas, zonas áridas y semiáridas de la metodología BIOCOMUNI (<https://biocomuni.mx/>), expresada de la siguiente manera:

$$AT = \left(\frac{\% \text{ copa} + \% \text{ base}}{100} \right) d$$

Donde:

AT = Altura total (m)

$\% \text{ copa}$ = porcentaje a la copa

$\% \text{ base}$ = porcentaje a la base

d = distancia

Obtención de imágenes aéreas

La obtención de imágenes se realizó con un dron DJI MAVIC 2 ENTERPRISE DUAL que tiene un sensor térmico radiométrico FLIR 8-14 μm , una cámara visual RGB M2ED 4056×3040(4:3), y está equipado con una cámara Survey3W Near Infrared (NIR).

Las imágenes resultantes tuvieron una resolución de 5 cm por píxel, con tres bandas (RGB). La toma de datos se realizó de acuerdo con las especificaciones establecidas en el protocolo para el uso de drones en áreas naturales protegidas.

Procesamiento fotogramétrico

Las imágenes obtenidas con el VANT se transfirieron a un equipo de cómputo. Y mediante el software Agisoft Metashape Professional (64 bit), se realizó el procesamiento fotogramétrico (Figura 2); con ello se obtuvo el Modelo Digital de Elevación (MDE) y un ortomosaico, ambos con una resolución de 5 cm (Figura 3); posteriormente, con el software Global Mapper v19. 0.0 se hizo la identificación virtual de cada árbol, lo que permitió medir digitalmente sus variables DC y AT (Figura 4).

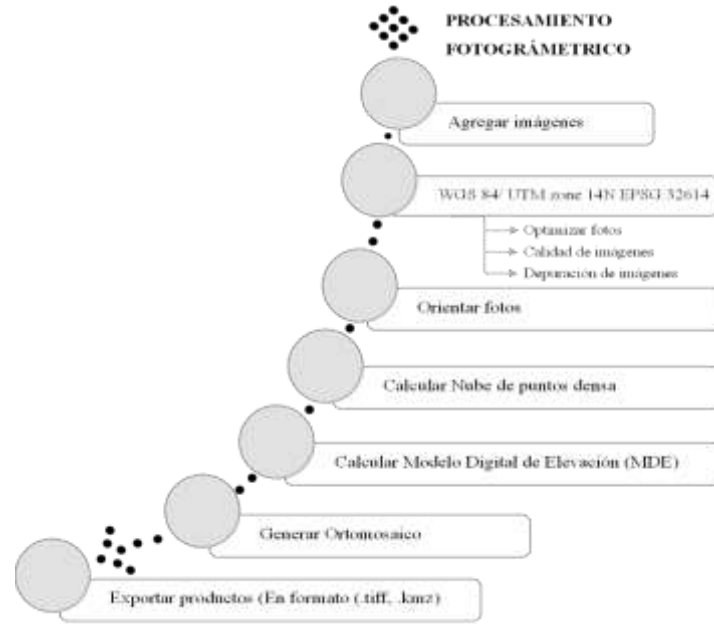


Figura 2. Secuencia de los pasos del procesamiento fotogramétrico en Agisoft Metashape Professional.

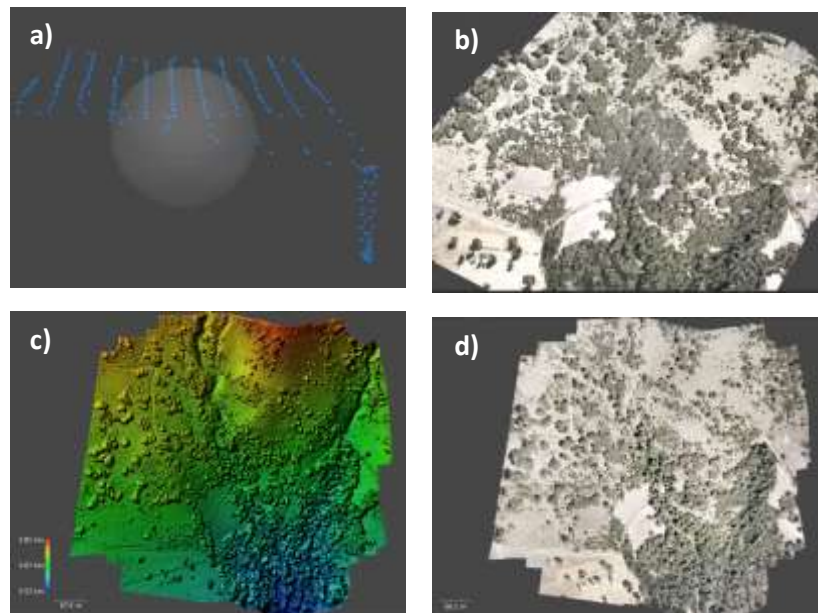


Figura 3. Flujo de trabajo. a) depuración y orientación de imágenes del VANT, b) Nube de puntos densa, c) Modelo Digital de Elevación (MDE), d) Ortomosaico de la zona de estudio.

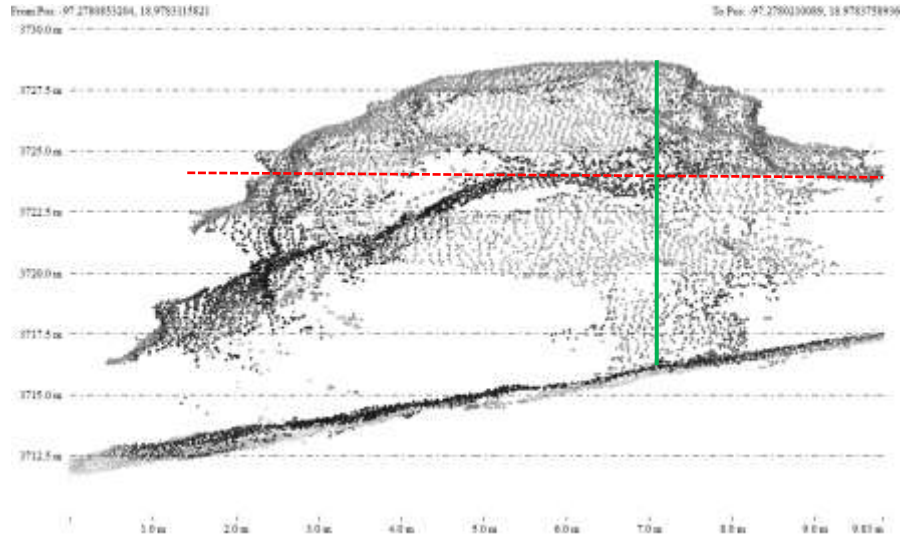


Figura 4. Estimación de altura total (línea continua verde) y diámetro de copa con orientación norte – sur y este - oeste (línea punteada roja).

Análisis estadístico

Para la comparación o validación de los datos se realizó una comparación de los obtenidos en campo y de las imágenes digitales. Con el software R se ajustaron ecuaciones de regresión lineal simple para conocer el nivel de correlación para cada par de variables dasométricas obtenidas en campo de manera tradicional y digital mediante imágenes del VANT.

Resultados y Discusión

Para este estudio se obtuvo la información dasométrica de 22 individuos de *Pinus hartwegii* medida en campo (Cuadro 1), especie que se encuentra dentro del PNPO desde los 3000 a 4000 msnm.

Cuadro 1. Variables dasométricas de *Pinus hartwegii* obtenidas por inventario tradicional y modelos digitales.

#	DN	DN*	AT	AT*	DC	DC*
1	0.68	0.65	24	25.8	11	9.1
2	0.65	0.53	20.2	20.5	9.5	8.3
3	0.62	0.55	24	21.55	9.5	9.3
4	0.19	0.21	9	7	2.6	2.5



#	DN	DN*	AT	AT*	DC	DC*
5	0.10	0.17	4	5.2	2	2.2
6	0.15	0.17	4	5.25	2.3	2.8
7	0.07	0.09	2.5	1.85	1.2	1.6
8	0.60	0.38	15.7	14.2	10.4	10.1
9	0.28	0.24	8.5	8.15	4.95	5.8
10	1.05	0.75	40	29.74	13.55	10.3
11	0.28	0.21	9.5	6.8	4.5	2.5
12	0.24	0.21	8.5	6.95	4.95	2.4
13	0.12	0.14	3	3.9	2	2
14	0.39	0.43	14.2	16.06	7.95	5.6
15	0.07	0.16	2	4.9	1.75	1.2
16	0.11	0.23	5	7.85	2.5	4.5
17	0.44	0.27	9.5	9.35	8.1	6.7
18	0.15	0.22	7	7.4	2.25	3.8
19	0.08	0.12	3	2.9	1.5	1.8
20	0.61	0.63	29	24.65	11.25	14.
21	0.18	0.23	7	7.6	3.25	3.3
22	0.77	0.76	37.5	30.37	11	7.6

DN = Diámetro normal (m), DN* = Diámetro normal (m) estimado con VANT, AT = Altura total (m). AT* = Altura total (m) estimada con VANT. DN = Diámetro de Copa (m). DN* = Diámetro de Copa (m) estimada con VANT.

Correlación de variables dasométricas

Para la AT, el intervalo de individuos fue desde 2 m hasta 30 m, y se observó una correlación alta ($R^2 = 0.95$) (Figura 5).

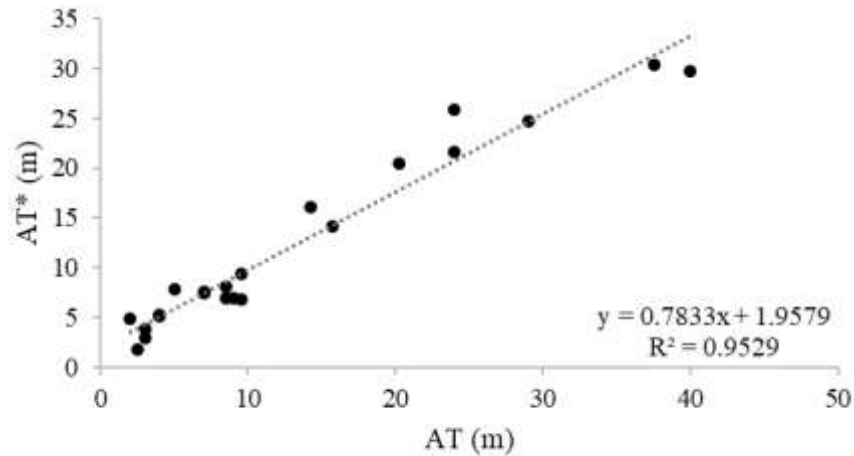


Figura 5. Gráfico de dispersión de AT y AT estimada con VANT (*).

La correlación de la variable DC fue ligeramente menor ($r^2 = 0.83$), en muchos casos debido a la dificultad para medir con precisión en campo la altura del arbolado (Figura 6).

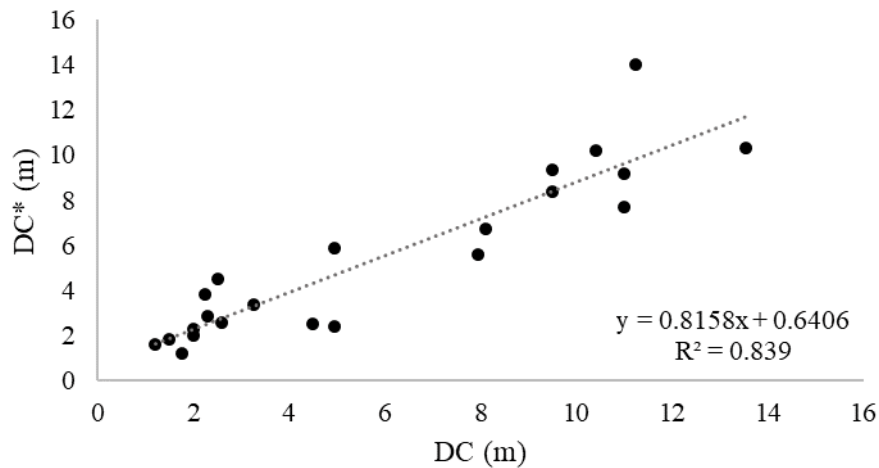


Figura 6. Gráfico de dispersión de DC y CD estimada con VANT (*).

El cálculo de DN fue resultado de su correlación con AT el cual obtuvo un coeficiente de determinación de 0.90 por lo que su estimación puede realizarse también de forma digital, asumiendo que la confiabilidad de la estimación de AT es elevada ($R^2 = 0.95$) (Figura 7).

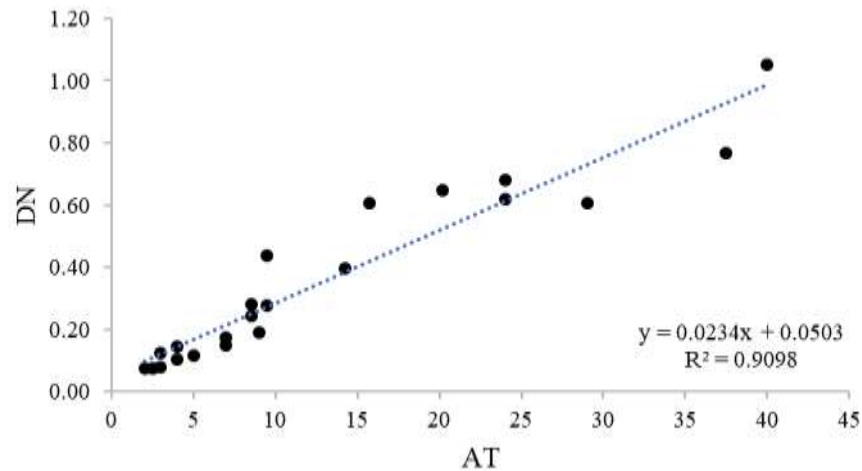


Figura 7. Regresión lineal de DN en función de AT.

Obtención de DN a partir de AT

Finalmente, la correlación de DN obtenido de manera indirecta resultó con un $R^2 = 0.89$, por lo que se asume una correlación alta con AT para el cálculo indirecto del DN (Figura 8).

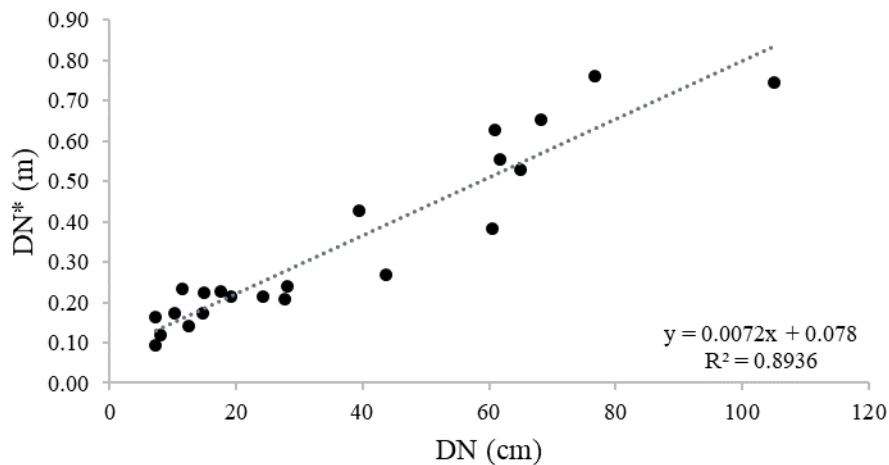


Figura 8. Gráfico de la dispersión de DC y DN estimada mediante regresión lineal (*).

Comparación de medias

En términos de comparación de medias, los resultados revelaron que las diferencias en las comparaciones no son estadísticamente significativas. En particular, la comparación entre DN mostró



un valor de t de 0.990, con un p-valor de 0.334. Asimismo, la comparación entre DC tuvo un valor t de 1.387, con un p-valor de 0.180. Por último, la AT arrojó un valor t de 1.294, con un p-valor de 0.210. (Cuadro 2). Estos resultados sugieren que las estimaciones obtenidas mediante el uso de VANT no difieren de manera significativa de las mediciones realizadas en el inventario forestal tradicional para las variables analizadas.

Cuadro 2. Valores de comparación de medias pareadas. IT = Valores de inventario tradicional, VANT = Variables de Vehículo Àereo No Tripulado.

IT	VANT	t_value	p_value
DN	DN*	0.990	0.334
DC	DC*	1.387	0.180
AT	AT*	1.294	0.210

De manera visual, en los cuartiles se observa la similitud arrojada por la prueba de comparación de medias pareadas, cuya diferencia más notable resultó en DN, debido a que las estimaciones se realizaron mediante regresión lineal en función de la altura del árbol. Entre AT y DC no se observaron diferencias mayores (Figura 9).

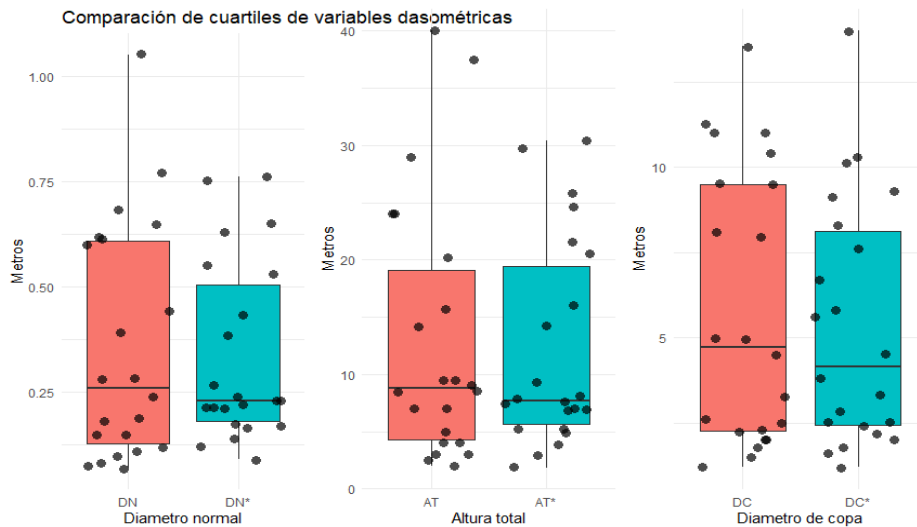


Figura 9. Comparación de cuartiles entre variables dasometricas. En barra roja, parametros estimados mediante inventario tradicional, en barra azul datos mediante VANT.



Conclusiones

1. Se obtuvo una correlación de 0.95 para AT y 0.83 para DC. Sin embargo, no fue posible calcular el DN de forma digital, por lo cual se optó por una forma indirecta por medio de la correlación de AT – DN para posteriormente obtener una ecuación para DN a partir de la AT estimada con VANT, la cual resultó de 0.89.
2. La prueba de comparación de medias pareadas, mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de las variables estimadas mediante inventarios tradicionales de las estimadas con el uso de VANT.
3. Estos datos evidencian el potencial de utilizar VANT para la obtención de variables dasométricas para inventarios forestales. Se asume que se puede reducir el tiempo en campo, cuando se sustituye parte de los inventarios tradicionales mediante el uso de VANT.

Agradecimientos

A la Dirección del Parque Nacional Pico de Orizaba por las facilidades para el uso del equipo VANT y la toma de datos en campo.

Literatura Citada

- Aguilar, L. 2016. Evaluación de bosques tropicales mediante el uso de tecnología VANT. Revista Germinar. 19:14-15.
- Botello, C. 2018. Estimación de biomasa aérea de forrajes de invierno bajo riego a través de un dron. Tesis de maestría. Repositorio – Colegio de Postgraduados.
- Chianucci, F., L. Disperati, D. Guzzi, D. Bianchini, V. Nardino, C. Lastri, *et al.* 2016. Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. El International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 47: 60 - 68.



Herero, M. 2016. Fotogrametría de rango cercano aplicada a la ingeniería Agroforestal. Tesis de doctorado, Universidad de Salamanca.

Zafra, G. Y. 2018. Manual para el postproceso de imágenes obtenidas a partir de una Aeronave Tripulada Remotamente (Drone) en los software Agisoft PhotoScan y Pix4D. INVIAS-Universidad Distrital Franco José de Caldas.



ANÁLISIS HISTÓRICO DE OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES EN EL PICO DE ORIZABA MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA

Luis Ramón Oltehua García^{273*}, Bernabé Colohua Citlahua²⁷⁴ y José Luis López Ayala²⁷³

Resumen

El Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO) es una de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de México en donde los incendios forestales se presentan con mucha frecuencia, debido a causas naturales o antropogénicas. Las grandes extensiones afectadas, distancia y topografía dificulta los registros y trazo de los polígonos; sin embargo, hoy en día existen diferentes herramientas que pueden ser aplicadas para facilitar la delimitación y cuantificación de las superficies afectadas por incendios forestales; una de ellas es la percepción remota, también llamada teledetección. El uso de sensores remotos e imágenes satelitales permiten el ahorro de recursos, tiempo y de personal, obteniendo resultados confiables en un menor lapso. El presente estudio se desarrolló en el PNPO con el objetivo de conocer la ocurrencia histórica de incendios forestales dentro del ANP mediante la combinación de bandas espectrales a través de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Para ello, se utilizaron imágenes Landsat 8 OLI-TIRS y 9 OLI-TIRS para el periodo 2014 - 2022 y una base de incendios forestales del ANP. El análisis fue realizado utilizando el software Qgis Dektop 3.22.7. Los resultados mostraron que el mayor número de incendios forestales ocurrió en Tlachichuca, en el estado de Puebla, con un promedio anual de 9 incendios. Por otra parte, el municipio menos afectado fue Atzitzintla, con un promedio de un incendio por año. En diversas ocasiones se registraron superficies afectadas menores a las obtenidas mediante imágenes de satélite. Además, se identificaron áreas que no estaban incluidas en la base de datos del ANP; también, se rectificaron 61 de los 105 polígonos de incendios forestales que se presentaron en el periodo de estudio; la superficie afectada en la mayoría de los polígonos fue mayor a la consignada en la base de datos. La metodología de cuantificación e identificación histórica mediante SIG ofrece resultados positivos y confiables en la cuantificación histórica de los incendios forestales en zonas boscosas.

²⁷³ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. *luizoltehua@gmail.com

²⁷⁴ Parque Nacional Pico de Orizaba



Palabras clave: áreas naturales protegidas, LandSat, bandas espectrales, Sistemas de Información Geográfica

Introducción

Los incendios forestales son uno de los principales elementos de perturbación de los ecosistemas, ya que influyen en la estructura y funcionamiento de los paisajes (Fernández *et al.*, 2019), representan un gran problema en la pérdida de biodiversidad, en la emisión de gases de efecto invernadero y en la modificación de los flujos hídricos. En México, los incendios son causados, en su mayoría, por la acción del hombre; por lo que factores como la accesibilidad, distancia a caminos y poblados, entre otros inciden en su frecuencia y distribución (Pérez *et al.*, 2013).

El estudio de estos fenómenos mediante teledetección ofrece claras ventajas frente a otras fuentes de datos; por ejemplo, la recopilación de información de incendios en campo es más costosa en términos de tiempo y dinero, especialmente en áreas remotas, extensas o de difícil acceso (Ariza, 2017).

El PNPO tiene una superficie de 19,750 ha, de las cuales aproximadamente 10,000 ha corresponden a bosque, esto hace complejo el monitoreo de los incendios forestales dentro del Área Natural Protegida (ANP) y su zona de influencia debido a la gran extensión, además del bajo presupuesto disponible para la contratación de personal de vigilancia y combate de incendios forestales.

Las brigadas existentes están constituidas por habitantes de las localidades rurales situadas en la zona de influencia, por lo que el conocimiento técnico de herramientas como GPS y el uso de aplicaciones de geolocalización es bajo; por consiguiente, hay un error de precisión alto en el registro de coordenadas para la correcta delimitación de los incendios forestales, sumado a la gran extensión de estos siniestros y el tiempo requerido para recorrer los principales vértices.

Por ello, el presente estudio tuvo por objetivo conocer la ocurrencia histórica de incendios forestales dentro del ANP mediante la combinación de bandas espectrales a través de imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG).



Materiales y Métodos

La zona de estudio fue el PNPO, esta ANP se ubica en territorio de los estados de Puebla y Veracruz, en el límite del Eje Neovolcánico Transversal y es considerado como una importante área de captación para la recarga de acuíferos y el mantenimiento de la red hidrológica superficial de una de las cuencas más importantes del país, la del Papaloapan. Específicamente, se sitúa en las regiones hidrológicas 28 y 18; la primera corresponde a la Cuenca Hidrológica del río Papaloapan; la segunda a la Cuenca Hidrológica del río Balsas, que drena en Tehuacán, Puebla (CONANP, 2015). Sus cotas altitudinales varían de 3,038 a 5,636 m; incluye cinco municipios: al suroeste Chalchicomula de Sesma y Atzitzintla; al noroeste Tlachichuca, en el estado de Puebla; al noroeste Calchualco; y al sureste La Perla, en el estado de Veracruz; aproximadamente a 210 kilómetros al este de la Ciudad de México, en el borde de la Meseta Central (CONANP, 2015).

Obtención de imágenes satelitales

Se utilizaron imágenes LandSat 8 y LandSat 9, obtenidas de la plataforma de Earth Explorer de la USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), las cuales se sometieron a una corrección atmosférica mediante el software Qgis y el plugin Semi-Automatic Classification (SCP). Este es un proceso que se aplica a las imágenes digitales con el propósito de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiación intrínseca que se produce en el sensor y se refleja en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmósfera. Con el proceso de la corrección atmosférica, se logra mejorar la calidad visual de la imagen, así como eliminar el componente intrusivo de la atmósfera (Aguilar *et al.*, 2014).

Procedimientos geográficos

Se recortó cada imagen de forma manual con el software QGis, para manipular y analizar la zona de estudio (Casella *et al.*, 2018); con ello, se redujo el material con el que se trabajó. Al respecto, Navazo *et al.* (2016) utilizaron bandas 7,6,5 y 7,5,4 para delimitar un incendio y obtuvieron buenos resultados. Sin embargo, en el presente trabajo se aplicó la combinación de la banda espectral SWIR 1 (infrarrojo de onda corta), NIR (infrarrojo cercano y la banda azul). En otros estudios (Luque *et al.*, 2020, Gutiérrez, 2021) se han utilizado sensores remotos y fotointerpretación multiespectral con resultados positivos para la delimitación de las áreas afectadas (Figura 1).

Posteriormente, mediante fotointerpretación se delimitaron de forma manual los polígonos para asociarlos con las fechas de la base de datos de las ANP.



Los polígonos generados se unieron en un solo archivo shape (SHP), además se incorporó una tabla de atributos de acuerdo con la base de datos existente, además de los datos geográficos de la imagen utilizada. Finalmente, se realizó un mapa histórico en el cual se utilizaron capas de los estados, municipios y localidades, vías de comunicación, topografía, y la capa de los polígonos de incendios generados.



Figura 1. Mapa en falso color, banda SWIR 1(6), NIR (5) y banda azul (2) para la visualización de incendios forestales. La línea roja representa el límite del ANP, la línea naranja la delimitación del incendio identificado.

Resultados y Discusión

Se determinaron 6,021 ha afectadas del año 2014 al 2022, y se detectaron superficies afectadas que no estaban registradas en la base de datos del ANP. En el Cuadro 1 y Figura 2, se presenta la superficie afectada sin registro previo.

Cuadro 4. Superficie afectada estimada mediante fotointerpretación. Datos en hectáreas.

Año	Puebla	Veracruz	Puebla-Veracruz	No registrado	Total (ha/año)
2014	38	30			68
2015	25	0			25
2016	180	120			300



Año	Puebla	Veracruz	Puebla-Veracruz	No registrado	Total (ha/año)
2017	357	46			403
2018	445	311			756
2019	1023	26		145*P	1194
2020	955	388		138*P	1481
2021	743	13	501	53*P	1310
2022	387	31		66*P	484
Total (ha)	4153	965	501	402	6021

*P=Para el estado de Puebla.



Figura 2. Superficie afectada por incendios obtenida con fotointerpretación.

Las superficies de incendios sin registro en la base de datos se presentaron en el territorio del estado de Puebla. Como se observa en el Cuadro 3, a partir del año 2019 la superficie afectada aumentó considerablemente.

En el Cuadro 3 y Figura 3 se muestra una comparación entre el total de superficie afectada con registros previos y la estimada en el presente trabajo, así como la superficie faltante o sobrante; es decir, aquella que no se detectó y la excedente que se calculó. Se observa que la superficie afectada encontrada (SAE) en el año 2014 fue menor a la superficie afectada histórica con datos en el ANP (SAH), cuya tendencia evidenció una diferencia considerable. Para el año 2021, la SAE fue mayor a la SAH.



Cuadro 3. Comparación entre la superficie afectada histórica con registros en la ANP (SAH) y la afectada encontrada mediante sensores remotos (SAE).

Año	SAH (ha)	SAE (ha)	Diferencia (ha)
2014	456.75	68	-388.75
2015	54.00	25	-29.00
2016	291.00	300	9.00
2017	488.00	403	-85.00
2018	658.00	756	98.00
2019	768.80	1194	425.20
2020	1,147.80	1481	333.20
2021	763.94	1310	546.06
2022	524.60	484	-40.60
Total (ha)	5,152.89	6021	

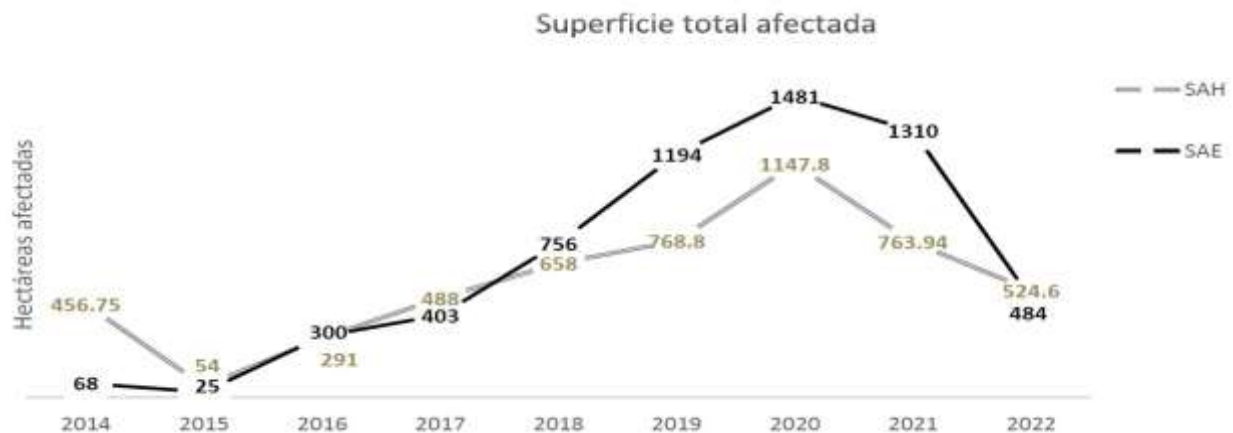


Figura 3. Comparación entre SAH y SAE.

El año con menor afectación fue 2015; sin embargo, se observó que la tendencia en los siguientes años fue ascendente, de tal manera que en 2020 se presentó mayor superficie afectada por incendios forestales. Para el año 2021, la superficie afectada disminuyó (Figura 3).

De los 105 incendios registrados del año 2014 al 2022 por la dirección del ANP, se rectificó 58% (61 polígonos), además de sumarse otros ocho polígonos sin registro previo en la base de datos del ANP (Figura 4).

Polígonos de incendios dentro del PNPO

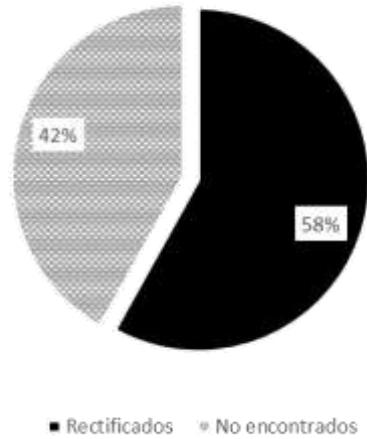


Figura 4. Porcentaje de polígonos rectificadas y no encontrados.

La información generada en la presente investigación evidenció que, en la mayoría de los incendios registrados, la superficie fue menor a la determinada mediante sensores remotos.

No todos los polígonos de incendios registrados se identificaron debido a que en algunos casos no coincidía la fecha del incendio con la imagen satelital, o la imagen de satélite presentó un porcentaje alto de nubes, lo que obstaculizó la visibilidad de los polígonos incendiados. Sin embargo, los resultados son satisfactorios, ya que se lograron corregir superficies en 58% de los casos.

En la Figura 5 se presenta el mapa histórico de incendios forestales dentro del Parque Nacional Pico de Orizaba; se observa que la mayor superficie y número de incendios se localizó en el estado de Puebla, específicamente en el municipio Tlachichuca.

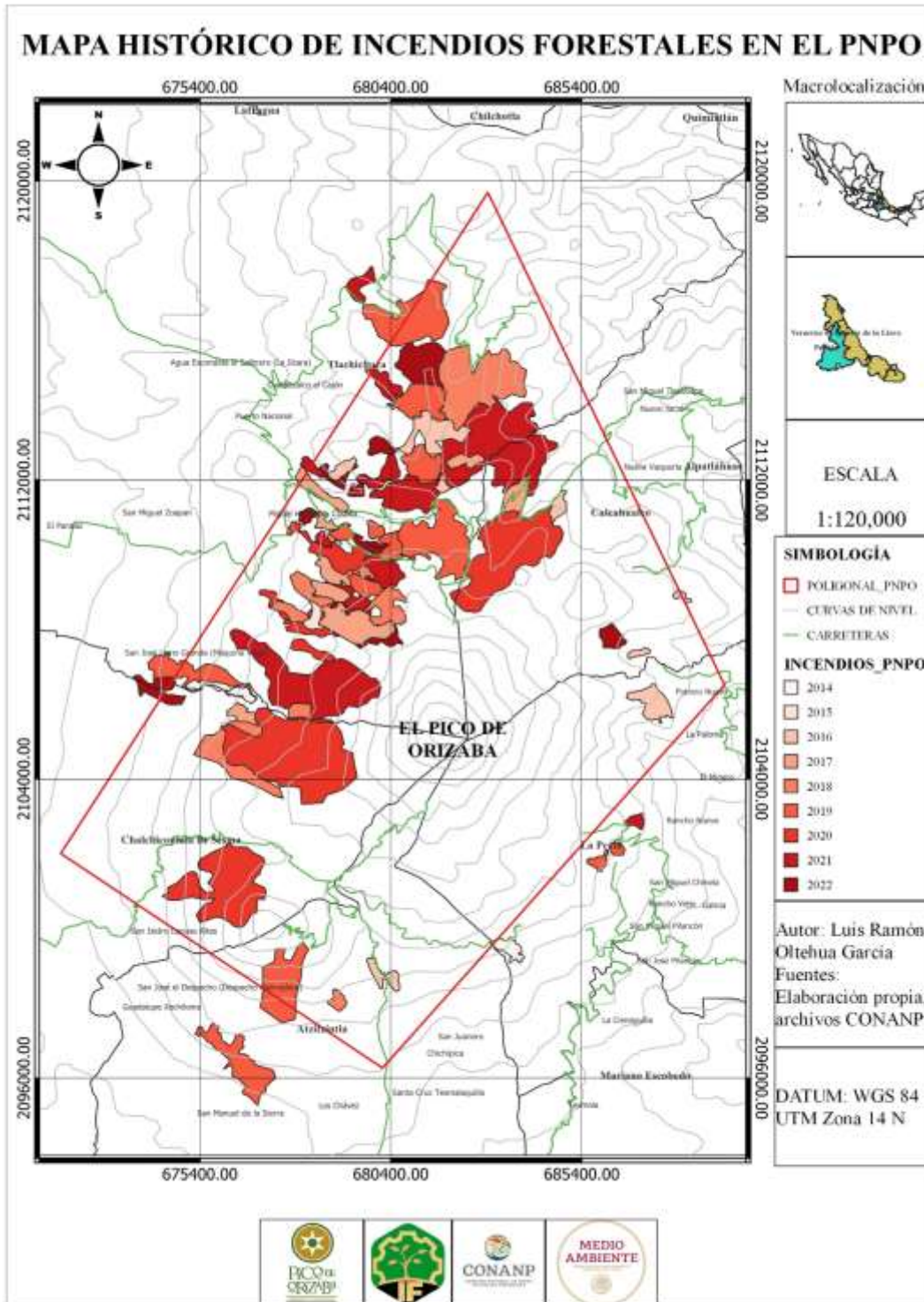


Figura 5. Mapa histórico de incendios forestales dentro del Parque Nacional Pico de Orizaba.



Conclusiones

1. El municipio con mayor número de incendios forestales es Tlachichuca, en el estado de Puebla, con un promedio anual de nueve incendios. El municipio menos afectado es Atzitzintla, con un promedio de un incendio por año.
2. En varios registros se consignaron superficies afectadas menores a las obtenidas mediante imágenes de satélite.
3. Se obtuvieron superficies sin registros previos en la base de datos del PNPO.
4. Las herramientas de sensores remotos y SIG, además de la metodología de fotointerpretación generan resultados satisfactorios en la identificación de polígonos afectados por incendios forestales.
5. Se recomienda aplicar índices espectrales para conocer la severidad de los incendios dentro del PNPO; y así, estudiar la dinámica del fuego y su relación con el tipo de ecosistema, topografía y variables climáticas. La aplicación de esta metodología permitirá conocer las áreas afectadas después de la ocurrencia de incendios en grandes extensiones con un ahorro de recursos para proponer acciones de restauración y protección de los recursos forestales.

Agradecimientos

A todo el personal de la Dirección del Parque Nacional Pico de Orizaba, por recibirme con los brazos abiertos, hacerme sentir parte de su equipo de trabajo y permitir el desarrollo del presente estudio.

Al ingeniero forestal Bernabé Colohua Citlahua, consultor del PNPO, por la asesoría recibida durante el periodo que duró la presente investigación.

Al M. C. José Luis López Ayala, profesor del Instituto Tecnológico de Zongolica por compartir parte de sus conocimientos para lograr buenos resultados en el presente trabajo.



Literatura Citada

- Aguilar, A. H., R. Mora Z. y C. Vargas B. 2014. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, Rapideye, Spot2 y Landsat 8 con el módulo flaash del software Envi. *Revista Geográfica de América Central*: 39-59.
- Ariza, A. 2017. Análisis de los cambios en la estructura del paisaje por incendios. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Castella, A., N. Barrionuevo, A. Pezzola y C. Winschel. 2018. Pre-procesamiento de imágenes satelitales del sensor sentinel 2A y 2B con el software SNAP 6.0. Buenos Aires: INTA.
- CONANP. 2015. Programa de Manejo Parque Nacional Pico de Orizaba. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Fernández, G. V., D. Beltrán M., R. Pinto P. y J. M. Fernández G. 2019. Uso de técnicas de teledetección para determinar la relación entre la historia de incendios y la severidad del fuego. *Teledetección: hacia una visión global del cambio climático*: 135-138.
- Gutiérrez, D. C. Y. 2021. Detección de cicatrices por quemaduras de incendios forestales en el municipio de Mariquita y Honda (Tolima) usando sensores remotos. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Luque, A. H. H., J. C. Mamani L., C. E. Vásquez R., M. O. Rosales M. y J. Choquetoca Q. 2020. Análisis de incendios forestales en Pajonales Andinos utilizando sistemas de información geográfica y teldetección, Macari-Puno. *El Ceprosimad*: 30-37.
- Navazo, A. G., A. Nieto M. y G. Moreno M. 2016. Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Estudio de caso en sierra de Gata (2015). p 247-267. *In: Nieto, M. A. (ed.). Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial*. España: Cáceres.



Pérez-Verdín, G., m. A. Márquez-Linares, A. Cortés-Ortíz y M. Salmerón-Macías. 2013. Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*: 37-58.



MÉTODOS DE PROPAGACIÓN PARA *Guadua aculeata* Rupr. ex Four. EN EL SITIO EXPERIMENTAL LAS MARGARITAS, HUEYTAMALCO, PUEBLA

Pedro Hernández Zaragoza²⁷⁵, Maribel Álvarez Muñoz²⁷⁵ y Martha Elena Fuentes Lopez^{*276}

Resumen

En el estado de Puebla se presentan casi todos los tipos de clima y suelos tropicales, por lo que a lo largo y ancho de su territorio se encuentran bambusales naturales y algunas plantaciones, o simplemente cepas aisladas de diferentes bambúes. En la región de Hueytamalco, Puebla, el bambú nativo *Guadua aculeata* comúnmente llamado tarro tradicionalmente es utilizado en la construcción de viviendas, elaboración de muebles, artesanías y otros enseres domésticos; además se extrae del medio natural sin ningún manejo silvícola ni método de propagación. El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología eficiente de multiplicación para *G. aculeata* en condiciones de vivero, y que esté al alcance de todo tipo de productores. Para ello, se evaluó el efecto de cuatro técnicas de propagación (sección de tallos, esquejes de ramas, base de ramas y semilla), tres compuestos hormonales (Rootex, Radix 10,000, Arrancador y un testigo al que no se le aplicaron hormonas); los sustratos utilizados fueron tierra, arena, composta y agrolita en diferentes proporciones. El diseño experimental fue de parcelas divididas con arreglo factorial 2x2, más un testigo. Las variables evaluadas fueron supervivencia (SPV), número y altura de los brotes (NAB) y diámetro de los brotes (DB). La propagación por semilla resultó la mejor para reproducir *G. aculeata*, esta permite obtener de manera rápida, homogénea y a bajo costo plantas de buena calidad, cuando se emplea como sustrato una mezcla de tierra, arena, composta y agrolita. Este sustrato tiene la ventaja adicional de estar compuesto por materiales regionales, con alta disponibilidad y al alcance de los productores.

Palabras clave: bambú, semilla, vivero, sustrato

²⁷⁵ Sitio Experimental Las Margaritas-INIFAP.

²⁷⁶ Campo Experimental San Martinito-INIFAP. *Autor para correspondencia: fuentes.martha@inifap.gob.mx



Introducción

Los bambúes son plantas leñosas, perennes, macollantes o monopódicas, con rizomas bien desarrollados, poseen tallos (botánicamente llamados culmos) duros, generalmente huecos, crecen en climas tropicales y templados, con excepción de Europa y Asia Occidental (Judziewicz *et al.*, 1999; Marín *et al.*, 2008). En América, existen 21 géneros y 345 especies (Mercedes, 2006). En México, se ha determinado la presencia de ocho géneros y 56 especies (52 son leñosas y cuatro herbáceas), de las cuales 33 son endémicas (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2015).

México reúne condiciones fisiográficas, ecológicas y climáticas apropiadas para la propagación y alto potencial para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales de *Guadua aculeata* Rupr. ex Four. (Muñoz-Flores *et al.*, 2022). Sin embargo, su establecimiento y explotación a gran escala con fines comerciales está limitada por la escasez de propágulos (Goodbole *et al.*, 2002), su multiplicación lenta (Sood *et al.*, 2002) y la poca disponibilidad de semilla (Yasodha *et al.*, 2008). Estas dificultades para la propagación del bambú (Gielis *et al.*, 2001; Ticona-Aliaga y Mamani-Mollo, 2019) obligan a la búsqueda de metodologías de propagación eficientes y al alcance de los productores, que les permitan establecer y ampliar las plantaciones comerciales con características genéticas conocidas (Jiménez *et al.*, 2006; Mercedes, 2006).

En el estado de Puebla se presentan casi todos los tipos de climas y suelos tropicales, por lo que a lo largo y ancho de su territorio se encuentran bambusales naturales y algunas plantaciones establecidas, o simplemente cepas aisladas de diferentes bambúes. En la región de Hueytamalco, Puebla, el bambú nativo *Guadua aculeata*, comúnmente llamado tarro, se utiliza tradicionalmente en la construcción de viviendas, en la boración de muebles, artesanías y otros enseres domésticos (Hernández y Torres, 2020); se extrae del medio natural sin ningún manejo silvícola ni método de propagación.

Por otro lado, para producir plantas de calidad en los viveros son fundamentales la disponibilidad y características de los sustratos utilizados; así como la aireación, drenaje, retención de agua y densidad. Sin embargo, estas características pueden variar significativamente entre los componentes del sustrato y de un lugar a otro e incidir en la mezcla final (Alvarado *et al.*, 2021). Actualmente, las mezclas pueden prepararse con materiales orgánicos, composta, fibras, aserrín y productos agroindustriales (Mollitor *et al.*, 2004).

De manera convencional, el bambú se propaga principalmente por chusquines (hijuelos), estos se encuentran en la base de las plantas, y se originan de yemas adventicias en los rizomas; emergen



continuamente, pero su velocidad se incrementa cuando el culmo se corta; es un método de propagación muy recomendable por el alto prendimiento y desarrollo; cada brote produce de dos a 12 plántulas a los cuatro meses (Gallardo *et al.*, 2008). Otra forma de propagación es a partir del rizoma; este es una prolongación del tallo que sirve como órgano de reserva y propagación, al que se le cortan fracciones de 40-50 cm de longitud, cuidando de no dañar las yemas para plantarlos individualmente (Catasús, 2003). El método tiene baja tasa de multiplicación y es costoso, porque requiere mucha mano de obra (Giellis *et al.*, 2001).

Otro método de propagación usado en bambú es el de sección de tallos, el cual consiste en cortar partes del tallo aproximadamente de 1 m de longitud, de tres a cuatro años de edad y que posean dos o más nudos con yemas o ramas, las cuales se cortan con 30 cm de longitud; al plantarlos se debe tapar por lo menos un nudo. Este método requiere gran cantidad de material y por lo mismo, no se usa para la propagación masiva (Giraldo y Sabogal, 2007). En el método de esquejes de rama basal (segmento nodal) se seleccionan las plantas con las características deseadas; enseguida se elige el tercio basal medio, de donde se obtienen los propágulos de 3 a 5 cm que posean una yema axilar latente. Previamente, se deben preparar las bolsas con el sustrato elegido donde se siembran los propágulos de manera horizontal y a 3 cm de profundidad (Giraldo y Sabogal, 2007).

La propagación por semilla ha sido poco estudiada, porque la mayoría de las especies de bambú tienen periodos juveniles de hasta 50 años. Las semillas se pueden recolectar masivamente durante su florecimiento gregario o esporádico. La posibilidad de propagar bambúes por semilla no es un método práctico debido a los largos intervalos de floración y a la dificultad para de obtener las semillas (Mercedes, 2006). Por lo anterior, se llevó a cabo un estudio en el que se evaluaron cuatro técnicas de propagación (sección de tallos, esquejes de ramas, base de ramas y semilla) en *G. aculeata*, con el objetivo de desarrollar una metodología eficiente de multiplicación para la especie, que esté al alcance de todo tipo de productores.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló en el vivero del Sitio Experimental Las Margaritas del INIFAP, ubicado en los municipios Hueytamalco y San José Acateno, Puebla, México; a una altitud de 510 m, en las



coordenadas geográficas 20° 00' 10" N y 97° 18' 28" O (Figura 1). El clima es semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, temperatura media anual superior a 18°C, las temperaturas más bajas son mayores a 10°C y las más altas son superiores a 22°C; humedad relativa de 90% y precipitación pluvial de 2,400 a 3,000 mm (García, 2004).

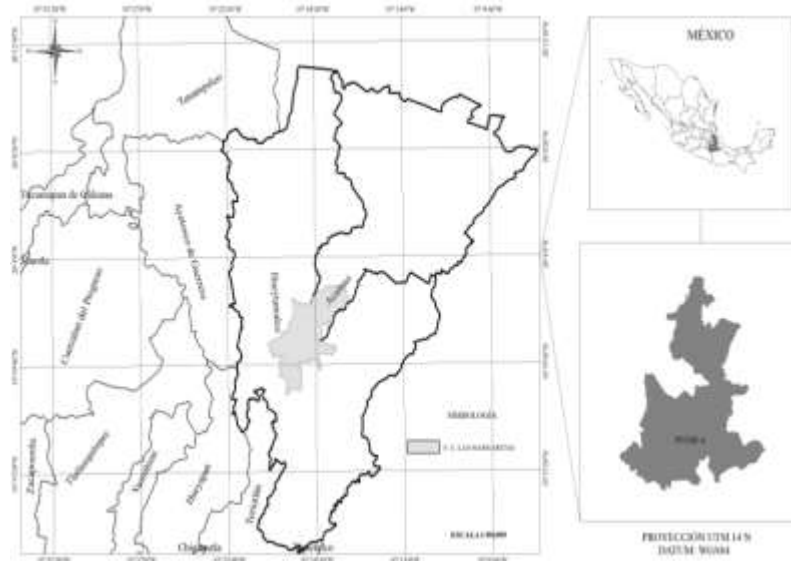


Figura 1. Área de estudio Sitio Experimental Las Margaritas, ubicado en los municipios Hueytamalco y San José Acateno, Puebla, México.

Métodos de propagación

El material vegetativo sexual (semilla) y asexual (sección de tallos, esquejes de ramas y base de ramas) se recolectaron en los bosques naturales de bambúes que se encuentran en los terrenos del Sitio Experimental Las Margaritas del INIFAP, ubicado en el municipio Hueytamalco, Puebla. El vivero forestal tiene malla sombra, dentro de este se construyeron camas con materiales del lugar y una altura de 30 cm, así como microtúneles hechos con material de bambú y plástico transparente de 2.5 m de ancho por 8 m de longitud por cama.

La sección de tallo, esquejes de ramas y base de ramas se recolectaron en horas tempranas de la mañana, a partir de bambusales con las siguientes características: sanos, vigorosos y en su etapa joven (de uno a tres años de edad). El material vegetativo se obtuvo con tijeras, machete y motosierra para seccionar los tallos, esquejes y base de ramas; posteriormente, se transportaron al vivero en toneles y tinas de agua para mantener turgente el material. Para recolectar la semilla se colocó, en los meses de



marzo-abril, una malla sombra en los bambusales naturales para recolectarla y transportarla al vivero en cubetas y costales de plástico.

Sustratos y tiempos de inmersión

Los sustratos fueron compuestos de materiales regionales, disponibles y al alcance de los productores, formados por tierra, arena, composta (estiércol de vaca) y agrolita en diferentes proporciones. Para robustecer las raíces se aplicaron tres compuestos hormonales (Rootex, Radix 10,000, Arrancador) y un testigo al que no se le adicionaron hormonas, los tiempos de inmersión fueron 24 y 48 horas.

Variables y diseño experimental

Las variables evaluadas fueron las siguientes: supervivencia (SPV), número y altura de los brotes (NAB) y diámetro de los brotes (DB). La supervivencia se empezó a registrar a los 15 días, a partir de entonces a los 45 días se realizó un primer registro y el siguiente se hizo a los 60 días de establecido el experimento de las variables (NAB y DB) Para el caso de la propagación sexual (semilla), el número y altura de los brotes (NAB) se obtuvieron periódicamente conforme fueron saliendo. La altura se midió de la base del brote hasta el último nudo. El diámetro de los brotes se midió con un vernier digital a la mitad de su longitud. El diseño experimental fue de parcelas divididas con arreglo factorial más un testigo: dos camas para el sustrato arena 70% y composta 30%; dos camas para el sustrato arena 100% y cinco camas para el sustrato tierra 30%, arena 30%, composta 30% y agrolita 10% (Figura 2).

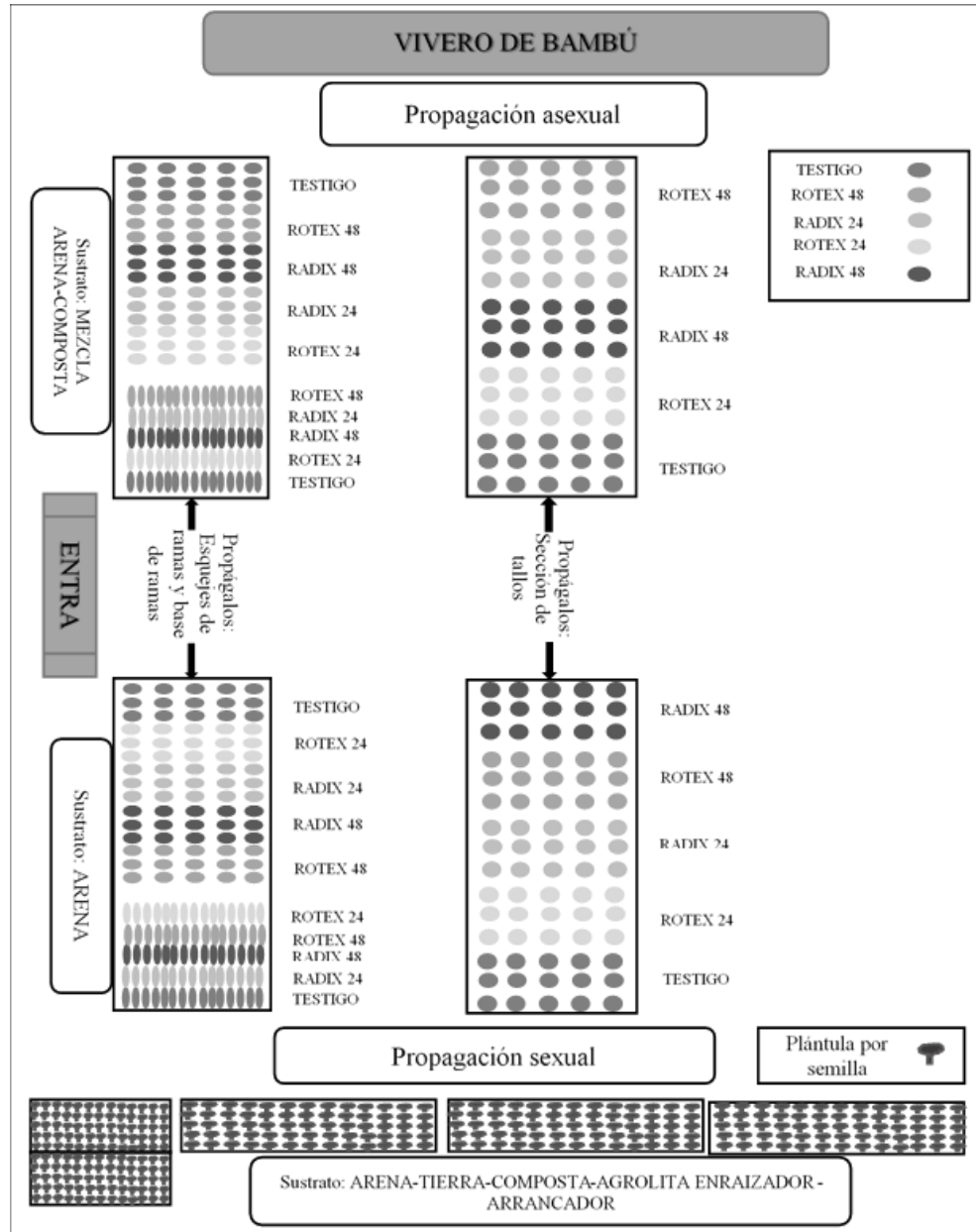


Figura 2. Diseño experimental para la propagación de *Guadua aculeata* en vivero.

Resultados y Discusión

Material vegetativo

Se utilizaron 150 secciones de tallos para su propagación. Desde la base del culmo se cortaron 30 culmos o tallos de entre uno y dos años de edad, a una distancia de 2 cm del primero o del segundo



nudo. Cada unidad de tallo de uno o dos entrenudos, con una o dos yemas, una longitud aproximada de 30 cm a partir de las dos terceras partes del culmo (Figuras 3 y 4).



Figura 3. Tallo de *Guadua aculeata*.



Figura 4. Trasplante de sección de tallos.

Sobre el sustrato, previamente preparado, se colocaron las secciones en forma horizontal, enterradas a una profundidad de 20 cm. Los riegos se aplicaron dos veces al día para mantener húmedo el sustrato hasta el momento del prendimiento. Como resultado de este ensayo, no se logró el enraizamiento ni la supervivencia esperada. Se concluyó que el método no fue el más apropiado, aunado a sus costos altos. Se determinó que de lograr buenos resultados, el material vegetal disponible no habría sido suficiente para la propagación de 120 mil plantas.



Esquejes de ramas

Los esquejes se obtuvieron de las secciones de ramas laterales de los culmos; se utilizaron 150 esquejes de 15 cm, dos nudos y una yema visible por cada nudo. Para el trasplante, los esquejes se colocaron en forma horizontal, posteriormente fueron cubiertos con una capa de sustrato de 5 a 6 cm (Figuras 5 y 6), manteniendo la humedad en el sustrato. Los resultados no fueron satisfactorios, ya que se obtuvo nulo porcentaje de supervivencia.



Figura 5. Corte de esquejes de ramas.



Figura 6. Trasplante de esquejes de ramas.

Bases de ramas

Se probaron 150 ramas y cada una se obtuvo del tercio más alto del culmo. La rama seleccionada se cortó desde la parte basal del culmo (Figura 7).



Figura 7. Corte de ramas basales.

Una vez cortadas, se colocaron de forma vertical sobre el sustrato; para ello, se hicieron hoyos en el sustrato y una vez enterrada la base, se apretó a su alrededor para evitar la presencia de aire entre el tejido vegetal y el sustrato (Figura 8). El porcentaje de prendimiento fue nulo, lo que se atribuyó a la pudrición oservada en la base de las ramas.



Figura 8. Trasplante de bases de ramas.

Propagación sexual

La floración de *Guadua aculeata* es esporádica y ocurre después de los 30-35 años de edad. En el 2015, los individuos de *Guadua aculeata* existentes en el Sitio Experimental Las Margaritas florecieron por primera vez, y se procedió a la recolecta de sus semillas, cuyo tamaño es equivalente al de un grano de arroz, con una longitud de 12 mm (Figura 9).



Figura 9. Semilla de *Guadua aculeata*.

Previo a la siembra en vivero, se aplicó un tratamiento pregerminativo, que consistió en una limpieza manual, en la cual se separaron las pseudoespiguillas, se eliminaron las semillas vanas y las hojas. Para romper la latencia se realizó la fricción manual de las semillas y se sumergieron en agua por 24 horas. El proceso de germinación de las semillas de bambú, a partir de su colocación en el sustrato inició en la segunda semana. A los 15 días de la siembra presentaron una altura promedio de 10 cm con dos folíolos desarrollados y diámetro del tallo de 1 mm (Figura 10).



Figura 10. Plántulas de *Guadua aculeata*.

Este método de propagación sexual obtuvo los mejores resultados, y permitió planificar la producción homogénea y sistemática de las plantas; se obtuvieron individuos de buena calidad con costos menores y en tiempos cortos; el porcentaje de sobrevivencia fue de 85-90%. Después de la germinación de la semilla, a dos meses de establecida la planta, se observó el primer brote a partir de la raíz principal con



características de crecimiento superiores a las de la planta madre, con un mayor número de hojas, altura promedio de 15 cm y diámetro promedio de 3-5 mm. Entre los tres y cuatro meses de edad, cada plántula produjo de 5 a 8 brotes nuevos, por lo que se realizó el “deshije” o segregación de los hijuelos y se procedió a su trasplante en bolsas de polietileno negro de calibre 400 de 15 x 15 cm (Figuras 11 y 12).



Figura 11. Segregación de plántulas.



Figura 12. Sustratos para el trasplante.

El suministro de agua fue constante, varió de acuerdo a la zona y a la época del año, el riego se aplicó dos veces al día para garantizar un buen prendimiento y el desarrollo de la planta; se utilizaron fertilizantes orgánicos debido a la sensibilidad de la especie a los productos químicos. Para lograr plantas con características deseables, se realizaron, de forma manual, prácticas culturales como el control de malezas para evitar la competencia por espacio, luz y nutrientes (Figuras 13 y 14).



Figura 13. Planta sana y vigorosa.



Figura 14. Planta lista para su establecimiento en campo.

Conclusiones

1. El método de propagación sexual (semilla) es mejor que el método asexual (sección de tallo, esquejes de ramas y base de ramas) para la producción de plántula de *Guadua aculeata*, con un sustrato a partir de una mezcla de tierra, arena, composta y agrolita; el cual tiene la ventaja adicional de estar compuesto por materiales regionales, altamente disponibles y al alcance de los productores.



Agradecimientos

Agradecemos de manera especial a la empresa Volkswagen de México (VWM) por el apoyo otorgado, en convenio con el INIFAP, para la realización del proyecto: Establecimiento de una plantación forestal sustentable de bambú nativo (*guadua aculeata*) en una superficie de 355 ha en el Sitio Experimental “Las Margaritas”, municipio Hueytamalco, Puebla.

Literatura Citada

- Alvarado, A. A., M. Munzón Q. y W. Pilaloe D. 2021. Efecto comparativo de tres sustratos en la propagación y crecimiento de dos especies de caña del género *Guadua*. Revista Alfa 5(14): 179.191.
- Catasús, G. L. 2003. Estudio de los bambúes arborescentes cultivados en Cuba. MINREX. Cuba. 56 p.
- Gallardo, J., M. Freire, J. León, Y. García, S. Pérez y M. González. 2008. Comportamiento en la brotación de las yemas de estacas de *Guadua angustifolia* Kunth empleadas en la propagación. Cultivos Tropicales 29 (1): 17-22.
- García E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. México D.F. 97 pp.
- Gielis, J., H. Peeters, K. Gillis, J. Oprins, P. C. Debergh. 2001. Tissue culture strategies for genetic improvement of bamboo. Acta Hort. 552:195-203.
- Giraldo, H. E. y A. Sabogal. 2007. Una alternativa sostenible: la Guadua técnicas de cultivo y manejo. Corporación Autónoma del Quindío C.R.Q. Tercera edición. Colombia. 192 p.



- Godbole, S., A. Sood F., R. Thakur, M. Sharma and S. Ahuja. 2002. Somatic embryogenesis and its conversion into plantlets in a multiplurpose bamboo. *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. ex Munro. *Current Science* 83 (7): 885-889.
- Hernández, S. A. y D. Torres H. 2020. Sistema constructivo con *Guadua aculeata* para la producción social de la vivienda. *Revista Ciencia* 22(1): 57-71. <http://dx.doi.org/10.24133/ciencia.v22i1.1290>.
- Judziewicz, E. J., G. Clark L. X. Londoño and M. J. Stern. 1999. American bamboos. Smithsonian Institution Press. Washington D.C., USA. 392 p.
- Marín, Ch. D., Y Guédez L. and L. Márquez De H. 2008. *Guadua* (*Guadua angustifolia* Kunth) and bamboo (*Bambusa vulgaris* Wendland) plantations in San Javier, Yaracuy state, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 25:261-285.
- Mercedes, J. R. 2006. Cultivo del Bambú. Guía Técnica. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal, Inc. CEDAF. Santo Domingo, República Dominicana. 37p.
- Mollitor, H., A. Faber, R. Marutzky and S. Springer. 2004. Peat substitute on the basis of recycled wood chipboard. *Acta Horticulturae* 644:123-130.
- Muñoz-Flores. H. J., J.T. Sáenz-Reyes, R. Barrera-Ramirez, D. Castillo-Quiroz and F. Castillo-Reyes. 2022. Evaluation of two species of bamboo under plantation in Ziracuaretiro, Michoacán, México. *Journal of Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25(2022):055.
- Ruiz-Sánchez, E., L.G. Clark, X. Londoño, T. Mejia-Saulés and G. Cortés. 2015. Morphological Keys to the genera and species of bamboos (Poaceae: Bambusoideae) of Mexico. *Phytotaxa* 236 (1): 1-24.



Sood, A., S. Ahuja P., M. O. P. Sharma and S. Godbole. 2002. *In vitro* protocols and field performance of elites of an important bamboo *Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. ex Munro. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 71:55-63.

Ticona, A. J. y J. R. Mamani M. 2019. Evaluación de la propagación de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth y *Guadua angustifolia* bicolor) con diferentes segmentos vegetativos, en la estación experimental Sapecho. Revista de Investigación e innovación Agropecuria y de Recursos Naturales 6(1): 16-23.

Yasodha, R., S. Kamala, K. S. P. Anand, K. P. Durai and K. Kalaiarasi. 2008 Effect of glucose on *in vitro* rooting of mature plants of *Bambusa nutans*. Scientia Horticulturae. 116:113-116.



COMPONENTES TÉCNICOS FUNDAMENTALES DE UN PROTOCOLO RECTOR PARA MANEJAR LA DENSIDAD DE RODALES EN BOSQUES REGULARES

Juan Carlos Tamarit Urias^{277*} y Melchor Rodríguez Acosta²⁷⁸

Resumen

Un protocolo técnico de mejores prácticas incluye especificaciones para efectuar un determinado proceso de manera estandarizada. En México, se carece de un protocolo de este tipo para el manejo técnico de la densidad de rodales de bosques regulares que oriente a los silvicultores para realizar un óptimo manejo, mediante una silvicultura de precisión a través de tratamientos silviculturales intermedios, como las cortas de aclareos. El objetivo del presente estudio fue identificar los componentes técnicos fundamentales que conforman un protocolo rector para manejar la densidad de rodales en bosques regulares. Se hizo una investigación documental sobre la producción científica forestal generada en México, y publicada en medios digitales e internet; se seleccionó literatura especializada relevante sobre la teoría y práctica del manejo de la densidad de rodales para bosques regulares. La información bibliográfica acopiada se analizó y sistematizó para tener un orden coherente y secuenciado, lo que permitió identificar los componentes técnicos fundamentales que deberán integrar el protocolo. Los temas técnicos relevantes fueron: (1) aplicación de medidas de densidad relativa con criterios de crecimiento biológico y base científica como las funciones de Reineke y Yoda, con sus respectivos índices; (2) las fuentes de información dasométrica y análisis respectivo para la elaboración de guías para el manejo de la densidad (GMD), como sitios de muestreo para inventario maderable operativo, selección de sitios con alta densidad, ajustes por mínimos cuadrados ordinarios lineales y desplazamiento de la línea promedio para delimitar la línea de máxima densidad; (3) construcción y uso de guías de densidad en la prescripción de aclareos a través de la delimitación de las zonas de crecimiento de Langsaeter para el diagnóstico del nivel de densidad y competencia por unidad

²⁷⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental San Martinito. *tamarit.juan@inifap.gob.mx

²⁷⁸ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Ixtacuaco.



mínima de manejo, además de la generación de programas gráficos y tabulares de aclareos e intensidad de corta; y (4) identificación y uso de tecnologías informáticas innovadoras para automatizar el proceso del manejo de la densidad de rodales, como la aplicación Siimader (Sistema informático INIFAP para manejar la densidad de rodales), software en línea de acceso libre que potenciará el uso de las GMD entre los silvicultores.

Palabras clave: estado del arte, guías de densidad, herramienta tecno-informática, índices Reineke-Yoda, prescripción de aclareos

Introducción

Para México, Sánchez (2008) cita 46 especies del género *Pinus* (pino), refiere que la República Mexicana es su mayor centro de diversidad mundial; sus taxa conforman los bosques naturales más importantes porque cubren alrededor de 5% del territorio nacional y 65% de sus taxones tienen valor comercial. Los bosques primarios de pinos y los mixtos crecen, principalmente, en zonas montañosas, serranías, cordilleras del Altiplano y en planicies tropicales de México; desde altitudes cercanas a 0 m hasta 4,000 m, en diferentes climas y exposiciones (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

La SEMARNAT (2019) informa que en el periodo de 1990 a 2017 la producción maderable total nacional, fue en promedio de 7 millones de m³ rollo total árbol y que el pino contribuyó con 80%. Estas estadísticas y atributos hacen que el género *Pinus* sea el de mayor importancia maderable, así como el de más alto potencial económico; razones por las que es necesario generar conocimientos y desarrollar tecnologías que coadyuven a mejorar su manejo técnico-silvícola.

Cuando el bosque crece de manera natural, esto es sin manejo técnico, los árboles experimentan competencia por espacio, luz solar, nutrimentos y agua; lo cual ocasiona que con el tiempo aparezca el fenómeno de mortalidad por episodios (Davis *et al.*, 2005), condición natural para que la masa forestal continúe su desarrollo y crecimiento a costa de que algunos individuos mueran, efecto que se conoce como autoaclareo. Con la mortalidad por autoaclareo se pierde tiempo para el crecimiento del rodal (Husch *et al.*, 2003); por lo que, con el conocimiento de esa situación, el silvicultor debe anticiparse y prever la intervención a los rodales mediante el diagnóstico del nivel de densidad y competencia, así como con la prescripción de aclareos (Tamarit-Urias *et al.*, 2020). Al respecto, el manejo de la



densidad para controlar la competencia intraespecífica es el principal factor que el silvicultor puede manipular con aclareos, como tratamientos silvícolas intermedios; los cuales son factibles de aplicarse mediante guías o diagramas para manejar la densidad (Burkhardt y Tomé, 2012).

Ante el escenario descrito, para la gestión de la densidad de rodales, se requiere que el silvicultor disponga de un protocolo técnico que contenga tanto los fundamentos y conocimientos técnico-científicos para construir y aplicar guías de densidad que se fundamenten en criterios de crecimiento biológico (Tamarit-Urias *et al.*, 2019), como las herramientas biométricas y tecnologías informáticas que faciliten la realización de los procesos de diagnóstico del nivel de densidad y competencia de los rodales, así como la prescripción de aclareos de manera automatizada (Tamarit-Urias *et al.*, 2020) que le permitan tomar decisiones informadas para lograr los objetivos de producción maderable al aplicar silvicultura de precisión.

En este contexto, en el presente trabajo de investigación documental se planteó el objetivo de identificar los componentes técnicos fundamentales que conforman un protocolo rector para manejar la densidad de rodales en bosques regulares, que en el corto plazo pudiera proponerse como estrategia nacional para el manejo de la densidad en rodales de los bosques regulares mexicanos que se ordenan con el Método de Desarrollo Silvícola (MDS).

Materiales y Métodos

La identificación de los componentes técnico de un protocolo para manejar la densidad de rodales, se realizó a través de una investigación y revisión bibliográfica con base en la propuesta de Gómez *et al.* (2015) sobre la producción científica generada exclusivamente en México, de la cual se seleccionó la literatura especializada relevante sobre la teoría y práctica del manejo de la densidad de bosques regulares, que se publicó en medios digitales e internet en forma de: (1) artículos científicos en revistas incluidas en el Sistema de Clasificación de Revistas Científicas del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT); (2) artículos científicos y de revisión, así como notas científicas publicadas en las principales bases de datos científicas de Latinoamérica, como Latindex, SciElo y Redalyc, además de bases de datos internacionales como WoS y Scopus; y (3) trabajos científicos en versiones extensas y resúmenes publicados en memorias de eventos científicos nacionales e internacionales.



Dado que un protocolo técnico debe incluir pautas y la descripción de especificaciones para la ejecución estandarizada de un determinado proceso, en este caso sobre el manejo técnico de la densidad de rodales de bosques regulares; con el propósito de identificar los componentes fundamentales que lo integrarían, la información bibliográfica acopiada se organizó, analizó y sistematizó para tener un orden coherente, lógico y secuenciado.

Los temas técnicos que se identificaron fueron: (1) aplicación de medidas de densidad relativa con base en Reineke y Yoda; (2) identificación de fuentes de información y análisis para la construcción de guías de densidad; (3) construcción y uso de guías de densidad en la prescripción de aclareos; y (4) identificación y uso de tecnologías informáticas para automatizar el proceso para el manejo de la densidad de rodales. En el protocolo se asume que el interesado domina los conceptos y terminología básica en la materia, así como la importancia y ventajas de gestionar la densidad mediante la aplicación de aclareos en tiempo y forma.

Resultados y Discusión

La investigación documental permitió integrar un estado del arte actualizado a junio del año 2023, así como conocer los logros y aportaciones relevantes que las instituciones de investigación y docencia mexicanas han hecho en el tema del manejo de la densidad de rodales de bosques regulares. El proceso también evidenció que la mejor estrategia para regular la densidad de rodales es utilizar funciones basadas en razones de crecimiento biológico y rigor estadístico; entre ellas, las de Reineke y Yoda son las usadas con más frecuencia (Santiago-García *et al.*, 2013; Tamarit-Urias *et al.*, 2020). A partir de esas funciones se derivan los respectivos índices de densidad del rodal y otras expresiones relacionadas; además de que son la base para determinar la línea de autoaclareo, la cual es la base para construir diagramas o guías para el manejo de la densidad (GMD), cuya utilidad básica es prescribir programas de aclareo (Tamarit-Urias *et al.*, 2019; Tamarit-Urias, 2023).

También, resaltó el hecho de que, para potenciar el uso práctico de las GMD, estas deben escalarse a un nivel más intuitivo e interactivo para el usuario; para ello, es necesario que se desarrollen y actualicen tecnologías informáticas que proporcionen soporte técnico y permitan realizar las tareas de gestión de la densidad de forma automatizada para un gran número de rodales en predios bajo manejo y aprovechamiento maderable (Tamarit-Urias *et al.*, 2022).



Aplicación de medidas de densidad relativa con base en Reineke y Yoda

La evaluación del nivel de densidad y el diagnóstico del grado de competencia de los rodales se efectúan a partir del índice de densidad de rodal de Reineke (IDRR), o bien del índice de densidad de rodal de Yoda (IDRY), los cuales se derivan de las funciones densidad – tamaño de Reineke (1933) y tamaño – densidad de Yoda *et al.* (1963), cuyas expresiones se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Funciones de densidad de Reineke y Yoda en versiones no lineal y linealizadas.

Ecuación	Forma no lineal	Forma linealizada
Reineke	$N = \alpha Dq^\beta$	$\text{Ln}(N) = \text{Ln}(\alpha) + \beta \text{Ln}(Dq)$
Yoda	$Vp = \alpha N^\beta$	$\text{Ln}(Vp) = \text{Ln}(\alpha) + \beta \text{Ln}(N)$

N: la densidad del rodal expresada como el número de árboles/ha; Dq: diámetro cuadrático medio; Vp: volumen promedio del árbol; Ln: función logaritmo natural; α y β : parámetros a estimar por regresión.

Para derivar los IDRR e IDRY se asume que las funciones de Reineke y Yoda describen relaciones tamaño - densidad y densidad tamaño en rodales de máxima ocupación, por lo que es posible caracterizar cualquier otro rodal en función de las mismas. De este modo, para la función no lineal de Reineke es posible reemplazar N por el IDRR a un diámetro cuadrático medio de referencia (Dq_r) [$IDRR = \alpha Dq_r^\beta$]; en tanto, para la expresión no lineal de Yoda se sustituye Vp por el IDRY a una densidad de referencia (N_r) [$IDRY = \alpha N_r^\beta$]. Así, para comparar la densidad máxima con cualquier otra, en ambas expresiones se asume que existe una proporción directa; por lo que, al proceder algebraicamente, reordenando y simplificando términos, se obtienen las expresiones finales siguientes de los IDRR e IDRY:

Para Reineke:
$$IDRR = N \left(\frac{Dq_r}{Dq} \right)^\beta$$

Para Yoda:
$$IDRY = Vp \left(\frac{N_r}{N} \right)^\beta$$

Cuando se desconocen los valores específicos del parámetro que corresponde a la pendiente (β) para el taxón de interés, se deben utilizar los valores teóricos propuestos originalmente de -1.605 para Reineke y de -1.5 para Yoda. Además, para propósitos de comparar los valores del IDRR e IDRY entre especies, por convención deberán usarse valores de $Dq_r = 25$ cm y $N_r = 100$ árboles/ha.

El IDRR es una medida de la densidad relativa y de la ocupación del sitio, se define como el número de árboles que una hectárea puede tener para un diámetro cuadrático medio de referencia, expresa la



relación entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal (Tamarit-Urias *et al.*, 2019). De manera análoga, el IDRY indica el volumen promedio por árbol que como máximo una hectárea sin autoaclareo puede soportar para una densidad de referencia preestablecida (Santiago-García *et al.*, 2013). Ambos índices equivalen a 100% de densidad del rodal.

Para determinar el nivel de densidad y grado de competencia de cualquier rodal, se debe calcular la respectiva densidad relativa en porcentaje, mediante la razón entre el valor del índice de densidad de rodal actual o presente de la unidad mínima de manejo (UMM) de interés y el valor de la densidad máxima dada por el IDRR o el IDRY [$IDRR_{m\acute{a}x} = \alpha Dq_r^\beta$; $IDRY_{m\acute{a}x} = \alpha N_r^\beta$]. Estos índices son relevantes porque constituyen herramientas silvícolas cuantitativas útiles y prácticas para el administrador forestal en el diagnóstico del estado de rodales individuales, con el propósito de manejar la densidad mediante la prescripción de aclareos con la construcción y uso de GMD.

Identificación y análisis de fuentes de información para construir guías de densidad

El uso de las funciones de Reineke y Yoda en el manejo de la densidad de rodales, requiere de información dasométrica sobre las variables: densidad del rodal, expresada como el número de árboles/ha (N); diámetro cuadrático medio (Dq) y volumen promedio del árbol (Vp). Preferentemente, esta debe obtenerse por especie y región a partir de una red de parcelas permanentes con remediciones en el tiempo, las cuales se ubican en rodales con densidad y competencia máximas; sin embargo, ello no es práctico porque se necesita de una planeación a largo plazo, tiene altos costos y demanda demasiado tiempo para su establecimiento, monitoreo y obtención de información útil.

En estudios recientes se indica que, para superar la referida limitación, la alternativa más práctica, económica, fácil y rápida es usar la información de sitios clásicos de muestreo que se establecen para realizar inventarios maderables operativos (Tamarit-Urias, 2023); solo debe tenerse la certeza de que los datos efectivamente correspondan a observaciones en densidad máxima. Otra alternativa es aplicar un muestreo estratificado de tipo selectivo, orientado a usar parcelas temporales, en donde los estratos útiles corresponden a rodales con cobertura cerrada y densidades altas. En ambas opciones, se deben considerar todas las categorías diamétricas, clases de edad y calidades de estación para que la muestra sea representativa de la región de estudio y el taxón de interés.

En el caso de sitios de muestreo para inventario operativo, se tiene la desventaja de que no todos los sitios se localizan en rodales con densidad y competencia altas, por lo que no todos son útiles para estudios de densidad, para ajustar las funciones de Reineke y Yoda, para definir la línea del límite superior del autoaclareo y para construir GMD. Por lo anterior, se deben seleccionar aquellos sitios que



cumplen este requerimiento y condición. Para tal efecto, hay que aplicar el método del índice de densidad del rodal máximo ($IDR_{m\acute{a}x}$), el cual se describe a continuación para Reineke (Tamarit-Urias *et al.*, 2019) y que es análogo para Yoda (Tamarit-Urias, 2023).

- 1). Para cada sitio se calcula el IDRR con las expresiones y valores de referencia antes indicados.
- 2). De entre todos los sitios, se ubica aquel que tiene el mayor valor de IDRR y que corresponde al $IDRR_{m\acute{a}x}$.
- 3). El valor del IDRR de cada uno de los sitios se divide entre el valor del sitio con el mayor $IDRR_{m\acute{a}x}$ ($IDRR/IDRR_{m\acute{a}x}$) para obtener la densidad relativa por sitio.
- 4). Se seleccionan los sitios cuyos valores de densidad relativa ($DR = IDRY/IDRY_{m\acute{a}x}$) sean ≥ 0.60 , lo que garantiza que cumplan la condición de localizarse en densidad y competencia altas.

Se ha determinado que los valores de los parámetros (α y β) de las funciones de Reineke y Yoda varían respecto a los valores teóricos (caso de β) originalmente propuestos, por ello deben estimarse por especie y regiones ecológicas mediante alguna técnica de regresión estadística (Tamarit-Urias *et al.*, 2020). En ese sentido, se tienen disponibles diferentes métodos estadísticos para ajustar tales funciones; Tamarit-Urias *et al.* (2019) refieren que utilizar la técnica de mínimos cuadrados ordinarios lineales (MCO-L) es satisfactorio, porque es un método robusto para estimar la tendencia promedio ya que minimiza la suma de los cuadrados de las distancias entre los valores observados y los valores predichos; además, reduce al mínimo el problema potencial de heterocedasticidad.

Sin embargo, MCO-L solo reproduce una línea promedio que atraviesa la nube de datos observados, por lo que no puede considerarse *per se* cómo una línea biológica de densidad máxima que se ubique en el límite superior de las observaciones; por lo tanto, es necesario aplicar algún criterio que desplace apropiadamente la línea promedio hacia la frontera superior, la cual corresponderá a la línea de densidad máxima, también denominada línea superior de autoaclareo o de mortalidad inminente (Tamarit-Urias *et al.*, 2019), que se caracteriza por ser en donde se presenta el fenómeno de mortalidad de individuos por competencia extrema y el efecto acentuado de autoaclareo.

Para desplazar la línea promedio se debe aplicar alguno de los criterios metodológicos con fundamento estadístico referidos en Tamarit-Urias *et al.* (2019) que básicamente consisten en mantener fijo el valor del parámetro de la pendiente (β) y aumentar el valor del parámetro del intercepto (α), lo que permite tener un α máximo ($\alpha_{m\acute{a}x}$) (Santiago-García *et al.*, 2013); para aplicarlos se debe disponer de los estadísticos de ajuste de las funciones de Reineke y Yoda de los valores estimados de los parámetros y de sus respectivos intervalos de confianza. Enseguida, se presentan las expresiones matemáticas de



cuatro criterios que estiman los valores de $\alpha_{\text{máx}}$, las cuales están adaptadas para la función de Yoda (Tamarit-Urias *et al.*, 2023), y por analogía el interesado puede reproducir las expresiones para la función de Reineke, que son ejemplificados por Tamarit-Urias *et al.* (2019).

Criterio 1: $\alpha_{\text{máx}} = (1.96 * \sigma^2) + \alpha$

Criterio 2: $\alpha_{\text{máx}} = \text{Ln}(Vp_+) + \beta * \text{Ln}(N_+)$

Criterio 3: $\alpha_{\text{máx}} = \bar{x}_{3RM} + \alpha$

Criterio 4: $\alpha_{\text{máx}} = LSIC$

Donde: σ^2 es la varianza del error; Vp_+ y N_+ son los valores de volumen promedio por árbol y densidad para el sitio que tiene el mayor IDRY; \bar{x}_{3RM} es el promedio de los tres residuales mayores; *LSIC* es el valor del límite superior del intervalo de confianza para el parámetro α calculado a 95% de confiabilidad.

Mediante un análisis visual y comparativo gráfico sobre las trayectorias de las diferentes líneas de autoaclareo que cada criterio produce, se selecciona como el mejor aquel cuya línea de máxima densidad se ubica apropiadamente en el límite o frontera superior de los datos observados, y que teóricamente representa la línea biológica absoluta porque es consistente y biológicamente razonable. Tamarit-Urias *et al.* (2023) señalan que el uso de MCO-L en combinación con algún criterio para desplazar la línea promedio genera resultados equivalentes a los obtenidos con técnicas más modernas, sofisticadas y con marcos teóricos robustos como la de regresión frontera estocástica. De esta manera, con los mejores valores finales de los parámetros α y β se debe proceder a construir la respectiva GMD del taxón y región de interés.

Construcción y uso de guías de densidad para la prescripción de aclareos

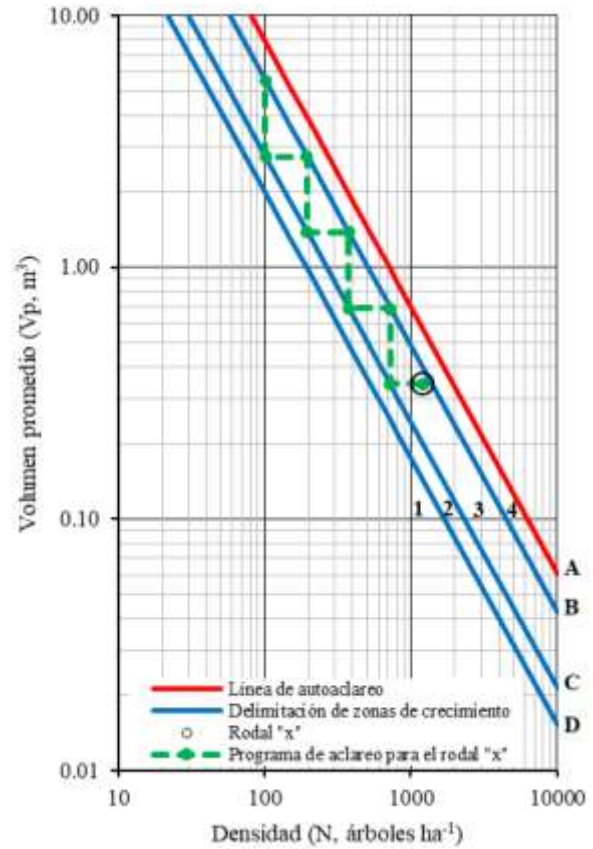
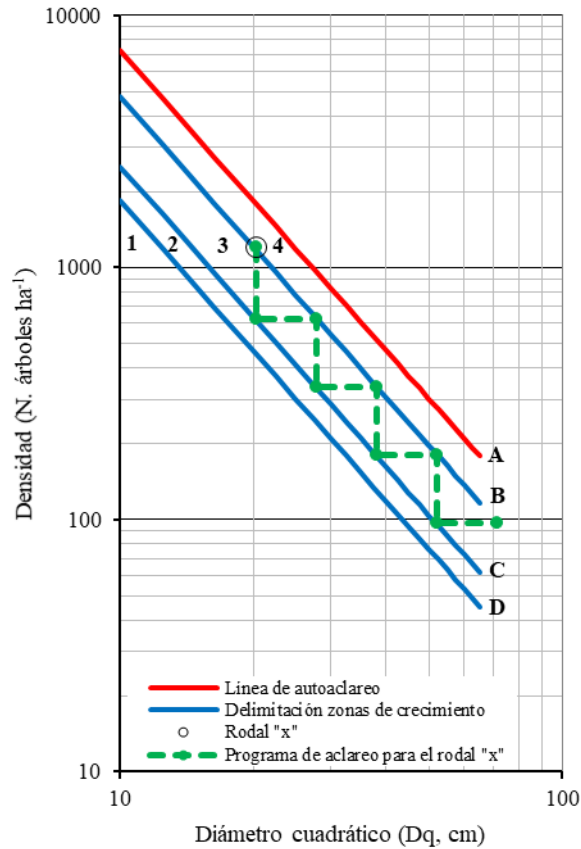
La línea de densidad máxima y el $IDR_{\text{máx}}$ son atributos e insumos fundamentales para la elaboración de las GMD por especie y región agroecológica. Una GMD se construye como un gráfico en escala logarítmica con las variables de la función de densidad en cuestión, en la que, al considerar, en principio, el Dq_r o la N_r se delimita la línea superior de autoaclareo (Tamarit-Urias *et al.*, 2020). Enseguida, esa línea se considera como referencia para establecer las diferentes líneas que definen las cuatro zonas de crecimiento teóricas de Langsaeter (1941) que conforman fajas o bandas de densidades relativas.

Estas líneas teóricas se determinan como porcentajes de la línea de autoaclareo porque se acepta que un determinado intervalo del $IDR_{\text{máx}}$ es una etapa particular de desarrollo del rodal y cada una de ellas



equivale a las zonas de crecimiento que conforman una GMD (Tamarit-Urias *et al.*, 2020). Así, la zona 1 corresponde a la de crecimiento libre o de subutilización, se delimita hasta 25% con respecto al $IDR_{m\acute{a}x}$; la zona 2 es la de transición, se define de 25 a 35%; la zona 3 es la de máximo crecimiento en volumen por hectárea del rodal, se establece entre 35 y 70%; y la zona 4 es la de autoaclareo o mortalidad, se ubica de entre 70% hasta 100%. La densidad de cada rodal se debe gestionar en la zona de crecimiento 3, porque la ocupación del sitio es apropiada y la tasa de crecimiento positiva, máxima y constante, con esto se logrará el objetivo de producción maderable.

Una GMD es una herramienta biométrica de utilidad operativa, ya que permite al silvicultor comparar, evaluar y decidir de manera fácil y rápida diferentes regímenes alternativos de aclareos para su implementación en la regulación de la densidad de rodales. La utilidad práctica de una GMD es la de generar y prescribir programas de aclareo, los cuales pueden trasladarse de forma gráfica a tabular, en las cuales es posible calcular la intensidad de corta (IC) de cada aclareo; en el caso de una GMD con Reineke es factible determinar la cantidad de árboles por hectárea por remover y la residual; así como, su equivalente en área basal/ha en cada intervención de corta intermedia. Por otra parte, con una GMD con Yoda, además de la IC puede estimarse el V_p y el volumen/ha por remover y el residual por intervención. En la Figura 1, se ejemplifica el uso de dos GMD, ambas para *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en la Unidad de Manejo Forestal (Umafor) 2103 Teziutlán en Puebla, México; la primera se basa en Reineke (Figura 1a), y la segunda en Yoda (Figura 1b). El ajuste de las funciones linealizadas proporcionó los siguientes valores de los parámetros: para Reineke $\alpha = 13.450384$ y $\beta = -1.979446$; para Yoda $\alpha = 6.945036$ y $\beta = -1.057493$; con esos valores se calcularon los respectivos índices ($IDRR_{m\acute{a}x} = 1,187$ árboles/ha, $IDRY_{m\acute{a}x} = 7.96$ m³). Para un rodal “x” la información dasométrica es: $N = 1,200$ árboles/ha, $D_q = 20.39$ cm y $V_p = 0.3444$ m³. Así, con ambas GMD se determina que el rodal en cuestión se ubica en el límite inferior de la zona 4, por lo que técnicamente se infiere que se encuentra en alta densidad y competencia, porque su DR para Reineke es de 67.5% y de 59.8% para Yoda; razón por la cual, el diagnóstico indica que se debe intervenir con un aclareo como tratamiento silvícola intermedio. En función del crecimiento y desarrollo del rodal se aplicarán aclareos consecutivos en el tiempo para mantener su densidad en la zona de crecimiento 3. En el Cuadro 2 se presenta el respectivo programa de aclareo solo para la función y GMD basada en Reineke; el de Yoda puede derivarse en forma análoga.



a b
Figura 1. Guías para manejar la densidad con programas de aclareos basadas en Reineke (a) y en Yoda; los números en negritas indican las zonas de crecimiento y las letras mayúsculas en negritas corresponden a las líneas que delimitan las respectivas zonas de crecimiento.

Cuadro 2. Programa de aclareo para el rodal “x” con base en la función y GMD de Reineke.

N	Dq	IC (%)	N extraídos	N residuales	AB extraída	AB residual
1,200	20.39					
622	20.39	51.8	578	622	18.87	20.30
622	27.87					
335	27.87	53.8	287	335	17.51	20.43
335	38.11					
180	38.11	53.8	155	180	17.63	20.56
180	52.10					
97	52.10	53.8	83	97	17.74	20.70

N es la densidad (número de árboles/ha); Dq es el diámetro cuadrático medio en cm; IC es la intensidad de corta; AB es el área basal en m²/ha.



Identificación y uso de tecnologías informáticas para automatizar la regulación de la densidad

Para potenciar el uso práctico y operativo de las GMD es necesario que se dispongan de innovaciones tecnológicas en forma de aplicaciones informáticas (AI) en línea que den soporte técnico para que las GMD sean reproducidas y los programas de aclareo se generen de manera automatizada por rodal o UMM para predios forestales con programas para el aprovechamiento maderable en los que se aplica el Método de Desarrollo Silvícola (Tamarit-Urias *et al.*, 2021a, 2021b).

En el extranjero se han desarrollado algunas AI para PC como herramientas para gestionar la densidad de rodales; sin embargo, están limitadas a pocas especies, a regiones agroecológicas específicas y a una sola función de densidad (Tamarit-Urias *et al.*, 2021a). En México, Tamarit-Urias *et al.* (2022) desarrollaron una AI en línea denominada Siimader (Sistema informático INIFAP para manejar la densidad de rodales) que supera las limitaciones indicadas y cuya pantalla principal en Internet se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Pantalla principal de la aplicación informática Siimader con indicación del dominio en la Web.



La AI Siimader inicialmente ejecuta tareas automatizadas orientadas a manejar la densidad de rodales coetáneos de *P. patula* y de *P. montezumae* Lamb., cuya dominancia en términos de abundancia sea $\geq 80\%$ en la Umafor 2103. Siimader opera con las funciones de Reineke y Yoda para: (1) reproducir GMD para la especie dominante de interés; (2) diagnosticar el nivel de competencia en cada UMM; (3) determinar la necesidad de realizar aclareos; y (4) proponer un programa de aclareo por UMM. Genera programas de aclareo en forma gráfica y tabular similares a los de la Figura 1 y Cuadro 2, efectúa la gestión de la densidad en la zona de crecimiento 3, se alimenta con información dasométrica ordenada por predio, rodal, sitio, especie, Núm. de árbol, diámetro normal y altura total; la cual debe proceder de sitios de muestreo circulares de 1,000 m² (Tamarit-Urias *et al.*, 2022).

El Siimader opera en línea con libre acceso y registro previo en un hosting con dominio propio en internet (<https://www.siimader.com>). Está diseñado y programado para procesar información de especies de pino o latifoliadas de cualquier Umafor e incluso de ecoregiones de otros países, para ello es necesario que el interesado ingrese los valores de los parámetros de las funciones de Reineke y Yoda, del modelo de volumen de Schumacher-Hall y la información dasométrica de sitios de muestreo para inventario maderable (Tamarit-Urias *et al.*, 2022). Por las ventajas técnicas que ofrece y su amplio potencial de aplicación se recomienda al silvicultor utilizar el Siimader porque además ofrece funcionalidad operativa, es intuitivo e interactivo con el usuario.

Las GMD que se proponen para formar parte de un protocolo técnico para gestionar la densidad, si bien pueden considerarse básicas, ya que solo incluyen dos atributos del rodal en un plano bidimensional, al mismo tiempo son prácticas porque facilitan la lectura e interpretación para diagnosticar el estado de densidad y determinar el nivel de competencia de los rodales. En el futuro podrán desarrollarse GMD más completas al incorporarse isolíneas de otras variables del rodal (altura dominante o índice de sitio, área basal, volumen, etcétera.) como las propuestas por Corral-Rivas *et al.* (2015) y Cabrera-Pérez *et al.* (2018), situación que será posible cuando se disponga de modelos de crecimiento o alométricos de tales variables por especie y región, los cuales aún están en desarrollo. Con relación a las herramientas de tecnologías informáticas en línea que proporcionen soporte para la toma de decisiones respecto al manejo de la densidad de rodales, en concordancia con Newton (2021) se ratifica la necesidad de desarrollar nuevas y modernas opciones de aplicaciones informáticas, además de que se actualicen las versiones ahora disponibles, como es el caso de la AI Siimader (Tamarit-Urias *et al.*, 2022).



Conclusiones

Se identificaron cuatro componentes técnicos fundamentales para que formen parte de un protocolo técnico orientado a regular la densidad de rodales coetáneos, tales componentes son acordes a las condiciones de crecimiento y de manejo de los bosques regulares que prevalecen en México. El protocolo que se origine podría proponerse como base para impulsar una política y estrategia nacional que potencie y masifique el uso de GMD por los silvicultores y se coadyuve a mejorar el manejo silvícola a través de mejores prácticas en la gestión de la densidad de rodales; lo que contribuirá al desarrollo forestal sustentable. La base para la identificación fue una minuciosa revisión documental que permitió disponer del estado del arte actualizado a junio del año 2023. Los componentes técnicos son a) la aplicación de medidas de densidad relativa de Reineke y Yoda; b) la identificación y análisis de fuentes de información dasométrica para elaborar guías de densidad; c) la construcción de guías de densidad para diagnosticar el nivel de competencia y prescribir aclareos; y d) la identificación e implementación de tecnologías informáticas que automaticen el proceso de regulación de la densidad.

Agradecimientos

La presente investigación se desarrolló con el financiamiento de recursos fiscales del INIFAP al proyecto de investigación con número de registro 7352934499, bajo la responsabilidad técnica del primer autor.

Literatura Citada

Burkhart, H. E. and M. Tomé. 2012. Modeling forest trees and stands. Springer. NY, USA. 458 p.

Cabrera-Pérez, R. S., S. Corral-Rivas, G. Quiñonez-Barraza, J. A. Nájera-Luna, F. Cruz-Cobos and V. H. Calderón-Leal. 2019. Density management diagram for mixed-species forests in the El Salto región, Durango, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(1):17-29.



- Corral-Rivas, S., J. G. Álvarez-González, J. J. Corral-Rivas, C. Wehenkel and C. A. López-Sánchez. 2015. Diagramas para el manejo de la densidad en bosques mixtos e irregulares de Durango, México. *Bosque* 36(3):409-421.
- Davis, L. S., K. N. Johnson, P. S. Bettinger and T. E. Howard. 2005. *Forest management: to sustain ecological, economic, and social values*. 4th ed. Waveland. Illinois, USA. 804 p.
- Gernandt, D. S. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:126-133.
- Gómez, V. M., C. H. Galeano y D. A. M. Jaramillo. 2015. El estado del arte: una metodología de investigación. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales* 6(2):423-442.
- Husch, B., T. W. Beers and J. A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. 4th edition. Wiley. New York, USA. 443 p.
- Langsaeter, A. 1941. Om tynning i enaldret gran-og furuskog. *Meddelelser fra det Norske Skogforsoksvesen* 8:131-216.
- Newton, P. F. 2021. Croplanner: A stand density management decision-support software suite for addressing volumetric yield, end-product and ecosystem service objectives when managing boreal conifers. *Forests* 12:448.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research* 46:627-638.
- Sánchez, G. A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1):107-120.



Santiago-García W., H. M. De los Santos-Posadas, G. Ángeles-Pérez, J. R. Valdez-Lazalde, D. H. del Valle-Paniagua y J. J. Corral-Rivas. 2013. Auto-aclareo y guías de densidad para *Pinus patula* mediante el enfoque de regresión de frontera estocástica. *Agrociencia* 47:75-89.

SEMARNAT. 2019. Producción forestal maderable y no maderable. https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/indicadores17/conjuntob/indicador/07_forestales/7_2.html

Tamarit-Urias, J. C. 2023. ¿Mínimos cuadrados ordinarios o regresión frontera estocástica para estimar la línea de autoaclareo con la ecuación de Yoda? *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 14(76):120-145.

Tamarit-Urias, J. C., M. Rodríguez-Acosta e I. Lerma S. 2022. Siimader: sistema informático Inifap para manejar la densidad de rodales. *e-CUCBA* 9(17):147-155.

Tamarit U., J. C., M. Rodríguez A. e I. Lerma S. 2021a. Siimader: Herramienta informática e innovación tecnológica para aplicar aclareos en el manejo de bosques regulares. *In: Libro Científico: Ciencia y tecnología para el campo mexicano: Retos y oportunidades*. R. Zetina L., *et al.* (Comps). Primera edición en formato electrónico. INIFAP. Veracruz, Ver., México. pp. 960-974.

Tamarit U. J. C., M. Rodríguez A. e I. Lerma S. 2021b. Sistema informático Inifap para manejar la densidad de rodales – Siimader. *In: Memorias de la XI Reunión Nacional de Investigación Forestal. Reuniones Científicas INIFAP 2021*. E. Rojas D. *et al.* (Eds). INIFAP. Año 1. Núm. 1. Ciudad de México, México. pp. 27-29.

Tamarit-Urias, J. C., G. Quiñonez-Barraza and J. Hernández-Ramos. 2020. Aspectos metodológicos para generar diagramas de manejo de la densidad de rodales con base en el índice de Reineke. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(61):4-26.



Tamarit-Urias, J. C., G. Quiñonez-Barraza, H. M. de los Santos-Posadas, A. Castañeda-Mendoza y W. Santiago-García. 2019. Diagrama para manejo de la densidad en rodales de *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. & Cham. en Puebla, México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 10(51):157-181.

Yoda, K., T. Kira, H. Ogawa and K. Hozumi. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions (Intraspecific competition among higher plants XI). Journal of Biology 14:107-129.



ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD ARBÓREA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE CAFÉ EN LA ZONA CENTRO DE VERACRUZ

Rolando Misael Tlaxcala Méndez^{279*}, M. del Carmen Pablo Mendoza²⁷⁹ y Rosalío López Morgado²⁸⁰

Resumen

Los agroecosistemas de café bajo sombra ayudan a conservar la biodiversidad y brindan servicios ambientales, además permiten la conectividad de fragmentos de bosques funcionando como corredores biológicos. El conocimiento de la diversidad arbórea en los sistemas agroforestales de café es importante para comprender el papel que desempeñan los árboles según las necesidades y preferencias del productor. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue analizar la estructura y la diversidad arbórea en seis unidades de producción (UP) de café robusta [*Coffea canephora*] en la región de Tezonapa, Veracruz. Para ello, se establecieron tres sitios de muestreo (SM) en cada UP, para un total de 18 SM, en donde se registró el diámetro normal, la altura total, la cobertura de copa y se identificaron taxonómicamente los árboles. Para el estudio de la estructura arbórea global, se empleó el Índice de Valor de Importancia (IVI), el Índice de Valor Forestal (IVF) y el Índice de Valor de Importancia Familiar (IVIF). La cuantificación de la diversidad alfa a nivel global y de UP se realizó en función de la riqueza específica simple (S), riqueza de Margalef (R_M), Equidad de Pielou (E) y Diversidad de Shannon (H'). Para la comparación diversidad beta entre UP se aplicaron los coeficientes de similitud de Sorencen-Dice (S_i) y Jaccard (C_j). Las especies de árboles con mayor importancia ecológica relativa según el IVI y el IVF fueron *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* y *Gmelina arborea*; las familias más importantes fueron las meliáceas, boragináceas, lamiáceas, rutáceas y fabáceas. En cuanto a la diversidad alfa, a nivel general se registraron 38 especies arbóreas, se estimó un valor de $H' = 2.46$ debido a la baja E; a nivel UP, el H' fue menor: 1.37 a 2.15 también por la abundancia de al menos tres especies de árboles. En la diversidad beta, la semejanza entre UP fue baja en términos generales (<55% y <39.7% según S_i y C_j). Se concluye que cada UP aporta una parte del

²⁷⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental El Palmar.

*tlaxcala.rolando@inifap.gob.mx.

²⁸⁰ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Sitio Experimental Teocelo.



total de especies de árboles presentes en la zona, lo que ayuda a conservar la diversidad total de la región.

Palabras clave: *Coffea canephora*, semejanza, Tezonapa, Whittaker

Introducción

En los bosques tropicales una de las causas principales de la pérdida de su biodiversidad es la fragmentación del hábitat por actividades antropogénicas (agrícolas, ganaderas, industriales, turísticas, petroleras, mineras, urbanizaciones, vías de comunicación, etcétera); la acelerada transformación del paisaje por estas actividades ha creado espacios de vegetación con distinto grado de perturbación (Bojorges y López 2005; CONABIO 2009). En la región central del estado de Veracruz, la mayor parte de la vegetación primaria está modificada (INEGI, 2016).

En ese sentido, los sistemas agroforestales de café promueven la conservación arbórea, pero la sustitución de estos por usos de suelo más intensificados no solo agrava las condiciones de pobreza, sino también influye en el deterioro ambiental por la remoción de la cubierta arbórea, lo cual afecta a especies diversas. La gran variedad de árboles, presentes en los cafetales, proveen de sombra, frutos, flores, néctar, polen, madera y otros productos a diversos organismos tanto vegetales (hierbas del sotobosque, epífitas vasculares y helechos), como animales (mamíferos pequeños, aves, anfibios, insectos, reptiles o artrópodos (Anta 2006; Perfecto *et al.* 1996).

La mayoría de los estudios sobre estructura y diversidad arbórea se enfocan en los agroecosistemas de *Coffea arabica* L. (café arábica) (Villavicencio y Valdez, 2003; Garcia *et al.*, 2015; Zapata, 2019); sin embargo, los de *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner (café robusta) también conservan especies de árboles de sombra. En el valle de Tezonapa, el monocultivo de la caña ha desplazado a la vegetación nativa; no obstante, el incremento de las Unidades de Producción (UP) de café robusta bajo sombra arbórea diversificada podría ayudar a conservar y conectar la biodiversidad de los remanentes de bosque tropical en los extremos, ya que se crean corredores biológicos que fomenten el movimiento de plantas y animales que amortigüen los cambios abruptos de microclima en sus bordes (Manson *et al.*, 2018); por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar la estructura y la composición de la



vegetación arbórea en agroecosistemas de café robusta, en seis unidades de producción de la región de Tezonapa, Veracruz.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se efectuó en sistemas agroforestales de café robusta (SAFC) de las localidades: Atlizacuapa, El Palmar y Manzanares pertenecientes al municipio Tezonapa, Veracruz. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano, el intervalo de temperatura es de 18 a 40°C, con una precipitación de 2,400 a 3,100 mm; altitud promedio de 137 m; la fisiografía corresponde a un valle de laderas tendidas; los tipos de suelos dominantes son luvisoles (INEGI, 2009).

Toma de datos

Se identificaron seis unidades de producción (UP) dentro de las tres localidades mencionadas, en estas se establecieron sistemáticamente tres sitios de muestro (SM) por UP para un total de 18 UM, las dimensiones de cada una fue de 50 x 50 m (2,500 m²) de forma cuadrada, en ellas solo se consideraron los árboles con un diámetro mínimo inventariarle ≥ 5 cm, a los cuales se les midió el diámetro normal (DN en cm) a 1.30 m sobre el suelo con una cinta diamétrica Forestry Suppliers, Inc., la altura total (H en m) con un clinómetro Suunto y el diámetro de la copa (DC en m) con una cinta métrica, a partir de la proyección de la misma sobre el suelo. Además, se identificó cada individuo a nivel de género, y en su caso a especie, con la ayuda de manuales de identificación (Pennington y Sarukhán, 2005), así como por los nombres comunes que proporcionaron los productores; algunos individuos se identificaron con la aplicación móvil iNaturalist.

Índices de estructura arbórea para evaluar los SAFC a nivel global

Para cada especie arbórea se determinó su abundancia relativa, según el número de árboles; su dominancia relativa en función del área basal y su frecuencia relativa con base en la presencia, con estas tres estimaciones horizontales se obtuvo un valor ponderado a nivel especie conocido como Índice de Valor de Importancia (IVI) (Ec. 1) (Soler *et al.*, 2012). Con el propósito de evaluar la estructura bidimensional de la vegetación arbórea, se calculó el Índice de Valor Forestal (IVF) (Ec. 2) que considera tres estimaciones: la primera al nivel del estrato inferior en el plano horizontal correspondió al diámetro normal relativo; la segunda incluyó los estratos inferior y superior en el plano



vertical, fue la altura total relativa; y la tercera al nivel del estrato superior en el plano horizontal fue la cobertura relativa. Finalmente, se determinó la importancia ecológica relativa de las familias en el plano horizontal a través del Índice de Valor de Importancia Familiar (IVIF) (Ec. 3) que considera, la abundancia relativa, la dominancia relativa y la diversidad relativa (número de especies por familia) (Cuadro 1). Los índices del IVI, IVF e IVIF tienen valores porcentuales en una escala de 0 a 300% (Zarco *et al.*, 2010). Para facilitar los cálculos de los índices estructurales se empleó la herramienta de tablas dinámicas del programa Excel.

Cuadro 1. Índices estructurales para evaluar la vegetación arbórea en los SAFC a nivel global.

Estructura	Nivel	Ecuación	Fuente	Ecuación
Horizontal	Especie	$IVI = A_i + F_i + D_i$	Soler <i>et al.</i> , 2012	1
Horizontal y Vertical	Especie	$IVF = DN_i + H_i + CC_i$	Zarco <i>et al.</i> , 2010	2
Horizontal	Familia	$IVIF = A_j + D_j + Div_j$	Silva <i>et al.</i> , 2008	3

A_i = Abundancia relativa de la especie i (%); F_i = Frecuencia relativa de la especie i (%); D_i = dominancia relativa de la especie i (%); A_j = Abundancia relativa de la familia j (%); D_j = Dominancia relativa de la familia j (%); Div_j = Diversidad relativa de la familia j (%); DN_i = Diámetro normal relativo de la especie i (%); H_i = Altura relativa de la especie i (%); CC_i = Cobertura de copa relativa de la especie i (%).

Evaluación de la diversidad alfa a nivel UP y global

La riqueza específica se cuantificó de dos formas: la primera mediante el conteo de especies presentes (Ec. 4), sin considerar su valor de importancia; y en la segunda se empleó la riqueza de Margalef (Ec. 5), en esta última los valores por debajo de 2 suelen hacer referencia a ecosistemas con poca biodiversidad (antropizados), y superiores a 5 con alta biodiversidad. Así mismo, la equidad se estimó con la fórmula de Pielou (Ec.6); índice que es sensible a la abundancia de las especies más dominantes, su valor se acerca a cero cuando en la población pocas especies dominan sobre las demás y es cercano a la unidad, cuando todas las especies comparten abundancias similares (Soler *et al.*, 2012). Finalmente, la diversidad alfa se cuantificó con el índice de Shannon (Ec. 7), el cual es uno de los más usados en ecología y en SAFC, considera no solo el número de especies (riqueza específica) sino también su representación o equidad (número de individuos por especie) (Soler *et al.*, 2012); en la mayoría de los ecosistemas naturales su valor varía de 0.5 a 5.0, aunque su valor normal está entre 2 y 3, los valores



inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y los superiores a 3 son altos en diversidad de especies (Cuadro 2).

Cuadro 2. Fórmulas usadas para medir la diversidad alfa del estrato arbóreo en los SAFC a nivel global y UP.

Índice	Formula	Fuente	Ecuación
Riqueza simple	$R_s = S$	Moreno, 2001	4
Riqueza de Margalef	$R_M = \frac{S - 1}{\ln N}$	Moreno, 2001	5
Equidad de Pielou	$E = \frac{H}{\ln S}$	Moreno, 2001	6
Diversidad de Shannon	$H' = - \sum p_i \times \ln p_i$	Moreno, 2001	7

$\sum p_i$ = Sumatoria de las abundancias relativas de cada especie; S = Número de especies presentes; N = Número de individuos encontrados en la muestra; \ln = Logaritmo natural.

Evaluación de la diversidad beta entre UP

Para estimar la diversidad beta se emplearon dos coeficientes de semejanza florística: el primero fue el de Sorensen-Dice (Ec. 8) y el segundo el de Jaccard (Ec. 9), ambos coeficientes proporcionan peso igual a todas las especies sin importar su abundancia (Cuadro 3); por lo tanto, dan la misma importancia a las especies más raras o poco abundantes. (Villareal *et al.*, 2004).

Cuadro 3. Fórmulas usadas para medir la diversidad beta del estrato arbóreo entre las Unidades de Producción (UP).

Coefficiente de semejanza	Fórmula	Fuente	Ecuación
Sorensen-Dice	$S_i = \frac{2C}{(A + B)}$	Villareal <i>et al.</i> , 2004	8
Jaccard	$C_j = \frac{C}{(A + B - C)}$	Villareal <i>et al.</i> , 2004	9

A = Número de especies encontradas en la UP A; B = Número de especies encontradas en la UP B; C = Número de especies comunes en ambas UP.

Resultados y Discusión

Índices estructurales del arbolado en los SAFC a nivel global

En los SAFC las especies con mayor importancia ecológica relativa en el sentido horizontal según el IVI fueron *Cedrela odorata* L., *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken, *Gmelina arborea* ROxb., *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson y *Tectona grandis* L., estas fueron frecuentes en la mayoría de los sitios de muestreo (Figura 1); adicionalmente, el IVF sugiere que *Alibertia edulis* (Rich.) A. Rich. ex DC. es una de las más importantes debido a su cobertura de copa relativa. Ambos índices coinciden en cuanto a la importancia estructural en la mayoría de las especies arbóreas (Figura 2). Así mismo, el IVI y el IVF muestran el orden de preferencia que tienen los productores por las especies de sombra empleadas en sus cafetales; las cuales además de proporcionar sombra, ofrecen otros servicios ambientales como la madera, leña, regulación de temperatura, aporte de materia orgánica, refugio para la fauna, almacenan carbono.

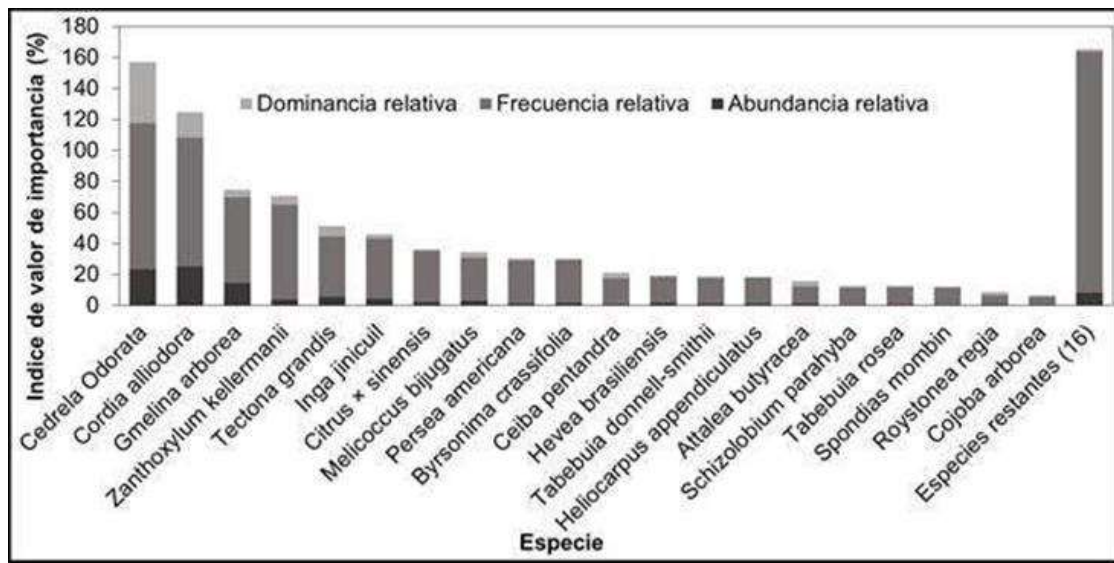


Figura 1. Índice de valor de importancia a nivel global en los SAFC.

De forma semejante, en estudios realizados sobre estructura arbórea en agroecosistemas de café arábica *Cordia alliodora* ha sido la más importante; dado que se adapta a diversas condiciones agroecológicas, los productores la valoran por presentar fustes rectos, fuerte autopoda, copa pequeña y madera preciosa

(Garcia *et al.*, 2015). Así mismo, *Cedrela odorata* es una especie frecuentemente plantada en cafetales de altura, esta proporciona buena cobertura de copa y sombreado a los cafetos.

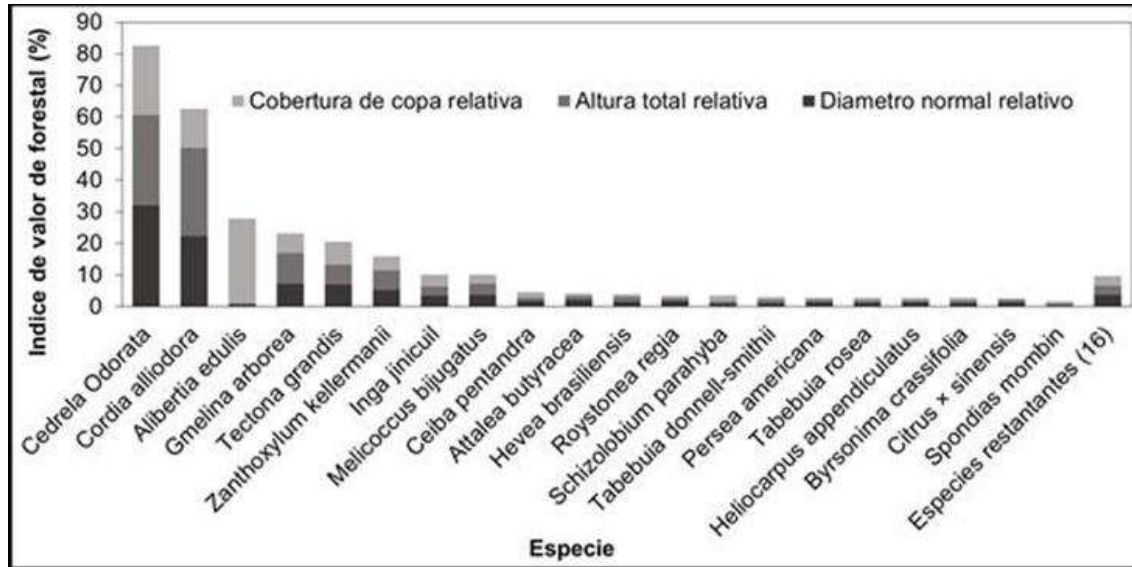


Figura 2. Índice de valor forestal a nivel global en los SAFC.

A nivel familia, los árboles de las meliáceas son los que tienen mayor importancia estructural; no obstante, la única especie identificada fue *Cedrela odorata*. Al respecto, aun cuando la diversidad relativa es baja (solo una especie), los valores en área basal relativa y abundancia relativa son altos, algo similar sucede con la familia de las boraginaceas a la cual pertenece *Cordia alliodora*. Las familias con mayor número de taxones fueron Rutaceae, Fabaceae y Malvaceae; Urticaceae presentó el menor valor de IVIF (Figura 3).

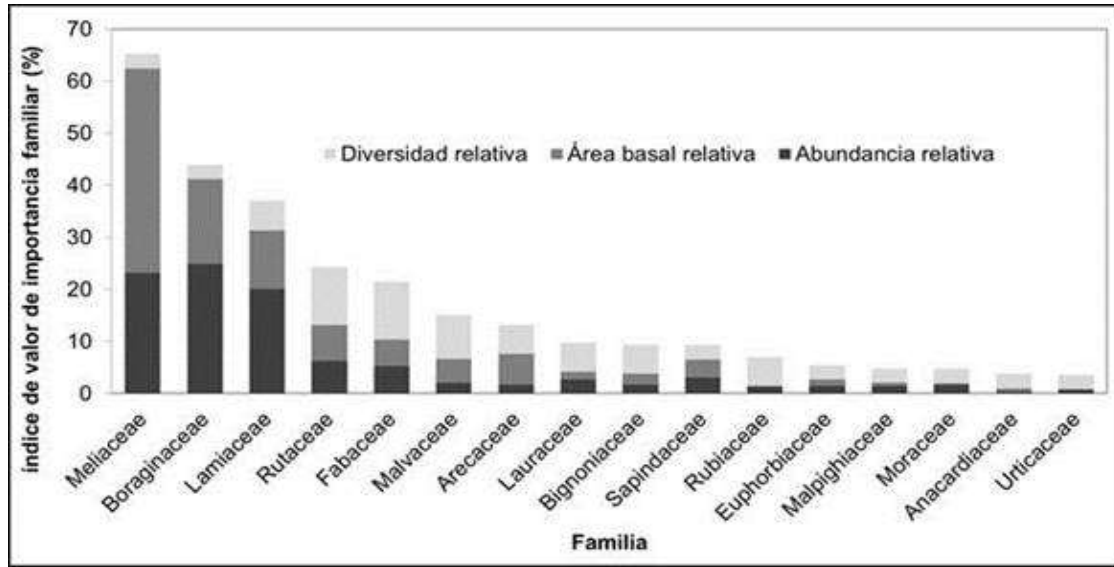


Figura 3. Índice de valor de importancia familiar a nivel global en los SAFC.

Diversidad alfa a nivel global y unidades de producción

A escala global en los SAFC se muestrearon 524 árboles, se estimó una riqueza específica de 36 especies; así mismo, la riqueza de Margalef sugiere una riqueza alta con 5.59, mientras que el Índice de Diversidad de Shannon indicó un valor de 2.46, para ubicarse en un intervalo normal de 2 a 3 para la mayoría de los ecosistemas (Cuadro 4). Esta estimación se debe a la baja Equidad de Pielou (0.69) (Cuadro 4) resultado de la alta abundancia de *Cordia alliodora* (130), *Cedrela odorata* (121) y *Gmelina arborea* (75) como se observa en la curva de rango-abundancia (Figura 4).

Cuadro 4. Valores de diversidad alfa a escala global en los SAFC.

Localidad	Unidad de producción	Abundancia	Riqueza simple	Riqueza de Margalef	Equidad de Pielou	Diversidad de Shannon
Todas	Todas	523	36	5.59	0.69	2.46

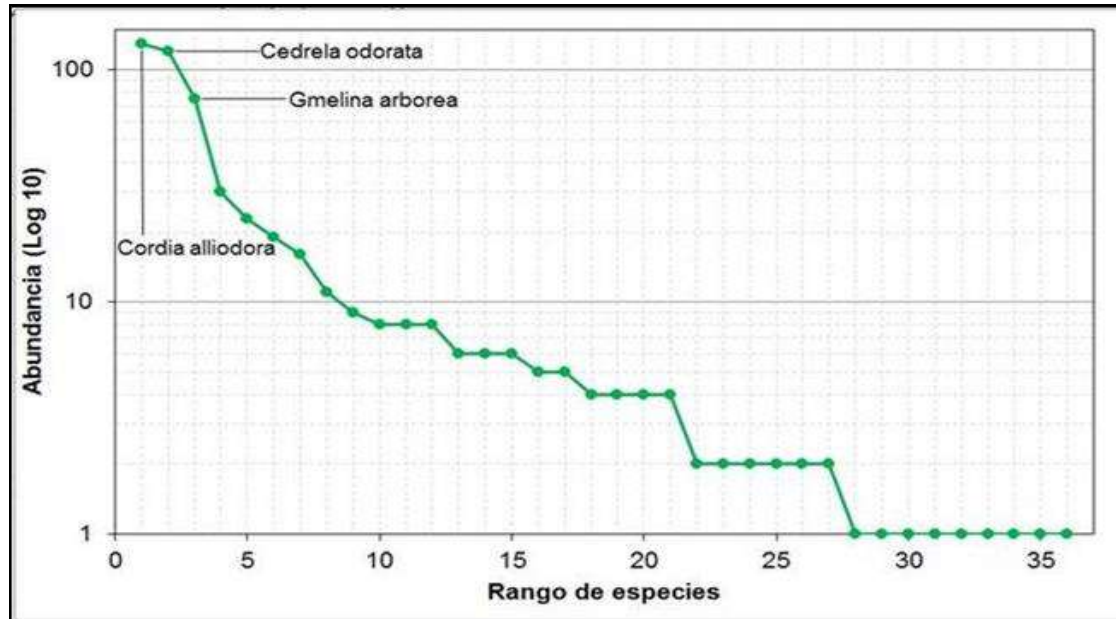


Figura 4. Curva de rango-abundancia (Whittaker) de las especies de sombra en los SAFC a nivel global.

A nivel de Unidades de Producción (UP), el mayor Índice de Diversidad de Shannon lo obtuvieron El Cedro y Las Palmas pertenecientes a la localidad de Manzanares con 2.15, ya que registraron valores altos de riqueza de especies, en comparación al resto de las UP; por el contrario, El Palmar obtuvo la menor riqueza con solo seis especies arbóreas, lo cual afectó de forma directa al Índice de Diversidad de Shannon (Cuadro 5). Los valores de diversidad alfa son similares a los citados por Villavicencio y Valdez, 2003; Garcia *et al.* 2015 y Zapata, 2019.

Cuadro 5. Valores de diversidad alfa en las UP de café.

Localidad	Unidad de producción	Abundancia	Riqueza simple	Riqueza de Margalef	Equidad de Pielou	Diversidad de Shannon
Manzanares	El Cedro	90	17	3.56	0.78	2.15
Atlizacuapa	La Loma	93	9	1.77	0.72	1.46
El Palmar	El Palmar	58	6	1.23	0.77	1.37
Atlizacuapa	El Limoncillo	97	16	3.28	0.75	1.96
Manzanares	Las Palmas	136	23	4.48	0.71	2.15
Manzanares	Naranjos	49	10	2.31	0.87	1.93



Con excepción de la UP Naranjos, en el resto dominaron de dos a tres especies de árboles y los valores de Equidad de Pielou fueron menores; en la UP Naranjos el número de individuos por especie disminuyó de forma gradual o escalonada y obtuvo la estimación más alta en Equidad, tal como se visualiza en la Curva de rango-abundancia de la Figura 5.

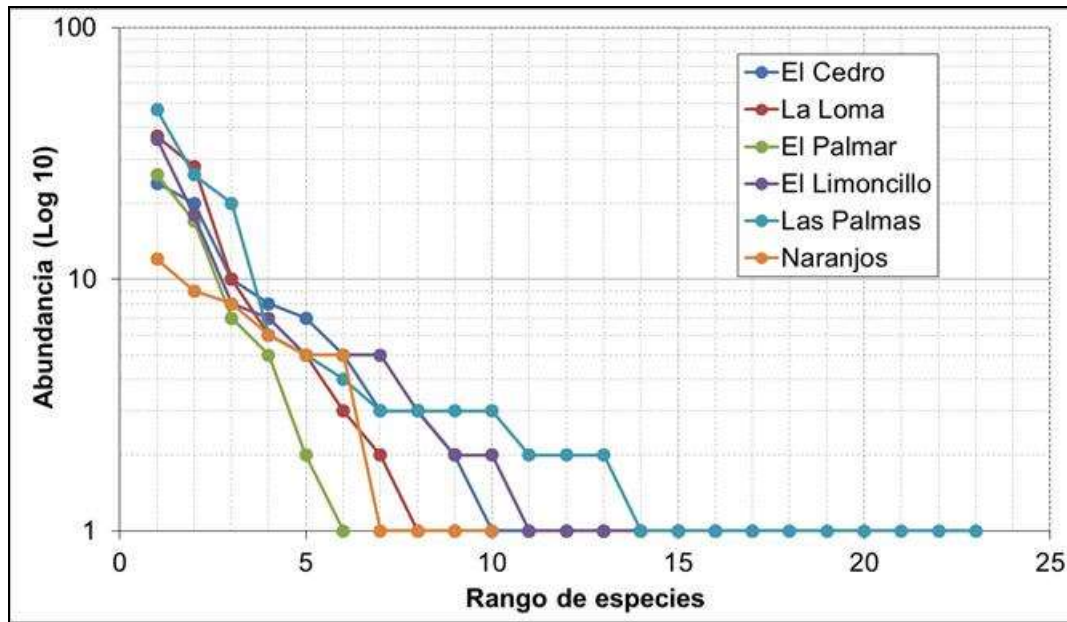


Figura 5. Curva de rango-abundancia (Whittaker) de las especies de sombra en los SAFC por Unidad de Producción (UP).

Diversidad beta entre Unidades de Producción (UP)

La mayor semejanza de especies arbóreas entre las UP fue para El Cedro vs Las Palmas con 55% en Sorensen-Dice y 37.9% en Jaccard, seguido de La Loma vs Naranjos con 52.6% y 35.7%. La menor similitud fue para La Loma vs El Palmar con 26.7% y 15.4%, El Palmar vs Las Palmas con 27.6% y 16%, respectivamente (Cuadros 6 y 7). Ambas matrices sugieren que cada UP aporta una parte del total de especies presentes en la zona; por lo tanto, todas las UP de café bajo sombra de la región son importantes por ser complementarias de la riqueza total de especies arbóreas, lo que ayuda a conservar la diversidad de árboles de la zona (Manson *et al.*, 2018).



Cuadro 6. Matriz de semejanza de Sorensen-Dice de las UP.

Unidad de Producción	La Loma	El Palmar	El Limoncillo	Las Palmas	Naranjos
El Cedro	46.2%	34.8%	48.5%	55.0%	44.4%
La Loma	-	26.7%	48.0%	37.5%	52.6%
El Palmar	-	-	36.4%	27.6%	37.5%
El Limoncillo	-	-	-	46.2%	38.5%
Las Palmas	-	-	-	-	42.4%

Cuadro 7. Matriz de semejanza de Jaccard de las UP.

Unidad de Producción	La Loma	El Palmar	El Limoncillo	Las Palmas	Naranjos
El Cedro	30.0%	21.1%	32.0%	37.9%	28.6%
La Loma	-	15.4%	31.6%	23.1%	35.7%
El Palmar	-	-	22.2%	16.0%	23.1%
El Limoncillo	-	-	-	30.0%	23.8%
Las Palmas	-	-	-	-	26.9%

Conclusiones

1. Las especies arbóreas de sombra más importantes en la estructura de los SAFC son *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora*, *Gmelina arborea*, *Zanthoxylum kellermanii* y *Tectona grandis*, además proporcionan una fuente de ingresos adicional al café por sus usos maderables. Así mismo, a nivel de familias, las meliáceas, boragináceas, lamiáceas, rutáceas y fabáceas son las que tienen mayor importancia en virtud de sus abundancias, dominancias o riqueza de especies.
2. A escala global la diversidad alfa es alta, se determinó una riqueza de 38 especies de árboles, con un Índice de Diversidad de Shannon de 2.46; no obstante, la alta abundancia de especies como *Cedrela odorata*, *Cordia alliodora* y *Gmelina arborea* disminuyen el valor de la equidad de Pielou (0.69); mientras que a nivel UP, los valores de diversidad alfa variaron, porque cada UP conserva diferente número de especies arbóreas y abundancias.



3. La similitud entre UP fue baja en términos generales (<55% y <39.7% según S_i y C_j); por lo tanto, cada UP aporta una parte del total de especies de árboles presentes en la zona, lo cual ayuda a conservar la diversidad total de la zona

Agradecimientos

Proyecto: Evaluación de la producción y rentabilidad financiera de un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. *Musa* sp. con barreras vivas en la región de Zongolica, Veracruz” (Núm. SIGI -1-1.6-13405036178-M-M.2-2).

Literatura Citada

Anta, F. S. 2006. El café de sombra: un ejemplo de pago de servicios ambientales para proteger la biodiversidad. *Gaceta ecológica*, (80), 19-31.

Bojorges, J. C. L. López-Mata. 2005. Riqueza y diversidad de especies de aves en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 21(1), 01-20.

CONABIO. 2009 ¿Por qué se pierde la biodiversidad? Entrevista con el coordinador general de la CONABIO Dr. José Sarukhán Kermez. [En línea] Disponible en <https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/porque> (Consultado el 20 de julio de 2023).

García, M. L. E., J. I. Valdez H., M. Luna C. y R. López M. 2015. Estructura y diversidad arbórea en sistemas agroforestales de café en la Sierra de Atoyac, Veracruz. *Madera y Bosques*, 21(3), 69-82.

INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Tezonapa, Veracruz de Ignacio de la Llave.



INEGI 2016. Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional) Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Manson, R. H., F. López, V. Sosa y A. Ortega. 2018. Biodiversidad y otros servicios ambientales en cafetales. Manual de mejores prácticas. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). México.

Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84(922495), 2.

Pennington, T. D., y Sarukhán, J. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. UNAM.

Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. 1996. Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598-608.

Silva, K. E. D., D.D.A. Matos F. y M. Ferreira M. 2008. Composição florística e fitossociologia de espécies arbóreas do Parque Fenológico da Embrapa Amazônia Ocidental. *Acta Amazonica* 38: 213-222.

Soler, E., P. Berroterán, J. Gil y R. Acosta. 2012. Índice valor de importancia, diversidad y similaridad florística de especies leñosas en tres ecosistemas de los llanos centrales de Venezuela. *Agronomía Tropical* 62(1-4): 025-038.

Villarreal, H. M., S. Álvarez, F. Córdoba, G. Escobar, F. Fagua, H. Gast, M. Mendoza O. y A. M. Umaña. 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de investigación de Biodiversidad, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Van Humboldt, Bogotá, Colombia. 236 p.



Villavicencio, E. L. y J.I. Valdez H. 2003. Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en San Miguel, Veracruz, México. *Agrociencia* 37(4): 413-423.

Zapata, A. P. C. 2019. Composición y estructura del dosel de sombra en sistemas agroforestales con café de tres municipios de Cundinamarca, Colombia. *Ciencia Florestal* 29(2): 685-697.

Zarco-Espinosa, V. M., J. L. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26(1): 1-17.



CONSIDERACIONES PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN ASERRADEROS DE SIERRA CINTA

Martha Elena Fuentes López^{281*}, Rogelio Flores Velázquez²⁸², Juan Carlos Tamarit Urias²⁸¹ y Elba Rojas Díaz²⁸³

Resumen

El aserrío es uno de los procesos industriales utilizado para transformar la madera en rollo en productos de escuadría, es el eslabón primario de la cadena productiva de la industria forestal, empleado para darle valor a la madera y es considerado como el de mayor importancia. El presente documento es un concentrado de información útil para los operadores de aserraderos de cinta en las comunidades rurales, es una guía que concentra las especificaciones para el mantenimiento de las partes del aserradero que requieren especial atención, como la sierra cinta, la sierra principal y el carro. Si se aplican las indicaciones que se describen para el proceso de producción, es posible reducir el volumen de desperdicios, obtener mayor calidad en las piezas aserradas, mejorar el control en la producción e incrementar las utilidades de la empresa. Además de fortalecer los conocimientos de los operadores de las sierras para identificar y solucionar los problemas del aserradero, lo cual mejora su trabajo y su productividad. Las buenas prácticas en la operación del aserrío son acciones sistemáticas, ordenadas que permiten cumplir metas y objetivos del proceso en su conjunto con eficiencia, para incrementar los rendimientos y productividad de las empresas y operadores dedicados al aserrío.

Palabras clave: mantenimiento de aserraderos. aserraderos cinta. coeficiente de aprovechamiento

Introducción

El aserrío es uno de los procesos industriales utilizado para transformar la madera en rollo en productos de escuadría, es el eslabón primario de la cadena productiva de la industria forestal, empleado para

²⁸¹ C. E. San Martinito. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *fuentes.martha@inifap.gob.mx

²⁸² CENID-COMEF. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

²⁸³ Asesor Técnico Independiente



darle valor a la madera, se considera como el de mayor importancia y a su vez el proceso más sencillo de los eslabones de la cadena (Zavala y Hernández, 2000). En su transformación, 50% del volumen del rollo que se asierra se transforma en residuos y subproductos secundarios como recortes, tiras, costeras y aserrín, cuyo valor de recuperación es muy bajo (Flores-Velázquez *et al.* 2001).

Por otro lado, los bosques y selvas de México albergan a 5.6 millones de ejidatarios, comuneros indígenas y mestizos de bajo nivel de escolaridad que se constituyen en 31,518 ejidos y comunidades agrarias, quienes son propietarios del recurso forestal y habitan en conjunto una superficie forestal de 105 millones de hectáreas. Estos grupos sociales son vulnerables y de alta marginalidad, en gran porcentaje carentes de los conocimientos y capacidades que la industria necesita para lograr la eficiencia y competitividad (CONAFOR, 2008). Esto explica que entre 70 y 80% de los aserraderos existentes abundan pequeños aserraderos de bajo nivel tecnológico y reducida productividad.

Las buenas prácticas en la operación del aserrío son acciones sistemáticas ordenadas que permiten cumplir metas y objetivos del proceso en su conjunto, con eficiencia para incrementar los rendimientos y productividad de las empresas dedicadas al aserrío. Si se aplican buenas prácticas en el proceso de producción (ligadas al mantenimiento de la máquina), es posible reducir el volumen de desperdicios, obtener mayor calidad en las piezas aserradas, mejorar el control en la producción e incrementar las utilidades de la empresa.

El presente documento tiene la finalidad de señalar los puntos relevantes que se deben atender en un aserradero en operación, que coadyuven al incremento de la producción y rendimiento en el aserrío de maderas en aserraderos cinta o banda que, a su vez, sirva para fortalecer las actividades cotidianas de los operadores de las sierras para identificar y solucionar los problemas del aserradero, lo cual mejorará su trabajo y productividad.

Materiales y Métodos

La información contenida en el presente documento es el resultado de observaciones y datos recopilados en diferentes aserraderos (fijos de sierra cinta verticales) y se sustenta en la literatura científico-técnica disponible para un período de mayo de 2015 a octubre de 2020 en diferentes aserraderos de los estados de Puebla, Oaxaca y Michoacán. Para los fines del presente manuscrito se consideró un aserradero completo, cuyo diseño mantiene una ubicación adecuada y un flujo



secuenciado en cada una de las áreas de trabajo; el suministro de trocería es continuo durante la temporada de aprovechamientos maderables. El método consiste en señalar cada uno de los aspectos que requieren atención prioritaria para incrementar la producción y rendimientos, se enuncian indicaciones previas al proceso de asierre que deben considerarse para facilitar el serrado de trozas, se continúa con el mantenimiento de la sierra cinta y con la máquina sierra principal y finalmente se concluye con las operaciones que requieren atención en el carro.

Resultados y Discusión

Recepción de materia prima e indicaciones previas al proceso de asierre

Es importante realizar la clasificación de la madera en rollo según su calidad, diámetro, longitud y especie. Apilar el trozo sobre cargadores o sobre trozas dispuestas transversalmente para evitar el contacto directo con el suelo. Orientar las pilas de manera que los extremos no queden expuestos a la acción de los vientos. Aplicar en los extremos de las troza y áreas descortezadas, una mezcla de agua con baba de nopal, sal y cal en una proporción de 200, 25 y 3 kg, respectivamente para reducir la pérdida de humedad en el trozo y frenar un deterioro acelerado. El ordenamiento de la trocería debe ser bajo el sistema de primeras entradas o de acuerdo a las órdenes de producción, según los requerimientos del cliente; se tiene que llevar un control diario del registro de entradas. Es recomendable preparar las trozas en la medida comercial y realizar un lavado o descortezado, con ello evitan daños a las sierras de corte y se obtiene un mejor aprovechamiento del trozo.

La rampa porta troza es el área acondicionada para la recepción de la trocería, se encarga de acercarla al sistema de alimentación que coloca a la troza frente a la sierra. Esta debe tener una pendiente de 3% para facilitar las maniobras. Las trozas se acomodan sobre la rampa de forma que el extremo del diámetro menor se oriente hacia la torre principal, donde generalmente se encuentra el compensador de conicidad en el carro. Cuando el trozo no se descorteza ni recibe un lavado previo, la rampa es útil para que se inspeccione, identifique y eliminen objetos incrustados en las trozas.

Cuando la troza entra al proceso de asierre para su transformación en madera aserrada, el responsable de la producción y el aserrador calificado deben tomar la decisión de cómo hacerlo, aplicando un diagrama de corte que ayude a obtener el máximo rendimiento en cantidad y calidad de madera aserrada.



La técnica de diagramas de corte bien aplicada permite la optimización de la producción, y consiste en esquematizar los cortes programados en el cabezal de menor diámetro para obtener las piezas aserradas que se consideren más adecuadas, conforme a las características de la troza. Es decir, es un perfil anticipado de las piezas que resultarán de aserrar la troza. En esta técnica el diámetro de la troza, sus características de forma, el producto requerido en ancho y grueso, el equipo para asierre y reasierre, así como el proceso de asierre son elementos necesarios para elaborar un diagrama de corte. Con el diagrama de corte es posible producir un cuadrado de máximas dimensiones en función de su diámetro; planear la producción, mediante la selección de las dimensiones correctas para cada diámetro menor de la troza; seleccionar la clase correcta de la troza para cada dimensión, y es posible proponer distintas alternativas de formas de asierre.

Todos los diagramas de corte se basan en los siguientes principios generales: obtener el mayor coeficiente de aserrío, dividir la médula de la troza, todos los diagramas de corte tienen que ser simétricos, se deben obtener únicamente dimensiones comerciales, las dimensiones de las tablas del cuadrado central de trozas pequeñas deben ser completas en los diámetros menores. En trozas grandes, se produce madera aserrada de dimensiones anchas y gruesas. En trozas de coníferas, se obtienen tablas de albura y en trozas de hojosas, tablas de duramen. En trozas de baja calidad es recomendable producir tablas de dimensiones gruesas y en trozas de alta calidad se sugiere producir tablas de dimensiones delgadas.

Características de la madera que influyen en el rendimiento

La clasificación por calidad de la madera en rollo se realiza con la normativa UNE EN 1316-(1 y 2): 2012 para las especies frondosas y UNE EN 1927-(1, 2 y 3):2008 para las especies de coníferas. Conocer las dimensiones y exigencias de la industria del aserrío es importante para realizar una clasificación adecuada que permita aumentar el rendimiento y disminuir los costos. En el destino del rollo se deben considerar las dimensiones, diámetros y longitudes de las trozas, así como la calidad designada conforme a la normativa correspondiente a la especie y la forma. La trocería con menor calidad reduce el coeficiente de aserrío y aumenta los defectos en las piezas aserradas (Zavala 1996). A continuación, se señalan las características relevantes que influyen directamente en el coeficiente de aprovechamiento.

Conicidad. Referida a la disminución del diámetro a lo largo del fuste, desde el tocón hasta la punta. El coeficiente de aserrío disminuye con el aumento de la conicidad y a su vez, aumenta el tiempo de



asierre. Las trozas con conicidad acentuada requieren 12% más tiempo de asierre y generan 5.7% menos madera que las trozas cilíndricas (Zavala 1996)

Diámetro de la troza. El diámetro es proporcional a la calidad y cantidad de madera aserrada. Para trozas de la misma calidad, el coeficiente de aprovechamiento aumenta con un incremento en el diámetro y en trozas del mismo diámetro, se reduce el coeficiente de aserrío cuando la calidad es menor (Zavala 1996).

Curvatura de la trocería. La forma cilíndrica y la rectitud de la troza son deseables para el aserrío, ya que aumentan el coeficiente de aprovechamiento. Las trozas curvadas o torcidas generan menor cantidad de madera que las rectas para la misma categoría diamétrica y longitud. De igual forma, el tiempo de asierre se incrementa hasta en 40% (Zavala 1996).

Refuerzos en la madera aserrada. Se relaciona directamente con el aumento que se otorga en cada pieza aserrada para contrarrestar la variación de corte, el cepillado y las contracciones al momento que la madera se seca. En México, es común dar un exceso de refuerzo para compensar estos factores, lo cual reduce el coeficiente de aprovechamiento (Zavala 1996).

Mantenimiento de la sierra cinta. La sierra cinta es uno de los principales elementos en el proceso de aserrío, la cual debe cumplir ciertos requerimientos: alta flexibilidad y resistencia a la fatiga, alta dureza, resistencia al desgaste, uniformidad estructural y resistencia al impacto. Enseguida se describen los elementos relevantes que deben considerarse para incrementar la productividad.

Tensión de trabajo de la sierra: es dada en forma neumática, hidráulica o por contrapesos; la tensión es adecuada cuando el contrapeso está en forma horizontal. La tensión es de 100 Nm/mm². A mayores tensiones, mejores dimensiones de las piezas trabajadas, pero también se requiere de un mayor mantenimiento de las sierras. Cuando la sierra se trabaja constantemente, se somete a mayor tensión de trabajo, tiene mayores esfuerzos y tiende a fracturarse o romperse con mayor facilidad. La tensión puede ser inferior a 100 Nm/mm², pero no mayor.

Características del diente. Los dientes de la sierra cinta merecen especial atención por ser los elementos que inciden en la producción y en su comportamiento durante el corte con las diferentes especies por aserrar. En la Figura 1 se esquematizan, para dar mayor claridad, los componentes de los dientes en la sierra.

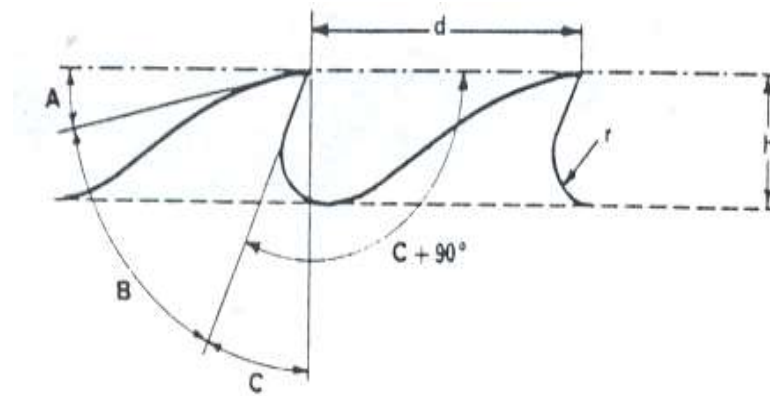


Figura 1. Componentes de un diente en la sierra cinta. A = ángulo de limpieza; B = ángulo del diente; C = ángulo de corte; d = paso de diente; h = profundidad de garganta; r = radio de la base de la raíz.

Ángulo de ataque o de corte (C). Estos tienen un efecto definitivo sobre la calidad de corte y en la capacidad de producción de la máquina. El ángulo de ataque y el de salida son los más importantes en la preparación de una sierra cinta. En el Cuadro 1 se refieren los ángulos de corte y de salida recomendados para sierras cinta, con base en el tipo de madera, ancho de la cinta y tipo de diente.

Cuadro 1. Ángulos de ataque y de salida recomendados para sierras cinta.

Tipo de madera	Ancho de sierra (mm)	Tipo de dientes	Ángulo de ataque (°)	Ángulo de salida (°)
Maderas blandas	Cintas anchas	Trabado	24 -28 °	10 ° a 14 °
	(más de 50 mm)	Recalcado	28-35 °	
	Cintas angostas		20-24 °	
Maderas duras	Cintas anchas	Trabado	20-22 °	8 ° a 10 °
		Recalcado	22-28 °	
		Cintas angostas	15-20 °	

Con ángulos de corte mayores, se produce menor esfuerzo de corte. Con ángulos de corte de 15° no se realiza el corte, sólo se produce el desgarre de las fibras. Con ángulos de corte de 35° el esfuerzo de corte es mayor, esto repercute en un ángulo de diente menor, lo que provoca el debilitamiento del diente, mismo que puede llegar a deformarse o doblarse.



Los factores relevantes que se consideran en la selección del ángulo de corte son: tipo de madera por cortar, velocidad de alimentación, velocidad de la sierra, la forma y tipo de diente. Una sierra con un ángulo de corte insuficiente, no cortará la madera sino la repelerá y tenderá a retroceder sobre los volantes, lo que trae como consecuencia un endurecimiento superficial del lomo del diente que conlleva a la presencia de fisuras.

Se debe tener presente que la sierra cinta corta como cincel o formón y mientras más grande es el ángulo de corte, mayor es el efecto de cincel o formón; puesto que, éste ángulo es con el cual el diente contacta a la madera. Por el contrario, si el ángulo de corte es demasiado grande en relación con la velocidad de alimentación, la sierra tirará y se adelantará en el corte. Si la velocidad de alimentación es muy lenta, los dientes no pueden desempeñar su función, y las puntas frotan en lugar de cortar, lo cual causa un desafilado rápido (Flores *et al.*, 2001).

El ángulo de corte debe estar estrechamente relacionado con la velocidad de alimentación y la velocidad de corte, de lo contrario surgen problemas como los mencionados anteriormente, Este ángulo se tiene que mantener dentro de ciertos límites; para sierras de espesores reducidos, el ángulo debe permanecer cerca de la tolerancia mínima, y para sierras de espesores altos, cerca de la tolerancia máxima.

Ángulo del diente (B). Determina la fortaleza y solidez del diente, el cual debe ser lo suficientemente amplio para que permita que el diente tenga una buena resistencia. Guarda una relación inversamente proporcional con el espesor de la sierra; es decir, entre más delgada es la sierra, mayor debe ser el ángulo del diente. Para el aserrío de maderas duras, el ángulo debe ser suficientemente amplio para que permita que el diente tenga mayor resistencia. En la costa del Pacífico de Norteamérica se utiliza con buenos resultados un ángulo de diente de 44 grados, para sierras cinta anchas con dientes recalcados.

Ángulo de limpieza (A). Determina el corte libre y limpio de la sierra, ya que la separación entre la sierra y la madera debe empezar, precisamente, en la punta del diente para evitar que el lomo del diente roce con la madera causando fricción y sobrecalentamiento de los dientes. En el afilado de la sierra, se esmerila el lomo del diente para mantener el ángulo correcto. De otro modo, el diente se calentará, perderá dureza y se desafilará rápidamente.

Los trabajos de investigación sobre el particular indican que, al incrementar el ángulo de limpieza, aproximadamente hasta los 15°, se obtiene una disminución del esfuerzo de corte y sobre este valor, el esfuerzo de corte aumenta rápidamente, disminuyendo además la solidez del diente. Se recomienda utilizar ángulos que fluctúan entre 7 y 20°, aunque generalmente un ángulo de incidencia de 10 a 16°



responde a casi todas las necesidades de corte. En la costa del Pacífico de Norteamérica se ha utilizado con buenos resultados un ángulo de 16° para sierra banda ancha con dientes recalcados. El ángulo de limpieza debe aumentar cuando el ángulo de corte disminuye y viceversa. Un valor muy grande del ángulo de incidencia o de limpieza puede aumentar la vibración de la sierra, especialmente, en las maderas fáciles de aserrar en las cuales las velocidades de alimentación son altas, por lo que conviene reducirlo a valores moderados.

Paso de diente (d). Es la distancia que existe entre punta y punta de los dientes. Para la selección del paso de diente se deben tomar en cuenta el tipo de madera, el espesor de la sierra, la velocidad de la sierra y la profundidad de corte. Con un paso de diente demasiado grande se incrementa la carga sobre los dientes, lo que resulta en que la sierra se desafilé rápidamente. Con un paso de diente reducido, se obtiene una superficie aserrada más tersa y pareja, pero se necesita una mayor potencia para mover la sierra lo que ocasiona un aumento considerable en el consumo de energía. Además, un paso de diente reducido requiere necesariamente de gargantas pequeñas, por lo que debe reducirse la velocidad de alimentación de la troza hacia la sierra, ocasionando con esto una disminución en la producción. El paso de diente en las sierras con dientes recalcados puede ser hasta 35% mayor que en las sierras con dientes trabados. Las sierras delgadas tienen dientes relativamente chicos y el paso pequeño para que sean lo suficientemente fuertes.

Profundidad de garganta (h). La garganta se conforma por la forma, el paso de diente y la altura del mismo. Esta debe ser suficientemente amplia para arrastrar el aserrín producido durante el aserrío de trozas. El volumen de aserrín que se produce al aserrar maderas duras es tres veces más que el volumen de la madera sólida, para el caso de las maderas suaves el aserrín producido es seis veces mayor que el volumen de la madera sólida. Conocer esta relación permite que la garganta de una sierra para aserrar maderas duras pueda ser más reducida, y con ello se obtenga mayor rigidez en el diente.

La profundidad de la garganta está ligada a un amplio espacio de la misma. Cuando la profundidad de garganta es muy grande para el paso de diente (d), este se altera causando vibración y “culebreo” en la sierra durante el aserrado, que a su vez redundará en un corte no uniforme y ralladuras en la madera. La profundidad de garganta de la sierra se determina por: el tipo de madera que se va a cortar, el paso de diente y el espesor de la sierra. La experiencia ha demostrado, que para sierras con dientes recalcados $1/3$ del paso de diente es la mejor profundidad de garganta para todo tipo de maderas.

Ancho de corte. Es el ensanche que se le da al borde dentado de la sierra con la finalidad de proporcionar a la misma el espacio suficiente para evitar roces del cuerpo de la hoja con la madera al



realizar el corte. Está determinado, fundamentalmente, por el tipo de madera y el espesor de la sierra. Para aserrar maderas suaves, se recomienda que el ancho de corte sea de 2 a 3 milímetros mayor al espesor de la sierra o igual a tres veces el espesor de la sierra, lo cual puede conseguirse mediante el trabado o recalado de los dientes.

Como regla general, se recomienda usar sierras con dientes recalados para el aserrío debido a que un solo diente recalado efectúa el trabajo de corte completo, mientras que se requieren de dos dientes trabados como mínimo para efectuar el mismo trabajo. Además, con el diente recalado se eliminan los frotamientos laterales durante el trayecto de corte, lo que hace innecesario reforzar su rigidez mediante un paso de diente más corto, con esto se pueden emplear pasos más largos, con una garganta mayor y se obtiene una mejor evacuación del aserrín. Por ello, el diente recalado permite aumentar la velocidad de alimentación y con esto la producción.

Afilado o arista de corte. A mayor afilado, se tiene menor esfuerzo de corte. El afilado con esmeril muy fino produce un afilado perfecto. Este no es muy recomendado, ya que la arista es más aguda y puede producirse un retraimiento. Una sierra con dientes desafilados requiere mayor esfuerzo de corte.

Ajuste de guías. Tienen la función de reducir al mínimo la circulación de la sierra en vacío, entre los volantes y en el costado donde se corta la madera. En las sierras cinta de tamaño grande, se colocan dos guías, una fija a la altura de la mesa (o ligeramente por debajo del piso del carro) y la otra es móvil hacia arriba y hacia abajo. Se ubican por encima de la madera por cortar. Se fabrican de madera (en máquinas muy antiguas) o en metal blando, cuando se trata de sierras modernas.

Cuando las guías presentan una abertura amplia, no producen cortes rectos; por el contrario, si están muy ajustadas ocurre el calentamiento por fricción en la sierra provocando una pérdida rápida de tensión en la sierra que puede ocasionar su fractura. El ajuste de guía debe hacerse cada vez que se cambia la sierra y el espacio óptimo entre la sierra y las guías es aquel que se logra al hacer pasar una hoja de papel entre la sierra y la guía; en un caso extremo, el espacio no debe superar a tres hojas de papel juntas.

Velocidad de alimentación. Es la distancia recorrida por la madera en un minuto, mientras es aserrada; se expresa en metros por minuto (m/min). Se relaciona con la velocidad periférica y con el paso de diente, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Va = \frac{Vc \cdot E}{p}$$



Donde: V_a = velocidad de alimentación o de avance (m/seg); V_c = velocidad periférica o velocidad de corte (m/seg); E = espesor de viruta y aserrín (mm); p = paso de diente (mm). La velocidad de avance también depende de otros factores como el tipo de madera, contenido de humedad, potencia disponible, modelo y estado del carro, altura de corte por realizar. La velocidad de alimentación debe ser proporcional con la velocidad de corte. Situaciones diferentes pueden causar daños a la sierra, así ante un aumento en la velocidad de alimentación de la troza, con la velocidad de corte constante se provoca que el diente realice un mayor trabajo, y causa que el diente no corte y solo se presente el rasgado de las fibras, esto puede ocasionar un desprendimiento del diente de la sierra.

Una sierra con paso de diente de 38.1, una velocidad de corte de 35.113 m/seg y un espesor de viruta de 0.633 mm deberá aserrar a una velocidad de alimentación de 35 m/min. Cuando el aserrín es muy fino, se introduce entre los lados de la sierra y la madera, lo cual provoca el sobrecalentamiento de la sierra y con ello un aserrado defectuoso (Kirbach, 1986).

Velocidad de corte. Se refiere a la velocidad con que el elemento de corte ataca a la madera, está estrechamente relacionada con la velocidad de alimentación. Cuando estas dos variables se armonizan, se produce un espesor de viruta entre 0.2 – 1.5 mm. Ante un aumento en la velocidad de corte, con una velocidad de alimentación constante, el esfuerzo del diente de la sierra se reduce debido a que realiza un menor trabajo, se produce mayor fricción en el diente, más calentamiento y un mayor desafilado. Las maderas blandas se asientran a velocidades entre 8,000 y 10,000 pies/min, mientras que las maderas duras deben aserrarse a velocidades cercanas a los 6,000 pies/min. Con una velocidad de corte excesiva, las sierras anchas no deben sobrepasar el límite de 50 m/seg (9 850 pies/min), de no cuidar este aspecto, la sierra se somete innecesariamente a esfuerzos altos (Schrewe, 1983)

La velocidad de corte (V_c) se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_c = \text{diámetro del volante (pies)} * \text{rpm del volante} * 3.1416$$

Las revoluciones por minuto (rpm) del volante se miden con un tacómetro o se determinan con la siguiente expresión:

$$\text{rpm del volante} = \frac{\text{diámetro de la polea impulsora} * \text{rpm del motor}}{\text{diámetro de la polea receptora}}$$

Mantenimiento de la máquina sierra principal y del carro

Alineación de volantes y del carro. Para conseguir el funcionamiento correcto de la sierra cinta es necesario realizar controles periódicos de los volantes y del carro. Esta práctica debe realizarse cada 2,000 horas de trabajo efectivo o en su defecto, al finalizar cada temporada de trabajo en los



aserraderos; esto ayuda a evitar que la sierra presenten fracturas constantemente. Las acciones son: i) revisar el paralelismo perfecto entre los volantes; ii) la coincidencia de la alineación de ambos volantes en el plano vertical; iii) la alineación entre el carro y el volante inferior; iv) el perfecto paralelismo entre la sierra cinta colocada en los volantes y el carro; y v) la nivelación del carro.

El paralelismo entre los volantes o ejes. Este control se realiza mediante plomadas (Figura 2A), se ubican dos hilos a una distancia fácil de controlar (de 10 a 20 mm) respecto al borde delantero del volante superior; se mide que el volante inferior este alineado con el volante superior; es decir, si coinciden todas las distancias que marca la caída del hilo en ambos lados de los volantes, la inferior con respecto al volante superior (a, c, b, d) significa que los volantes están alineados.

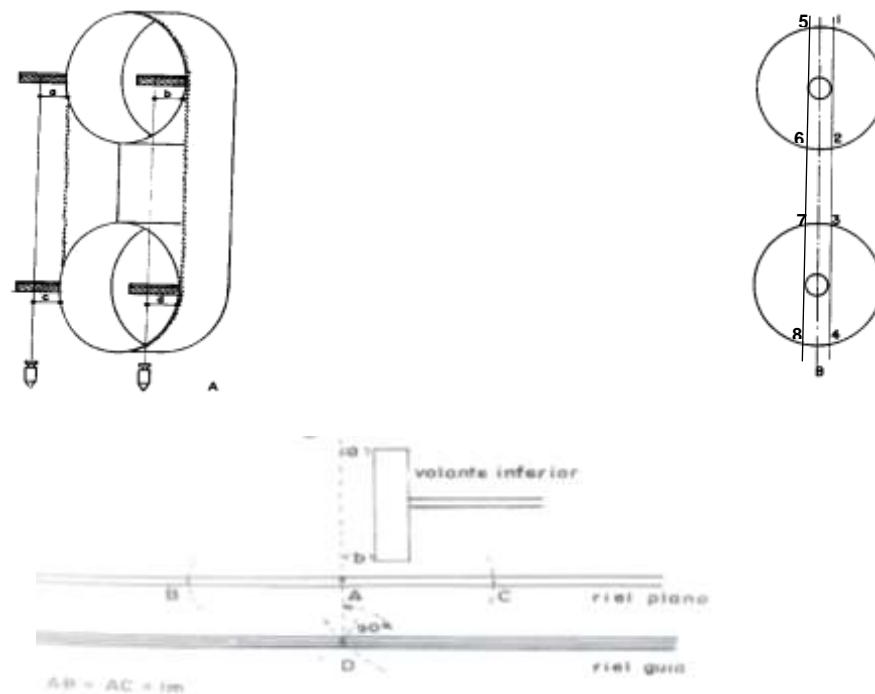


Figura 2. Control de alineación de volantes y del carro.

Si hubiese diferencias de las medidas al volante inferior respecto de las distancias al volante superior, se debe analizar su importancia; si las diferencias de las distancias de los volantes de cada lado (a con c y b con d) son iguales, los ejes están paralelos entre sí, pero será necesario controlar la alineación de los volantes en el plano vertical. Si las diferencias no son iguales, los volantes están cruzados; entonces se debe corregir la ubicación del volante superior, en general esto se logra mediante el ajuste de los cojinetes. Una vez hecha la corrección, se repite la operación de las plomadas.



Alineación de los volantes en el plano vertical. Se aplican dos plomadas cerca del centro de los volantes, como se señala en la Figura 2B. Si la plomada toca a los volantes en los puntos 1, 2, 3, 4, y simultáneamente pasa lo mismo con los puntos 5, 6, 7, 8 de la plomada 2, los volantes están en la posición correcta; de no ser así, el volante superior se debe correr sobre su eje, hacia el lado de los dientes de la cinta o hacia el dorso de esta. Si después de realizar lo anterior, los hilos aún no tocan todos los puntos, significa que el volante superior quedó mal montado desde su instalación y, por tanto, requiere corregirse el montaje (Tuset y Durán, 1979).

Alineación entre carro y el volante inferior. Para controlar este aspecto (Figura 2C), sobre el riel plano se marca el punto A y desde este, con un compás de un metro de diámetro de radio, se marcan los puntos B y C; desde estos puntos, se trazan dos arcos sobre el riel guía, y donde se corten queda marcado el punto D. Se unen A con D y se extiende la línea pasando frente al volante inferior; se miden las distancias a y b, que deben ser idénticas para que el volante inferior esté bien alineado respecto al carro (Tuset y Durán, 1979).

Paralelismo entre la sierra cinta y el carro. Una vez que se han verificado el montaje y la posición de la sierra cinta, respecto a la línea sobre la cual se mueve el carro se procede a verificar el paralelismo entre el carro y el volante. Esto se logra por el procedimiento de la regla, que consiste en lo siguiente: a) se quita la sierra de los volantes, se limpian los volantes y la guía; b) se coloca una sierra nueva o usada pero bien aplanada; c) se giran los volantes hasta que la sierra quede bien colocada sobre los volantes y cuando se detenga, cuidar que no quede ninguna soldadura hacia la posición del carro; d) se fija a la sierra una regla de 60 a 100 cm de largo; e) se mueve el carro de manera que la primera escuadra (o el primer gancho) del carro quede frente a la sierra, con una escuadra marcar sobre el soporte del gancho una medida desde la sierra cinta; f) se mueve el carro hasta el último gancho enfrente de la sierra y en el gancho se marca nuevamente una medida similar a la anterior; g) con dos postes, se extiende un hilo a lo largo del carro y se fijan de forma que pase exactamente sobre las dos marcas hechas en los ganchos; h) se miden las distancias que hay desde ese hilo hasta cada extremo de la regla. Si las distancias son iguales entre sí, la sierra cinta y el carro se mueven por líneas paralelas. De ocurrir lo contrario, será necesario corregir la posición del carro o la posición de la base de la máquina si fuera posible (Tuset y Durán, 1979).



Nivelación del carro

Este control se realiza en el nivel de cada riel en toda su extensión y el nivel de un riel con respecto al otro. En un carro con tres escuadras o ganchos, estas deben guardar la misma distancia con respecto a la sierra cinta. La separación correcta entre el cargador y la escuadra es de $\frac{3}{4}$ a una pulgada, aunque algunos aserrados prefieren mantener siempre atrás la escuadra intermedia en un dieciseisavo de pulgada. Cuando las escuadras no están niveladas a una misma distancia de la sierra cinta, la madera sale “cabezona”; es decir, más gruesa y ancha en uno de sus extremos. Cuando la madera sale más gruesa en la parte inferior de la tabla, es indicativo de que el riel plano está caído.

Por último, para medir la eficiencia de un aserradero se realiza un coeficiente de aserrío, en el cual los indicadores de la eficiencia se enfocan principalmente en: a) las prácticas de asierre, en las que las habilidades y la destreza del personal operativo impactan en el rendimiento; b) las características de las trozas que determinan el rendimiento en producto, y c) las condiciones de trabajo de la torre principal, del carro porta trozas y de los elementos de corte definen la calidad de la pieza aserrada. Para elaborar un coeficiente de aserrío, se utiliza el manual de procedimientos para la determinación de coeficientes de aserrío, mediante la aplicación de diferentes actividades que consisten en el aserrado de 100 trozas con las dimensiones en diámetro y longitud más frecuentes. Uno de los factores que repercute directamente en el coeficiente de aprovechamiento es la variación en los cortes realizados; además esta variación es un indicador de factores que pueden afectar la uniformidad y por ende, el coeficiente de aserrío y los costos de producción (Medina-Hernández 2013). De acuerdo con Sánchez (2004) y Zavala y Hernández (2000) con un adecuado control en la uniformidad de la madera aserrada es posible aumentar el coeficiente de aserrío.

Conclusiones

1. La industria maderera en México adolece de personal calificado y presenta problemas en la operación de los aserraderos.
2. Generan altos volúmenes de desperdicios por el uso de malas prácticas de asierre.
3. Los aserraderos que aplican las indicaciones que se describen en este documento han aumentado su producción hasta en 10%.



Literatura Citada

CONAFOR. 2008. Manual de buenas prácticas en aserraderos de comunidades forestales.

Flores-Velázquez, R., M. E. Fuentes-López y J. Quintanar-Olguín 2001. Desafilado de sierras banda en el aserrío de encinos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 26(90): 55-71.

Kirbach, E. D. 1986. Problems and solutions in maintenance and operation of band saws. Foreintek Canada Corp. 25 p.

Medina-Hernández, E. A. 2013. Influencia de la variación de corte en los costos de producción de madera aserrada en el aserradero Servicios Especializados Forestales S.A de C.V. Universidad Autónoma Chapingo, pp. 20.

Sánchez R., L. 2004. La variación de corte de cuatro aserraderos del sector social en México In: Memoria del V Congreso mexicano de tecnología de productos forestales. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, pp. 12.

Schrewe, H. 1983. Manual de acondicionamiento y mantenimiento de la sierra cinta. FAO. Lima. 92 p.

Tuset, R. F. y Duran, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. 688 p.

Zavala Z., D. y R. Hernández C. 2000. Análisis del Rendimiento y Utilidad del Proceso de Aserrío de Trocería de Pino. *Madera y Bosques* 6 (002): 41-55.

Zavala, Z. D. 1996. Coeficiente de aprovechamiento de trocería de pino en aserraderos banda. *Revista Ciencias Forestal en México* 21(79): 165-181.



RELACIÓN DEL RENDIMIENTO CON VARIABLES ANATÓMICAS EN ETAPA JUVENIL EN HULE (*Hevea brasiliensis* [(Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.]

Elías Ortiz Cervantes²⁸⁴

Resumen

Con el objeto de disminuir el tiempo entre la introducción y liberación de un clon de hule, se evaluó la relación de variables morfológicas y anatómicas con el rendimiento en árboles jóvenes. El trabajo se realizó en El Campo Experimental El Palmar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, se utilizaron los clones IAN-710 (testigo), IAN-873, IRCA-111, IRCA-19 y IRCA-41 con características secundarias contrastantes. Los clones se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques al azar, con 20 árboles por unidad experimental y cuatro repeticiones. El periodo de evaluación fue de cuatro años, las variables evaluadas fueron circunferencia del tallo (CT), espesor de corteza (EC), espesor de floema colapsado (EFC), espesor de floema no colapsado (EFNC), número de anillos de laticíferos (NA), distribución de los anillos de laticíferos respecto al cambium y rendimiento mediante pruebas tempranas (p-HMM). Los clones IAN-873 y IAN-710 fueron los más sobresalientes en CT, no presentaron diferencias significativas entre sí y registraron valores promedio de 6.36, 16.62, 26.54 y 30.10 cm para el 1º, 2º, 3º y 4º año, respectivamente. Los clones IRCA-41 y IRCA-19 tuvieron el mayor EC ≈ 3.7 mm, seguidos por IAN-873 y IAN-710 con ≈ 3.6 mm y por último IRCA-111 con 3.0 mm. En EFNC, los clones IRCA-19 y IRCA-41 presentaron ≈ 1.61 mm, seguidos por IAN-873 y IAN-710 (≈ 1.46 mm) y por último IRCA-111 (1.34 mm). El mayor NA se presentó en IRCA-41 (12.89 anillos), seguido de IRCA-19 y IAN-710 (≈ 10.75) y IRCA-111 y el menor en IAN-873 (≈ 9.46 anillos). Durante el último semestre IRCA-41 rindió 7.09 g/árbol/pica, fue el más productivo, produjo más que IAN-873 y IRCA-19 (37%) y que IAN-710 y IRCA-111 (63%). Las variables con mayor correlación con rendimiento fueron CT ($r=0.615$; $P<0.0001$), EC ($r=0.531$; $P<0.0001$) y NA ($r=0.493$; $P<0.0001$). La CT presentó alta influencia en el rendimiento durante los tres primeros años, después disminuyó. La evaluación precoz del rendimiento es útil para eliminar los

²⁸⁴ Campo Experimental El Palmar, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

*ortiz.elias@inifap.gob.mx.



genotipos de menor rendimiento, pero debido a los bajos coeficientes de correlación y la inestabilidad del comportamiento de los clones a temprana edad no es posible hacer una selección definitiva.

Palabras clave: espesor de corteza, anillos de laticíferos, rendimiento precoz, clones de hule

Introducción

El árbol del hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.] es la principal fuente de hule natural, indispensable para la elaboración de gran cantidad de artículos, entre los que destacan la elaboración de llantas para la industria automotriz. México importa en promedio 90,000 toneladas de hule que representan 85% del consumo nacional, a pesar de tener condiciones agroecológicas para ser autosuficiente (SIAVI, 2021). El proceso para la liberación de un clon para su plantación comercial tarda alrededor de 25 años. La producción de hule en México ha dependido de la introducción de clones generados en otros países, para disminuir hasta en 50% el tiempo requerido para seleccionar clones productivos, comparado con el mejoramiento genético tradicional. En los últimos 50 años se han introducido más de 200 genotipos, citados como altamente productivos en su lugar de origen, pero la liberación comercial requiere al menos 20 años, por lo que es de interés de los investigadores determinar el potencial de rendimiento de los clones en etapas tempranas del desarrollo.

Se ha registrado que algunas características morfológico-anatómicas como la circunferencia del tallo, espesor de corteza y número de anillos de laticíferos podrían estar altamente correlacionadas con el rendimiento en la etapa adulta y que aportarían bases para la selección temprana de clones. Sin embargo, los resultados existentes son muy diversos y variados lo que dificulta su aplicación como herramienta viable en la selección, ya que no están bien definidas las variables con mayor influencia en el rendimiento en etapas tempranas y si la relación se mantiene en la etapa adulta. Con el objeto de disminuir el tiempo entre la introducción y liberación de un clon de hule, se evaluó la relación de algunas variables anatómicas con la circunferencia del tallo y el rendimiento en etapas tempranas que pudiera ayudar a predecir la capacidad de rendimiento de los clones en etapa adulta. Se utilizaron los clones IAN-710 (testigo), IAN-873, IRCA-111, IRCA-19 y IRCA-41 con características contrastantes en crecimiento, rendimiento y tolerancia a enfermedades.



Materiales y Métodos

Características del sitio experimental

El experimento se estableció en el Campo Experimental El Palmar (CEPAL) del INIFAP, ubicado en el municipio Tezonapa, Ver., a los 18° 32' de latitud norte y 96° 47' de longitud oeste; altitud de 140 m. El clima es cálido húmedo con lluvias en verano, precipitación de 2,885 mm anuales. La temperatura promedio anual es de 24.4°C, mínima 16.1°C y máxima 35.4°C (Rodríguez *et al.*, 1983).

Material vegetativo

En la producción de planta clonal se usaron patrones propagados por semilla de polinización libre, las semillas germinadas se trasplantaron en bolsas de polietileno negro de 20 x 45 cm. A los seis meses de edad se injertaron con los clones IAN-710, IAN-873, IRCA-111, IRCA-19 y IRCA-41. El trasplante se hizo cuatro meses después de la injertación en cepas de 40 x 40 x 50 cm. La distancia de plantación fue 3 x 3 m; fueron seleccionados árboles sanos, uniformes y con dos verticilos de hojas maduros. Después del trasplante y durante los cuatro años del experimento las prácticas culturales se realizaron de acuerdo al paquete tecnológico recomendado por el INIFAP (Picón *et al.*, 1997). Los clones evaluados se citan en su lugar de origen como altamente productivos, vigorosos y tolerantes a enfermedades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clones, progenitores, lugar de origen y rendimiento potencial de cinco clones de hule.

Tratamientos	Progenitores	Lugar de origen	Rendimiento ^z (kg/ha)
IAN-710 (testigo) ^y	PB-86 X FB-38	Brasil	1,900
IAN-873	PB 86 x F 1717	Brasil	2,200
IRCA-111	PB 5/51 X RRIM 605	Costa de Marfil	1,700
IRCA-19	PB5/51 X RRIM605	Costa de Marfil	2,000
IRCA-41	GT1 X PB5/51	Costa de Marfil	2,100

^z Obtenido en su lugar de origen. y son los clones más usados en México.

Diseño experimental

Los clones se distribuyeron bajo un diseño experimental de bloques al azar, con 20 árboles por unidad experimental y cuatro repeticiones. La parcela total constó de 400 árboles, distribuidos en una



superficie de 3,600 m². El manejo se efectuó de acuerdo con la tecnología recomendada por el INIFAP (Picón *et al.*, 1997).

Variables evaluadas

Circunferencia del tallo. La circunferencia del tallo (CT) se midió anualmente a 1 m de altura sobre la unión injerto-patrón, desde los 12 meses hasta los cuatro años después de plantado.

Preparación de muestras anatómicas. Las variables anatómicas se midieron a los cuatro años de la plantación en todos los árboles cuando tenían ≈ 28 cm de circunferencia. Se extrajo una muestra de corteza de 2 x 2 cm a la altura de 1 m de la unión injerto-patrón con el auxilio de una navaja afilada. Las muestras se sumergieron en una solución de FAA (5% ácido acético, 10% de formaldehído, 52% alcohol etílico, 33% agua) de acuerdo con el método de Johansen (1940). Posteriormente, se hicieron cortes transversales, tangenciales y radiales de aproximadamente 70 μ m de espesor, en forma manual. Los cortes se tiñeron mediante inmersión en solución de safranina. Las mediciones se efectuaron en un microscopio biológico compuesto (National modelo DC3-163) equipado con cámara digital y el programa de cómputo Motic Images 2000 versión 1.3 (Motic China Group Co., Ltd.).

Variables anatómicas. Se evaluaron espesor de corteza, espesor de floema colapsado, espesor de floema no colapsado, número de anillos de laticíferos y distribución de los anillos de laticíferos respecto al cambium, se realizaron mediciones a los dos y cuatro años de la plantación. El espesor de corteza (EC) se midió desde la peridermis hasta el cambium vascular en corte longitudinal radial con el objetivo 4 x. El espesor del Floema Colapsado se midió en cortes longitudinales radiales desde el floema no colapsado hasta el inicio de la peridermis con el objetivo 10 x. El espesor del floema no colapsado que comprende del cambium vascular hasta donde inician abundantes grupos de células de esclerénquima, indicadoras de la presencia de floema colapsado, se midió en corte longitudinal radial con el objetivo de 10 x. Para el número de anillos de laticíferos el corte se realizó desde el cambium vascular hasta la peridermis, la observación al microscopio se hizo en corte longitudinal radial y se midió con el aumento del microscopio a 10 x. La distribución de anillos de laticíferos respecto al cambium vascular se determinó en un corte longitudinal radial con el aumento del microscopio de 10x. En la Figura 1, se ilustra la estructura de la corteza del árbol y la ubicación de las estructuras por medir dentro de las variables evaluadas.

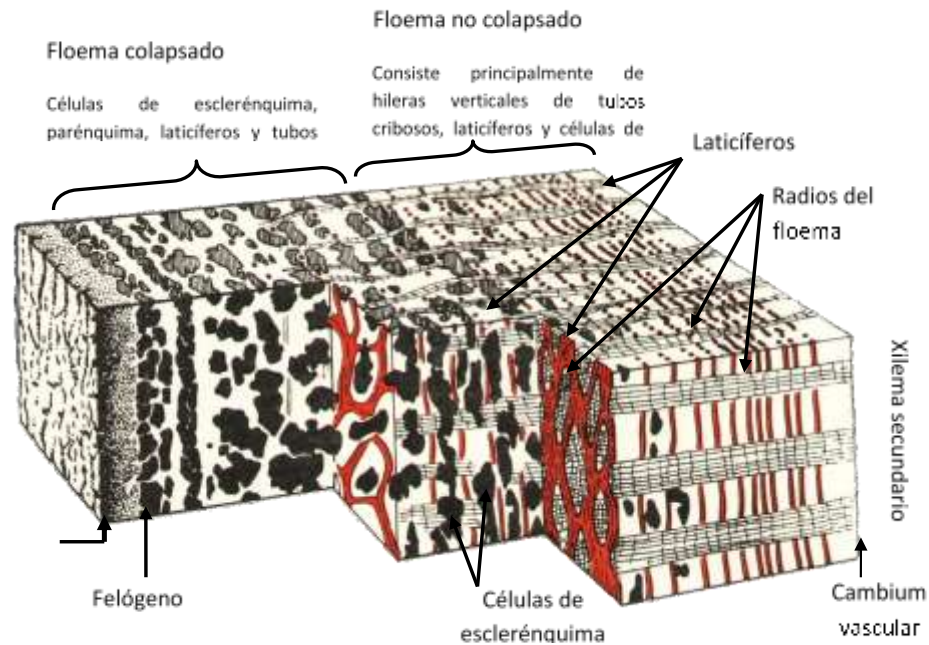


Figura 1. Diagrama tridimensional de la corteza de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg. (adaptado de Gomez *et al.*, 1972).

Rendimiento de Hule. Se realizó la prueba de Hammaker-Morris-Mann (p-HMM) (Paardekooper, 1976); para ello, se utilizaron siete árboles por unidad experimental y comprendió de los 16 meses a los cuatro años de la plantación. Las picas (cortes) se hicieron en semiespiral descendente en días alternos (S/2 d2 6 d/7), a 50 cm de altura de la unión injerto-patrón. El consumo de corteza fue de 2 mm por pica, se usó la cuchilla tradicional tipo “jebong”, la técnica original consiste en tres series de 10 picas útiles, pero se decidió modificarla y realizarla continuamente hasta los cuatro años de plantación. La colecta de látex se hizo de la forma normal, se coaguló mediante la adición de una solución de ácido acético 2% y se acumuló el producto de cinco picas. Los coágulos se recogieron e identificaron con el número del árbol que los produjo, se secaron en estufa a 70°C hasta peso constante y luego se pesaron. Para obtener el rendimiento de materia seca o contenido de sólidos (CS) por árbol por pica, el producto se dividió entre el número de picas. La descripción de las variables evaluadas se indica en el Cuadro 2.



Cuadro 2. Variables evaluadas, claves de identificación usadas y descripción del periodo.

Variable	Clave	Descripción
Circunferencia del tallo	CT ₂ y CT ₄	Circunferencia del tallo a 2 y 4 años después de plantado.
Espesor de corteza	EC ₁ y EC ₂	Espesor de corteza a 24 y 48 meses de plantado.
Espesor del floema no colapsado	EFNC ₁ y EFNC ₂	Espesor del floema no colapsado a los 24 y 48 meses de plantado.
Espesor de floema colapsado	EFC ₁ y EFC ₂	Espesor de floema colapsado a los 24 y 48 meses de plantado.
Número de anillos	NA ₁ y NA ₂	Número de anillos a los 24 y 48 meses de plantado.
	HMM ₁ -HM ₅	Rendimiento mediante la prueba de Hamaker-Morris-Mann (p-HMM) del semestre uno al cinco; el primero corresponde al segundo semestre después de plantado.

Análisis estadístico. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza (ANAVA) y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Asimismo, se realizó un análisis de correlación simple. El paquete estadístico utilizado fue SAS versión 8 (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Circunferencia del Tallo (CT)

Se obtuvieron diferencias significativas ($P<0.0001$) entre clones de hule para CT. Los clones brasileños IAN-873 y IAN-710 no presentaron diferencias significativas entre sí y registraron valores promedio de 6.36, 16.62, 26.54 y 30.10 cm para el 1°, 2°, 3° y 4° año, respectivamente (Cuadro 3). Mientras que, los clones de Sri Lanka IRCA-41, IRCA-19 y IRCA-111 registraron en promedio 5.14, 13.90, 25.47 y 26.48 cm, para el 1°, 2°, 3° y 4° año, respectivamente. Los resultados son similares a los de Flores (1987), quien consignó a los cuatro años circunferencia del tallo de 31.1 y 29.3 cm para IAN-873 y IAN-710, respectivamente. Sin embargo, los valores de circunferencia fueron inferiores a los de Gonçalves *et al.* (1993) y Gonçalves *et al.* (1994) que documentaron 35 cm a los cuatro años en los mismos clones.



Espesor de Corteza (EC)

Se observaron diferencias significativas entre clones ($P < 0.0001$) para la variable espesor de corteza. A los dos años los clones IAN-873, IRCA-41, IAN-710 y IRCA-19 presentaron un EC de ≈ 2.1 mm, comparado con 1.7 mm de IRCA-111 (Cuadro 3). Mientras que a los cuatro años IRCA-41 y IRCA-19 tuvieron ≈ 3.7 mm, seguidos por IAN-873 y IAN-710 con ≈ 3.6 mm y IRCA-111 con 3.0 mm. A los dos años, el EC fue superior al consignado en árboles de tres años por Gonçalves *et al.* (1983), con 2.0 y 2.1 mm para IAN-873 y IAN-710, respectivamente; pero inferior a los de Flores (1987) a los cuatro años (4.1 y 3.7 mm, respectivamente) para los mismos clones. En clones sobresalientes desarrollados en Indonesia, Woelan *et al.* (1998) señalaron en plantaciones de cuatro años EC de hasta 6.3 mm, superior a los obtenidos en esta investigación.

Espesor de Floema Colapsado

Para la variable EFC se detectaron diferencias altamente significativas entre los clones de hule ($P < 0.0001$). A los 24 meses de la plantación IAN-873, IAN-873, IRCA-19 y IRCA-41 presentaron ≈ 0.63 mm, comparado con 0.40 mm de IRCA-111; mientras que, a los cuatro años los primeros tuvieron ≈ 1.81 mm, contra 1.40 mm de IRCA-111 (Cuadro 3).

Espesor de Floema No Colapsado

Se registraron diferencias altamente significativas entre clones ($P < 0.0001$) para EFNC; a los dos años, los clones IAN-873 y IRCA-41 midieron 1.04 mm, seguidos por IRCA-19 y IAN-710 con ≈ 0.95 mm y al final IRCA-111 con 0.85 mm (Cuadro 3). Mientras que, a los cuatro años IRCA-19 y IRCA-41 presentaron ≈ 1.61 mm, seguidos por IAN-873 y IAN-710 con ≈ 1.46 mm y al final IRCA-111 con 1.34 mm. Se esperaría que después de la última evaluación exista un incremento del rendimiento en los clones con mayor EFNC (IRCA-19 y IRCA-41), dado que esta fracción del floema secundario contiene la mayor cantidad de laticíferos productivos.

Número de Anillos de Laticíferos

Se observaron diferencias altamente significativas entre clones ($P < 0.0001$) para el número de anillos de laticíferos. A los 24 meses IAN-710 y IRCA-41 presentaron ≈ 4.44 anillos de laticíferos, seguidos por IRCA-19 y IAN-873 con ≈ 3.49 y finalmente IRCA-111 con 2.62 anillos (Cuadro 3). Los resultados de Paiva *et al.* (1983) se ubicaron entre 1.23 y 3.27 anillos en árboles de la misma edad, que fueron similares a los obtenidos en IAN-873 y IRCA-111. A los cuatro años IRCA-41 presentó en promedio 12.89 anillos de laticíferos, seguido de ≈ 10.75 de IRCA-19 y IAN-710; y finalmente ≈ 9.46 anillos de laticíferos de IRCA-111 y IAN-873. Estos valores coinciden con los documentados a los 3.5 años por



Woelan *et al.* (1998) en clones de Indonesia, en donde registraron de 6.8 a 12.8 anillos de laticíferos, en comparación con 9.08 a 12.89 anillos registrados en este trabajo.

Cuadro 3. Circunferencia del tallo anual en cinco clones de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.].

Clones	Circunferencia (cm)		Espesor de corteza (mm)		Espesor de floema colapsado (mm)		Espesor de floema no colapsado (mm)		Número de anillos	
	Segundo año	Cuarto año	Segundo año	Cuarto año	Segundo año	Cuarto año	Segundo año	Cuarto año	Segundo año	Cuarto año
	IAN-710	16.60 a ^z	30.07 a	2.10 ab	3.52 b	0.63 a	1.81 a	0.94 b	1.41 bc	4.66 a
IAN-873	16.64 a	30.12 a	2.20 a	3.63 ab	0.66 a	1.82 a	1.04 a	1.52 ab	3.25 c	9.84 bc
IRCA-111	13.09 b	25.68 b	1.74 c	2.98 c	0.40 b	1.40 b	0.85 c	1.34 c	2.62 d	9.08 c
IRCA-19	14.18 b	26.86 b	2.06 b	3.74 ab	0.63 a	1.77 a	0.95 b	1.63 a	3.74 bc	10.75 b
IRCA-41	14.43 b	26.89 b	2.15 ab	3.75 a	0.60 a	1.85 a	1.03 a	1.60 a	4.22 ab	12.89 a
Media	14.99	27.92	2.05	3.52	0.58	1.73	0.96	1.50	3.70	10.66

^z Medias con la misma letra en las columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Distribución de Anillos de Laticíferos

En la medición realizada a los 24 meses, 90% de los anillos de laticíferos se ubicaron hasta 1 mm del cambium vascular (hacia la peridermis), 9% de 1 a 2 mm y menos de 1% después de 2 mm. El clon IAN-873 tuvo 16.35% de sus anillos de laticíferos a más de 1 mm del cambium vascular y el resto a menos de 10%. A los cuatro años de plantado 53% de los anillos de laticíferos se localizó a menos de 1 mm del cambium vascular, 43.10% de 1 a 2 mm, 3.58% de 2 a 3 mm y 0.36% después de 3 mm. Los clones IRCA-19, IAN-873 y IRCA-41 presentaron 56, 19 y 17% más anillos después de 1 mm que IAN-710, mientras que en IRCA-111 registró 14% menos. De 79 a 82% de los anillos de laticíferos se localizaron en el floema no colapsado y únicamente entre 18 y 21% en el floema colapsado. Durante la pica se recomienda dejar intacto el cambium vascular y una fracción del floema conductor para propiciar la regeneración de la corteza (≈ 1 mm), lo que indica que a los 24 meses se cortó 10% de los anillos y a los cuatro años 48%. Los clones IRCA-111 y IAN-710 en la segunda medición tuvieron la mayor parte de sus anillos en la sección de corteza que escapa a la pica. La información obtenida no es comparable con lo señalado por Gomez *et al.* (1972) debido a que no coincide la edad de los árboles evaluados.



Rendimiento

Se obtuvieron diferencias significativas entre clones ($P < 0.0001$) para el rendimiento mediante la prueba de Hamaker-Morris-Mann (p-HMM). En el primer semestre de pica los clones más productivos fueron IAN-710, IRCA-41 y IAN-873 (≈ 0.639 g/árbol/pica), que rindieron 54% más que IRCA-19 y IRCA-111 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Circunferencia del tallo anual en cinco clones de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.].

Clones	^z Rendimiento de hule seco (g/árbol/pica)				
	Primer año	Segundo año		Tercer año	
	HMM ₁	HMM ₂	HMM ₃	HMM ₄	HMM ₅
FX-3864	0.686 a ^x	1.370 a	3.136 b	4.170 b	4.350 c
IAN-873	0.587 ab	1.417 a	3.087 b	5.002 ab	5.587 b
IRCA-111	0.346 c	0.750 b	2.303 c	2.677 c	4.037 c
IRCA-19	0.486 bc	1.039 b	3.296 ab	3.091 c	4.788 bc
IRCA-41	0.643 ab	1.369 a	3.815 a	5.518 a	7.091 a
Media	0.550	1.189	3.127	4.092	5.171

^x Medias con la misma letra en cada columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). ^z El número indica el semestre de evaluación mediante p-HMM.

En el segundo semestre la tendencia fue similar, los clones IAN-710, IAN-873 y IRCA-41 rindieron ≈ 1.385 g/árbol/pica que significó 55% más que IRCA-19 y IRCA-111. En el tercer semestre la tendencia cambió, los clones más productivos fueron IRCA-41 y IRCA-19 (≈ 3.55 g/árbol/pica), que rindieron más que IAN-710 y IAN-873 (14%) y que IRCA-111 (54%). En el cuarto semestre se presentó nuevamente un cambio en la tendencia, los clones más productivos fueron IRCA-41 y IAN-873 (≈ 5.26 g/árbol/pica) que rindieron más que IAN-710 (26%) y que IRCA-19 y IRCA-111 (83% más). En el último semestre de evaluación IRCA-41 tuvo un rendimiento de 7.09 g/árbol/pica, fue el más productivo, produjo más que IAN-873 y IRCA-19 (37%) y que IAN-710 y IRCA-111 (63%). Al comparar los resultados del cuarto año de plantación con los de Flores (1987), se concluye que son similares, IAN-873 y IAN-710 produjeron 5.59 y 4.35 g/árbol/pica, respectivamente; mientras que Flores (1987) para los mismos clones registra un rendimiento de 5.84 y 4.13 g/árbol/pica, respectivamente. Asimismo, los resultados coinciden con Waidyanatha y Angamma (1981) que a los



cuatro años obtuvieron para PB-86 un rendimiento promedio de 7.64 g/árbol/pica, comparable con 7.091 g/árbol/pica obtenidos en IRCA-41. Se presentaron cambios constantes en el comportamiento del rendimiento de los clones de hule, pero IRCA-41 y IAN-873 se ubicaron como sobresalientes desde el primer semestre de pica.

Se registraron diferencias altamente significativas entre clones ($P < 0.0001$) para el rendimiento anual por árbol, en el primer año de pica (HMM1); los clones más productivos fueron IAN-710, IAN-873 y IRCA-41 (44.93 g/árbol) que rindieron 65% más que IRCA-19 y IRCA-111. En el segundo año de pica IRCA-41, IAN-873, IAN-710 y IRCA-19 tuvieron rendimiento de ≈ 300.17 g/árbol, que representó 52% más que IRCA-111. Durante el último año, el clon más sobresaliente fue IRCA-41 (602.18 g/árbol), que rindió 20% más que IAN-873 y 64% más que IAN-710, IRCA-19 y IRCA-111. En la evaluación del rendimiento hubo cambios del comportamiento de los clones, lo que indica que la p-HMM con cinco series de 10 picas no garantiza la selección de los mejores genotipos.

Análisis de correlación entre variables

El espesor de floema colapsado a los dos años (EFC₁) presentó correlación con circunferencia del tallo a los dos años ($r = 0.246$; $P < 0.0001$) y a los 4 años ($r = 0.192$, $P = 0.0002$); De igual forma, el espesor de floema colapsado medido a los cuatro años (EFC₂) tuvo correlación con circunferencia del tallo a los dos ($r = 0.185$, $P = 0.0003$) y los cuatro años ($r = 0.164$, $P = 0.0013$) (Cuadro 5). El espesor de floema colapsado presenta poca asociación con la circunferencia del tallo, aun cuando la correlación es significativa, los valores son bajos. La correlación entre número de anillos de laticíferos (NA) y la circunferencia del tallo (CT) fue baja, los resultados coinciden con Narayanan *et al.* (1974) y Waidyanatha y Angamma (1981), cuyos valores fueron de $r = 0.121$ ($P < 0.10$) y $r = 0.415$ ($P < 0.07$), respectivamente. La variable anatómica mayor correlacionada con número de anillos fue el espesor de corteza, la correlación fue aceptable a los dos años ($r = 0.553$; $P < 0.0001$) y se mantuvo a los cuatro años ($r = 0.457$; $P < 0.0001$). Lo anterior indica que la selección de clones de corteza gruesa puede conducir a la obtención de clones con mayor cantidad de anillos de laticíferos. Sin embargo, el EC deberá medirse después de los tres años de la plantación, ya que los clones con mayor EC durante los primeros años no coinciden con los de los últimos años.

La circunferencia del tallo presenta alta influencia sobre el rendimiento temprano (tres primeros años) y disminuye posteriormente (más de tres años). La correlación obtenida a los dos años de plantación entre circunferencia del tallo y el rendimiento coincidió con lo señalado por Tan (1998), quien obtuvo



valores de $r = 0.600$ ($P < 0.0001$); también concuerda con la aseveración del mismo autor respecto a que la correlación entre dichas variables disminuye conforme se acercan los árboles a su etapa productiva.

El espesor de corteza a los dos años (EC1) presentó correlación con el rendimiento de la plantación a los dos años ($r = 0.531$; $P < 0.0001$), en el tercer año se mantuvo y disminuyó el cuarto año ($r = 0.357$; $P < 0.0001$). La correlación entre espesor de corteza y el rendimiento en el cuarto año fue significativa ($r = 0.483$; $P < 0.0001$) y aceptable, lo que indica que la selección de clones con corteza gruesa después de tres años de plantación es buen indicador del rendimiento potencial en etapas más avanzadas.

Los resultados no coinciden con los de Tan (1998) quien indica que no hay correlación entre rendimiento mediante pruebas tempranas y espesor de corteza ($r = 0.170$; $P = 0.12$); pero coinciden con Lavorenti *et al.* (1990), cuya correlación fue $r = 0.340$ ($P < 0.05$). Los valores de correlación entre Espesor de corteza y rendimiento de Paiva *et al.* (1983) fueron muy superiores a los de la presente investigación ($r = 0.754$; $P < 0.0001$). A los cuatro años de la plantación se localizó más de 50% de los anillos de laticíferos a menos de 1 mm de distancia del cambium, por lo que posteriormente puede haber cambios significativos en el rendimiento de los clones.

Cuadro 5. Análisis de correlación simple entre variables anatómicas^z y morfológicas^y en cinco clones de hule [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll.Arg.].

Prueba de rendimiento	Circunferencia del tallo		Espesor de corteza		Número de anillos de laticíferos		Espesor de floema no colapsado		Espesor de floema colapsado	
	CT2	CT4	EC1	EC2	NA1	NA2	EFNC1	EFNC2	EFC1	EFC2
	HMM1	0.61	0.402	0.464	0.182ns	0.569	0.296	0.278	0.0857ns	0.46
HMM2	0.615	0.532	0.531	0.348	0.493	0.284	0.38	0.238	0.45	0.271
HMM3	0.337	0.351	0.472	0.56	0.46	0.492	0.352	0.478	0.324	0.351
HMM4	0.449	0.466	0.444	0.459	0.359	0.433	0.35	0.339	0.308	0.356
HMM5	0.316	0.371	0.357	0.483	0.3	0.411	0.328	0.431	0.245	0.31
CT2			0.266	0.119 ns	0.2	0.037ns				
CT4			0.222	0.121ns	0.17	0.039ns				

^z Variables anatómicas: CT2 y CT4=Circunferencia del tallo a los dos años y cuatro años, respectivamente; ^y EC1 y EC2=espesor de corteza a los 2 y 4 años después de plantación, respectivamente; NA1 y NA2=Número de anillos de laticíferos a los dos y cuatro años, respectivamente; EFNC1 y EFNC2 =Espesor de floema no colapsado a los 2 y 4 años, respectivamente; EFC1 y EFC2=Espesor de floema colapsado a los dos y cuatro años, respectivamente; ns=no significativa.



Conclusiones

1. La circunferencia del tallo presenta alta influencia sobre el rendimiento temprano (tres primeros años) y disminuye posteriormente
2. La correlación entre espesor de corteza y rendimiento en el cuarto año es significativa ($r = 0.483$; $P < 0.0001$)
3. La variable anatómica mayor correlacionada con número de anillos fue el espesor de corteza ($r = 0.553$; $P < 0.0001$) obtenida a los dos años y permanece a los cuatro años ($r = 0.457$; $P < 0.0001$).
4. De acuerdo a los resultados se concluye que la evaluación precoz del rendimiento y su correlación con variables morfológico-anatómicas es útil para eliminar los genotipos de menor rendimiento, pero debido a los bajos coeficientes de correlación y la inestabilidad del comportamiento de los clones a temprana edad no es posible realizar una selección definitiva.

Agradecimientos

Para el desarrollo de la investigación durante más de 5 años, se recibió el apoyo de dependencias del Gobierno Federal de México y gobierno de Veracruz. El agradecimiento se hace extensivo a los investigadores del INIFAP que de alguna forma contribuyeron en la planeación, conducción y evaluación del experimento.

Literatura Citada

- Flores, R. A. 1987. Selección preliminar en hule *Hevea brasiliensis* en el valle de Tezonapa, Ver. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. 56 p.
- Gomez, J.B., R. Narayanan, and K.T. Chen. 1972. Some structural factors affecting the productivity of *Hevea brasiliensis*: I. Quantitative determination of the laticiferous tissue (communication 555). RRIM. Journal of Rubber Research Institute of Malaya. 23(3): 193-203.



- Gonçalves, P. de S., A.G. Rossetti, A.C.C. Valois e I.J.M. Viegas. 1983. Coeficiente de determinação genotípica e estimação de outros parâmetros em clones de seringueira. EMBRAPA. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 18(5): 527-532.
- Gonçalves, P. de S., M. Cardoso, E.M. Mente, A.L.M. Martins, M.V.C. Gottardi e A.A. Ortolani. 1993. Desempenho preliminar de clones de seringueira na região de São José do Rio Preto, Planalto do estado de São Paulo. *Bragantia* 52 (2): 119-130.
- Gonçalves, P. de S., M. Cardoso, M. Campana, E.L. Furtado e M.R. Tanzini. 1994. Desempenho de novos clones de seringueira da série IAC. II. Seleções promissoras para a região do planalto do estado de São Paulo. EMBRAPA. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 29 (8): 1215-1224.
- Johansen, D.A. 1940. *Plant microtechnique*. New York. Mc Graw-Hill. 523 p.
- Lavorenti, C., P. de S. Gonçalves, M. Cardoso, M.M. Boaventura, e A.L.M. Martins. 1990. Relação entre diferentes caracteres de plantas jovens de seringueira. *Bragantia* 49(1):93-103.
- Narayanan, R., C.Y. Ho and K.T. Chen. 1974. Clonal nursery studies in *Hevea* III. Correlations between yield, structural characters, latex constituents and plugging index. *Journal Rubber Research Institute of Malaysia* 24(1): 1-4.
- Paardekooper, E. C. 1976. *Manual of field experimentation in rubber; ording techniques*. Medan, Indonesia. FAO. pp.42-45.
- Paiva, J.R., P. de S. Gonçalves, e A.C.C. Valois. 1983. Avaliação preliminar do comportamento de novos clones de seringueira em Manaus. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 18(2):147-158.
- Picón, R., L., E. Ortiz C. y J.M. Hernández C. 1998. *Manual para la producción de hule en México*. SAGAR. INIFAP. CIRGOC. México. 120 p.



Rodríguez M., R. 1983. Logros y aportaciones de la investigación agrícola en el cultivo del hule en México. Folleto técnico. SARH. INIA. México, D.F., México. 20 p.

SAS Institute Inc. 2002. SAS 9.1.3. Cary, North Caroline, USA.

SIAVI, 2021. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Secretaria de Economía. En www.economía-snci.gob.mx. Consultado en octubre 2021.

Tan, H. 1998. A study on nursery selection in Hevea breeding. IRRDB, Symposium on Natural Rubber (*Hevea brasiliensis*) – General, Soils and Fertilization and Breeding and Selection Sessions. Ho Chi Minh City: 14 and 15 October 1997. Vol 1: 114-120.

Waidyanatha U.P. de S. and Angamma D.K. 1981. Early exploitation of Hevea rubber tress by puncture and short-cut tappings. *Experimental Agriculture* (Great Britain), 17, 303-309.

Woelan S., R. Azwar and I. Suhendry. 1998. Performance of IRR 100 series rubber clones during immature period. IRRDB, Symposium on Natural Rubber (*Hevea brasiliensis*) – General, Soils and Fertilization and Breeding and Selection Sessions. Ho Chi Minh City: 14 and 15 October 1997. Vol 1:131-139.



EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROCEDENCIAS/PROGENIES DE CEDRO ROJO (*Cedrela odorata* L.)

Olga Santiago Trinidad^{285*}, Sandra Hernández Gertrudis²⁸⁶ y Edgar Hernández Máximo²⁸⁵

Resumen

En México se han iniciado estrategias de conservación y mejoramiento genético del cedro rojo (*Cedrela odorata*), con el fin de producir semillas de manera masiva y con una calidad genética superior. Por lo anterior, en el presente trabajo se realizó la evaluación temprana del crecimiento de un ensayo de progenies constituido por 72 familias procedentes de diferentes localidades de los estados de Tabasco, Veracruz y Oaxaca, establecido en el C. E. El Palmar, ubicado en el municipio de Tezonapa, Ver. El experimento se hizo bajo un diseño de bloques completos al azar con 16 repeticiones y se consideró un árbol como unidad de medida, en total se incluyeron 1,152 árboles. Los resultados obtenidos mostraron, en general, una supervivencia de 74%; en las evaluaciones por procedencia el mayor porcentaje fue para Oaxaca y Veracruz con 75% y Tabasco con 72%. En la variable de altura no se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), presentaron en promedio 3.15 m a los 36 meses del establecimiento de las tres procedencias, y un crecimiento promedio anual de 1.05 m. Respecto al diámetro, tampoco hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$); el promedio en las tres procedencias fue de 6.7 cm y el crecimiento medio anual diamétrico fue de 2.40 cm. En el análisis por genotipo, el 3 y 7 de procedencia Tabasco y Veracruz tuvieron crecimientos en altura de 3.85 y 3.62 m, respectivamente; en comparación con el menor valor del genotipo 66 procedente de Oaxaca que obtuvo 2.18 m. Con relación al crecimiento en diámetro, los mayores valores correspondieron a los genotipos procedentes de Oaxaca y Veracruz con 8.34 y 8.32 cm, respectivamente; mientras que el genotipo 77 de Veracruz alcanzo 4.77 cm, el cual resulto ser el valor más bajo para esta variable.

Palabras clave: mejoramiento genético, genotipo, cedro rojo, procedencias

²⁸⁵ INIFAP-Campo Experimental El Palmar. *santiago.olga@inifap.gob.mx

²⁸⁶ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Campus Tezonapa



Introducción

Junto con la caoba, el cedro es considerado dentro de la industria forestal como una madera preciosa debido a sus características de color, durabilidad, aroma y facilidad para ser trabajada; peculiaridades por las cuales alcanza un valor de hasta 5 veces superior al de las maderas de coníferas (ITTO, 2014). Desafortunadamente, en los últimos años la diversidad genética y el flujo génico en las poblaciones de árboles silvestres ha sido alterada por distintos factores, entre los que destacan la deforestación, la fragmentación del hábitat y el aislamiento ocasionados en mayor medida por actividades antropogénicas (Lesher *et al.*, 2018). Así también, se ha detectado que presenta problemas de regeneración natural, pérdida rápida de viabilidad de las semillas, lento crecimiento, además del ataque del barrenador *Hypsipyla grandella* Zeller (Gálvez *et al.*, 2020). Este último, causa el daño más importante, ya que ataca el meristemo primario de la planta, lo que resulta en múltiples ramificaciones del tallo y una reducción de la calidad del fuste.

En consecuencia, *C. odorata* se incluye en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) como especie vulnerable (IUCN, 2022), y en la lista de especies protegidas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 2017). En México, está catalogada como Sujeta a Protección Especial (Pr); consideradas en este grupo aquellas especies que podrían llegar a estar amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 059-SEMARNAT 2010 (Semarnat, 2010).

Ante esa situación, en México se han iniciado estrategias de conservación y mejoramiento genético de la especie con el fin de producir semillas de manera masiva y con una calidad genética superior. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a través de sus campos experimentales: Edzna en Campeche, San Felipe Bacalar en Chetumal Quinta Roo y El Palmar en Tezonapa, Veracruz; así como la universidad Veracruzana en el parque ecológico El Haya en Jalapa, Veracruz han realizado programas de mejoramiento genético, como el establecimiento de huerto semilleros asexuales, bancos clonales y ensayos de procedencia o progenies.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue hacer una evaluación temprana del crecimiento de un ensayo de progenies constituido por 72 familias procedentes de diferentes localidades de los estados de Tabasco, Veracruz y Oaxaca.



Materiales y Métodos

El experimento se encuentra establecido en el campo experimental El palmar, ubicado en el municipio e Tezonapa, Veracruz, en las coordenadas 18° 32' L.N., 96° 47' L.W.; y a 180 msnm. El clima del sitio es cálido-húmedo con lluvias durante el verano, una precipitación media de 2,888 mm anuales y temperaturas medias que fluctúan en el año de 16 a 36°C (24.4°C de temperatura media anual). Presenta una fisiografía con terrenos planos y lomeríos, posee un suelo tipo Acrisol profundo y de buen drenaje, su textura es migajón-arcillo-arenosa con un pH de 4.8.

Para el establecimiento del ensayo se seleccionaron árboles fenotípicamente superiores como fuente de germoplasma, dicha selección se basó en la apreciación visual de caracteres fenotípicos sobresalientes. Seguido a esto, se aplicó el método de selección denominado “valoración individual” debido a que las poblaciones de *C. odorata* están formadas por individuos aislados y de edades diferentes. El método consistió en una evaluación individual de los caracteres cuantitativos y cualitativos de acuerdo con un formato de campo. Con la información reunida, se generó una ficha de registro denominada: “Ficha técnica de árboles de *Cedrela odorata* L. fenotípicamente superiores como fuentes de germoplasma forestal”. Una vez colectado el germoplasma, se procedió a la producción de la planta en vivero; esta actividad consistió en realizar la siembra directa de las semillas en contenedores de 310 mL de capacidad, en una mezcla compuesta por 30% de cachaza de caña y 70% de cascarilla de café. Se le dio el manejo y mantenimiento adecuado hasta que las plantas tuvieron la calidad para salir a campo, lo cual ocurrió a los 6 meses después de la siembra. Desde la colecta de semillas y hasta su establecimiento en campo, las plantas conservaron su identidad.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con 16 repeticiones y se consideró un árbol como unidad de medida, en total se incluyeron 1,152 árboles de las 72 familias de las tres procedencias: Veracruz, Tabasco y Oaxaca. El ensayo de progenies se estableció en el 2018.

Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, se contó el número de árboles vivos en todo el ensayo; altura del árbol, con un estadal se midió desde la base del tallo hasta el final de la copa; diámetro, con un vernier se midió la base del tallo. Los datos se analizaron con el software Infostat®.



Resultados y Discusión

Sobrevivencia

Del total de las 72 progenies que conformaron el ensayo de procedencias, el porcentaje de sobrevivencia obtenido fue de 74% a los treinta y seis meses después de su establecimiento. Lo anterior supera los resultados obtenidos por García (2018), quien cita 70% de sobrevivencia para la misma especie en el estado de Veracruz, a doce meses de edad de la plantación. Por otro lado, en un estudio realizado por Ramírez *et al.* (2008) en el sur de Tamaulipas registró 93.5% de sobrevivencia a los tres años de establecida la plantación.

De acuerdo al porcentaje de sobrevivencia obtenido por procedencia, en la Figura 1 se observa la similitud del porcentaje de plantas vivas de cada estado en donde fue colectada la semilla; lo cual puede ser un indicador de la adaptación de la especie a diferentes zonas agroecológicas, pero que se encuentren dentro de su zona de distribución. Posterior a la primera evaluación se realizaron reposiciones, por eso se observa una sobrevivencia menor en la primera evaluación, en comparación con la segunda. Por procedencia, el mayor porcentaje fue de 75% de las plantas de Veracruz, en tanto que las procedencias de Tabasco obtuvieron 72% para esta variable (Figura 1).

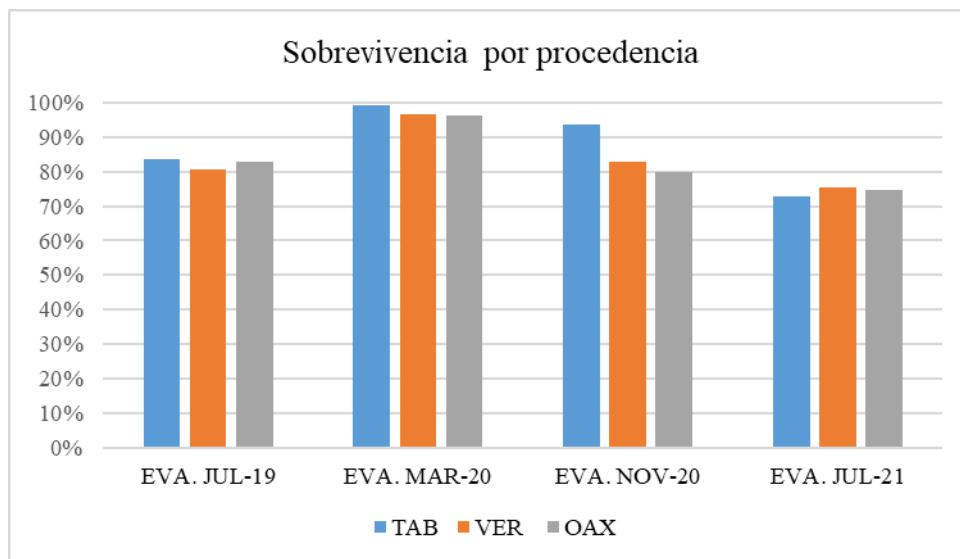


Figura 1. Sobrevivencia de tres procedencias de *Cedrela odorata* en el ensayo de progenies.



Variable altura

Los resultados del análisis de varianza para la variable que determina el crecimiento en altura (Cuadro 1) indican que no existen diferencias significativas entre procedencias ni entre genotipos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 1. Análisis de varianza para la variable altura.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Procedencia	2.82	2	1.41	0.99	0.3713
Genotipo	101.14	69	1.47	1.03	0.4091

*Estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$).

Los resultados de las pruebas de medias realizadas para la variable altura entre procedencias mostró diferencias no significativas; sin embargo, las progenies de Tabasco y Oaxaca obtuvieron en promedio más altura que las de Veracruz (Cuadro 2).

Cuadro 5. Comparación de medias de altura por procedencias.

Procedencia	Media \pm E.E
Tabasco	3.04 \pm 0.13 a
Oaxaca	3.00 \pm 0.06 a
Veracruz	2.91 \pm 0.06 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

En la prueba de medias entre genotipos se identifican siete grupos (a, ab, abc, abcd, bcd, cd y d), a pesar de que en el análisis de varianza no se presentaron diferencias significativas, la media del grupo a (Tabasco) esta 1.67 m por encima del grupo d (Oaxaca). El Genotipo 3 de Tabasco presentó la mayor altura de 3.85 m, mientras que el genotipo 66 procedente de Oaxaca fue el de menor valor con 2.18 m (Cuadro 3).



Cuadro 3. Prueba de medias de crecimiento en altura por genotipo.

Gen	Procedencia	Media	±	E.E.		Gen	Procedencia	Media	±	E.E.	
3	Tabasco	3.85	±	0.34	a	41	Oaxaca	2.93	±	0.33	abcd
71	Veracruz	3.62	±	0.36	ab	44	Veracruz	2.93	±	0.32	abcd
37	Veracruz	3.61	±	0.33	ab	30	Veracruz	2.92	±	0.3	abcd
15	Oaxaca	3.59	±	0.34	ab	5	Tabasco	2.91	±	0.38	abcd
10	Tabasco	3.51	±	0.32	ab	25	Veracruz	2.91	±	0.31	abcd
13	Oaxaca	3.49	±	0.33	abc	75	Veracruz	2.86	±	0.38	abcd
50	Oaxaca	3.46	±	0.32	abc	76	Veracruz	2.85	±	0.4	abcd
65	Oaxaca	3.45	±	0.31	abcd	61	Oaxaca	2.84	±	0.38	abcd
34	Veracruz	3.4	±	0.33	abcd	53	Oaxaca	2.82	±	0.33	abcd
20	Oaxaca	3.39	±	0.33	abcd	64	Oaxaca	2.81	±	0.32	abcd
77	Veracruz	3.34	±	0.33	abcd	40	Oaxaca	2.8	±	0.38	abcd
67	Oaxaca	3.29	±	0.42	abcd	72	Veracruz	2.79	±	0.38	abcd
56	Oaxaca	3.28	±	0.33	abcd	74	Veracruz	2.78	±	0.42	abcd
60	Oaxaca	3.28	±	0.32	abcd	80	Veracruz	2.78	±	0.33	abcd
55	Oaxaca	3.26	±	0.4	abcd	21	Veracruz	2.77	±	0.36	abcd
57	Oaxaca	3.24	±	0.34	abcd	28	Veracruz	2.77	±	0.38	abcd
14	Oaxaca	3.23	±	0.32	abcd	23	Veracruz	2.75	±	0.33	abcd
45	Veracruz	3.23	±	0.32	abcd	16	Oaxaca	2.74	±	0.4	abcd
12	Oaxaca	3.22	±	0.32	abcd	29	Veracruz	2.74	±	0.33	abcd
51	Oaxaca	3.21	±	0.33	abcd	4	Tabasco	2.73	±	0.36	abcd
17	Oaxaca	3.15	±	0.32	abcd	26	Veracruz	2.73	±	0.33	abcd
48	Oaxaca	3.14	±	0.36	abcd	27	Veracruz	2.7	±	0.34	abcd
68	Oaxaca	3.14	±	0.36	abcd	32	Oaxaca	2.7	±	0.33	abcd
69	Oaxaca	3.14	±	0.42	abcd	59	Veracruz	2.7	±	0.36	abcd
19	Oaxaca	3.13	±	0.38	abcd	38	Veracruz	2.65	±	0.33	abcd
33	Oaxaca	3.13	±	0.36	abcd	63	Oaxaca	2.63	±	0.33	abcd
7	Tabasco	3.08	±	0.33	abcd	49	Oaxaca	2.62	±	0.4	abcd
22	Veracruz	3.07	±	0.34	abcd	54	Oaxaca	2.62	±	0.36	abcd



Gen	Procedencia	Media	±	E.E.		Gen	Procedencia	Media	±	E.E.	
35	Veracruz	3.05	±	0.36	abcd	62	Oaxaca	2.56	±	0.36	bcd
6	Tabasco	3.03	±	0.33	abcd	52	Oaxaca	2.5	±	0.31	bcd
58	Oaxaca	3.02	±	0.33	abcd	31	Oaxaca	2.49	±	0.33	bcd
39	Veracruz	2.99	±	0.34	abcd	78	Veracruz	2.47	±	0.4	bcd
9	Tabasco	2.98	±	0.34	abcd	11	Oaxaca	2.39	±	0.33	bcd
18	Oaxaca	2.98	±	0.36	abcd	8	Tabasco	2.22	±	0.42	cd
73	Veracruz	2.97	±	0.38	abcd	43	Veracruz	2.22	±	0.33	cd
46	Veracruz	2.95	±	0.31	abcd	66	Oaxaca	2.18	±	0.36	d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

En el crecimiento e incremento en altura (Cuadro 4), las procedencias de Tabasco y Oaxaca se colocaron por encima de Veracruz, estos resultados son comparables con los de Ramírez *et al.* (2008), quien documentó un crecimiento medio anual de 1.46 m en una plantación de cedro rojo ubicada en el sur de Tamaulipas.

Cuadro 6. Crecimiento e incremento en altura de tres procedencias de *Cedrela odorata* L.

Procedencia	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	CA	CMAA
Tabasco	40	317	277	105.67
Veracruz	40	312	272	104.00
Oaxaca	40	318	278	106.00

CA: Crecimiento en altura (cm); CMAA: Crecimiento medio anual en altura (cm).

En la Figura 2 se observa el crecimiento de las procedencias del mes 0 al 36, las evaluaciones se realizaron cada seis meses a partir del primer año de establecida la plantación. Se aprecia un incremento mayor del mes veinte al veintiocho, esto podría deberse a la temporada de lluvias que favorece el crecimiento. La procedencia oaxaqueña, se mostró desde el inicio superior y a partir del mes 20 Tabasco tuvo incrementos similares, Veracruz fue la especie con un crecimiento promedio menor. A pesar de estas diferencias en el crecimiento las tres procedencias evidenciaron un crecimiento similar (Figura 2).

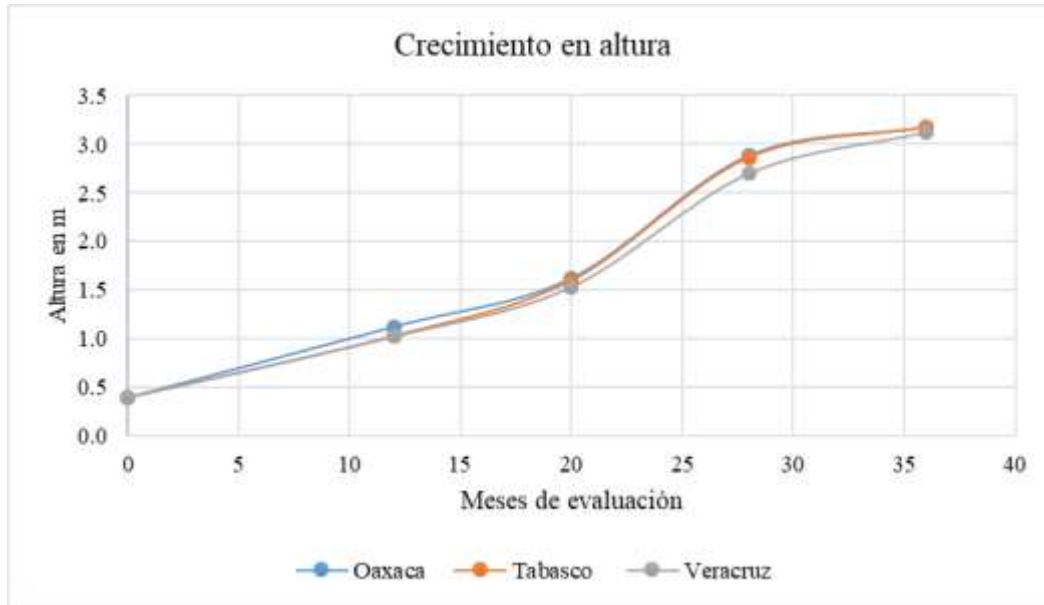


Figura 2. Crecimiento en altura de tres procedencias de *Cedrela odorata* L.

Variable diámetro

Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza de crecimiento en diámetro se presentan en el Cuadro 5, coinciden con los correspondientes a la altura, no existen diferencias significativas entre procedencias ni entre genotipos ($p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Análisis de varianza.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Procedencia	2.82	2	1.41	0.24	0.7867
Genotipo	521.29	69	7.55	1.29	0.0653

Estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 6, se muestran los resultados de la prueba de medias, se observa un crecimiento diamétrico medio similar para los genotipos procedentes de Tabasco y Oaxaca; Veracruz fue la procedencia con un crecimiento menor, por tan solo 14 mm de diferencia.



Cuadro 7. Prueba de medias de crecimiento en diámetro por procedencia.

Procedencia	Media \pm E.E
Tabasco	6.80 \pm .25 ^a
Oaxaca	6.80 \pm .12 ^a
Veracruz	6.66 \pm .13 ^a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La prueba de medias por genotipo generó 11 grupos (a, ab.abc, abcd, abcde, abcdef, bcdef, cdef, def, ef y f); el grupo “a” compuesto por las familias 13 y 37 tuvo la media superior, en contraste con la familia 73 del grupo f que presentó la media menor y fue totalmente diferente a estas dos (Cuadro 7).

Cuadro 8. Prueba de medias de crecimiento diámetro por genotipo.

Gen	Procedencia	Media	\pm	E.E		Gen	Procedencia	Media	\pm	E.E	
13	Oaxaca	8.34	\pm	0.67	a	58	Oaxaca	6.8	13	0.67	abcdef
37	Veracruz	8.32	\pm	0.67	a	72	Veracruz	6.79	10	0.77	abcdef
71	Veracruz	8.15	\pm	0.73	ab	46	Veracruz	6.74	15	0.63	abcdef
69	Oaxaca	8.03	\pm	0.86	abc	54	Oaxaca	6.73	11	0.73	abcdef
39	Veracruz	7.9	\pm	0.7	abc	44	Veracruz	6.72	14	0.65	abcdef
45	Veracruz	7.74	\pm	0.65	abc	75	Veracruz	6.69	10	0.77	abcdef
5	Tabasco	7.7	\pm	0.77	abc	7	Tabasco	6.68	13	0.67	abcdef
3	Tabasco	7.63	\pm	0.7	abc	53	Oaxaca	6.62	13	0.67	abcdef
57	Oaxaca	7.56	\pm	0.7	abcd	63	Oaxaca	6.58	13	0.67	abcdef
20	Oaxaca	7.53	\pm	0.67	abcd	15	Oaxaca	6.56	12	0.7	abcdef
77	Veracruz	7.47	\pm	0.67	abcde	40	Oaxaca	6.56	10	0.77	abcdef
25	Veracruz	7.46	\pm	0.63	abcde	17	Oaxaca	6.53	14	0.65	abcdef
34	Veracruz	7.42	\pm	0.67	abcde	29	Veracruz	6.41	13	0.67	abcdef
10	Tabasco	7.41	\pm	0.65	abcde	32	Oaxaca	6.4	13	0.67	abcdef
41	Oaxaca	7.41	\pm	0.67	abcde	31	Oaxaca	6.36	13	0.67	abcdef
12	Oaxaca	7.37	\pm	0.65	abcdef	14	Oaxaca	6.33	14	0.65	abcdef
65	Oaxaca	7.35	\pm	0.63	abcdef	26	Veracruz	6.32	13	0.67	abcdef
67	Oaxaca	7.33	\pm	0.86	abcdef	66	Oaxaca	6.31	11	0.73	abcdef



Gen	Procedencia	Media	±	E.E		Gen	Procedencia	Media	±	E.E	
68	Oaxaca	7.33	±	0.73	abcdef	21	Veracruz	6.19	11	0.73	abcdef
23	Veracruz	7.3	±	0.67	abcdef	80	Veracruz	6.11	13	0.67	abcdef
55	Oaxaca	7.26	±	0.81	abcdef	6	Tabasco	6.1	13	0.67	abcdef
60	Oaxaca	7.25	±	0.65	abcdef	49	Oaxaca	6.07	9	0.81	abcdef
78	Veracruz	7.19	±	0.81	abcdef	22	Veracruz	6.05	12	0.7	abcdef
48	Oaxaca	7.13	±	0.73	abcdef	64	Oaxaca	5.98	14	0.65	abcdef
4	Tabasco	7.12	±	0.73	abcdef	43	Veracruz	5.96	13	0.67	abcdef
18	Oaxaca	7.05	±	0.73	abcdef	11	Oaxaca	5.94	13	0.67	abcdef
33	Oaxaca	7.04	±	0.73	abcdef	27	Veracruz	5.79	12	0.7	abcdef
30	Veracruz	7.03	±	0.61	abcdef	28	Veracruz	5.75	10	0.77	abcdef
50	Oaxaca	6.99	±	0.65	abcdef	62	Oaxaca	5.71	11	0.73	bcdef
74	Veracruz	6.96	±	0.86	abcdef	59	Veracruz	5.62	11	0.73	bcdef
51	Oaxaca	6.95	±	0.67	abcdef	16	Oaxaca	5.57	9	0.81	bcdef
61	Oaxaca	6.94	±	0.77	abcdef	38	Veracruz	5.5	13	0.67	cdef
9	Tabasco	6.9	±	0.7	abcdef	76	Veracruz	4.98	9	0.81	def
35	Veracruz	6.89	±	0.73	abcdef	8	Tabasco	4.89	8	0.86	ef
56	Oaxaca	6.87	±	0.67	abcdef	52	Oaxaca	4.88	15	0.63	ef
19	Oaxaca	6.85	±	0.77	abcdef	73	Veracruz	4.77	10	0.77	f

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

El crecimiento e incremento anual diamétrico (Cuadro 8), se comportó de manera similar al de la altura, ya que las diferencias entre las procedencias son de apenas unos milímetros. Con ello se deduce que las poblaciones tienen un incremento uniforme.

Cuadro 9. Crecimiento e incremento en diámetro.

Procedencia	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	CA	AMAD
Tabasco	0.7	7.21	6.51	2.40
Veracruz	0.7	7.17	6.47	2.39
Oaxaca	0.7	7.26	6.56	2.42

CDB: Crecimiento en diámetro basal (cm), CMAD: Crecimiento medio anual en diámetro (cm).



La grafica del crecimiento en diámetro (Figura 3) muestra el comportamiento de esta variable en el tiempo, se observa el mayor incremento en los meses del 12 al 20, a diferencia de lo que ocurrió con la altura, en la cual el crecimiento mayor se observó del mes 20 al 28. El crecimiento diamétrico medio de las tres procedencias fue uniforme en las cuatro evaluaciones realizadas.

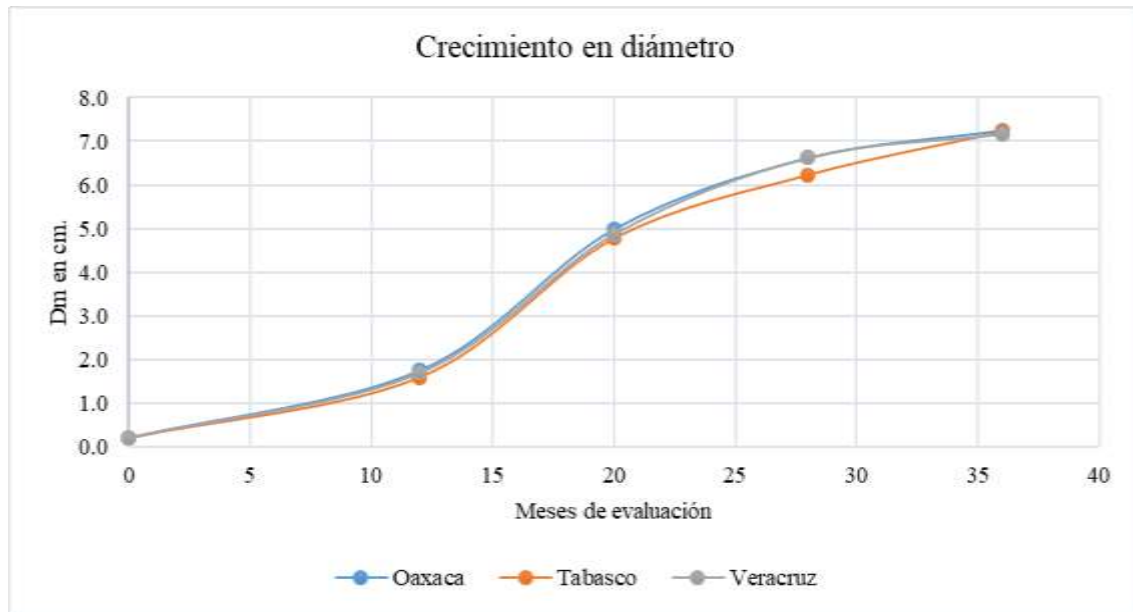


Figura 3. Gráfica de crecimiento en diámetro de *Cedrela odorata* L. de tres procedencias en el ensayo de progenies.

Conclusiones

- i) Las procedencias de Veracruz presentan el mayor porcentaje de supervivencia con 75%.
- ii) Los crecimientos en diámetro y altura de tres procedencias: Oaxaca, Puebla y Veracruz son muy similares en los promedios generales.
- iii) Los valores alcanzados en estas variables por genotipos son más específicos y concluyentes, las cuatro progenies que mejor se adaptaron al sitio son 13, 37, 3 y 71, procedentes de Veracruz, Tabasco y Oaxaca.
- iv) Por la respuesta de los materiales estos pueden ser utilizados para trabajos de mejoramiento genético y para la producción de germoplasma de calidad. Así también, se debe continuar con los trabajos de mejoramiento genético en esta especie para su uso y conservación.



Agradecimientos

Este experimento, se enmarca dentro del proyecto de investigación “Establecimiento de cuatro huertos semilleros asexuales regionales con el establecimiento y evaluación temprana de 12 ensayos de progenies (tres ensayos por cada huerto) de *Cedrela odorata* L.”, apoyado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, CONAFOR-CONACyT-2016-C02, a quien se agradece por el apoyo otorgado.

Literatura Citada

- CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, México). 2017. <https://www.cites.org/esp/disc/what.php> [Consultado el 12 de julio de 2023]
- Gálvez, L. L., M. A. Vallejo R., C. Méndez E., y J. López U. 2020. *Cedrela odorata* L.: Oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11 (58). México. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622> [Consultado el 29 de julio de 2023].
- García, F. E. 2018. Estudio de una prueba genética de *Cedrela odorata*, establecida en “La Pahua”, Colipa, Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México. p 50. <https://www.uv.mx/met/files/2018/06/Eduardo-Garcia-Fernandez-marzo2018.pdf> [Consultado el 29 de julio de 2023].
- ITTO (International Tropical Timber Organization). 2014. Tropical Timber Market Report. Japan. (18)21: 25. <https://itto-d2.r-cms.jp/files/user/mis/MIS%201-15%20Nov%202014.pdf> [Consultado el 29 de julio de 2023].
- IUCN (International union for conservation of nature). 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org>. [Consultado el 12 de julio de 2023]



Leshner, G. J. M., J.L. Martínez S., P. Ortuña R. y A. I. Hernández C. 2018. Diversidad genética del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en el estado de Tabasco, México. *Bosque*. 39(3): 411-417. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/bosque/v39n3/0717-9200-bosque-39-03-00411.pdf> [Consultado el 29 de julio de 2023].

Ramírez, G. C., G. Vera C., F. Carrillo A. y O. S. Magaña T. 2008. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), como alternativa de reconversión en terrenos abandonados por la agricultura comercial en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*. 34 (2): 243-250 <https://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n2/v34n2a11.pdf> [Consultado el 29 de julio de 2023].

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres–Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. *Diario Oficial de la Federación* 30 diciembre, 2010. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf [Consultado el 29 de julio de 2023].



¿CUÁNTO DISMINUYE LA TEMPERATURA A MEDIDA QUE NOS ALEJAMOS DEL NIVEL DEL MAR?: TASA DE CAMBIO VERTICAL DE LA TEMPERATURA Y SUS IMPLICACIONES

Pablo Antúñez^{287*} y Guie´xhuuba Sánchez López²⁸⁸

Resumen

Uno de los desafíos más apremiantes en la actualidad es el cambio climático, es importante contar con la información más minuciosa posible sobre las distribuciones de las distintas métricas climáticas, así como las covariables que potencian o afectan sus fluctuaciones. En ese sentido, la disponibilidad de datos abiertos y programas libres juegan un rol importante, para realizar los análisis pertinentes y conocer los patrones climáticos. Aquí se investigó la tasa de cambio promedio de seis variables de temperatura y precipitación ante el cambio unitario de la elevación sobre el nivel del mar considerando los efectos relativos de la latitud y de la radiación solar. Para dicho estudio, se usaron datos provenientes de 3211 unidades de muestreo distribuidos sistemáticamente en el territorio continental de México.

Palabras clave: el efecto de la radiación, la influencia de la latitud, variación climática, regresión robusta

Introducción

Algunos atributos climáticos parecen seguir algún patrón determinado e intuitivo; por ejemplo, se espera una disminución paulatina de la temperatura media, conforme la distancia del nivel del mar hacia los lugares con mayores elevaciones aumenta, o desde la franja ecuatorial del planeta hacia los polos (Lindsey, 2009). Sin embargo, la disminución de la temperatura varía para cada región del

²⁸⁷ División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. *pantunez4@gmail.com

²⁸⁸ Ingeniería Forestal. Universidad de la Sierra Juárez.



planeta (Montgomery, 2006), atribuible a las covariables subyacentes como la radiación solar, la latitud, continentalidad y la topografía, que modifican las distribuciones de las distintas métricas climáticas (Xiao *et al.*, 2015; Barry 1992; Budyko,1969).

A pesar de que en décadas recientes se ha logrado un avance considerable en el estudio del clima continental y su relación con los factores que lo configuran (Apaydin *et al.*, 2011; Meehl, G. A. 1992; Budyko,1969), todavía son muy pocos los estudios que aborden de manera exclusiva las fluctuaciones, los desplazamientos o la magnitud de las tasas de cambio de la temperatura y la precipitación en función de la elevación sobre el nivel del mar, uno de los factores topográficos más importantes del clima continental.

Al abordar el presente estudio, se hizo un esfuerzo considerable para rastrear trabajos recientes focalizados exclusivamente, sobre las fluctuaciones de las tasas de cambio de las variables de temperatura y precipitación ante el cambio unitario de la elevación sobre el nivel del mar, encontrándose una cantidad muy modesta y dispersa de trabajos, reduciéndose en pocos estudios sin incluir los efectos de las covariables (Montgomery *et al.* 2006; Lancaster 1980; Dickson, 1959), y no se encontraron estudios para todo el territorio continental mexicano, y esto se debe en parte a la dificultad de contar con una base de datos sólida, representativa y confiable por los costos elevados de logística y operación que representan al establecer parcelas de muestreo y coleccionar datos (Esbensen *et al.* 2012), ya que la confiabilidad de los modelos predictivos radica gran parte en la representatividad de los datos empleados (Borovicka *et al.*, 2012; Kruskal y Mosteller,1980). Los objetivos del estudio fueron: (1) medir las tasas de cambio promedio de la temperatura a distintos gradientes altitudinales y (2) evaluar los efectos relativos de la latitud y la radiación solar en las relaciones temperatura-elevación. Para ello, se usaron datos abiertos de la Comisión Nacional Forestal, y variables climáticas obtenidas de la plataforma Worldclim. Se hipotetizó una tasa de cambio constante de las variables de clima a distintos gradientes de la elevación sobre el nivel del mar con distribución uniforme.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se condujo abarcando la superficie continental de México, usando un total de 32111 unidades de muestreo georreferenciadas y distribuidas en todo el país, después de una cuidadosa



revisión y depuración de la base de datos disponible. Estas unidades de muestreo las estableció la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) para el Inventario Nacional Forestal y de suelos (CONAFOR, 2017), las cuales se distribuyen de manera equidistante cada 5 km en las regiones templadas y cada 20 km en regiones secas y tropicales (CONAFOR, 2009). Parte del análisis depurativo consistió en la comparación de las medias y varianzas de los valores de elevación obtenidos con modelo digital de elevaciones versus los valores registrados en campo con un geoposicionador GPS durante el inventario forestal (CONAFOR, 2009) y las elevaciones calculadas para los mismos puntos por Ricker *et al.* (2020) mediante el programa Mathematica®.

Para cada uno de los 32111 puntos de muestreo, eligiendo las capas climáticas con la resolución espacial más alta disponible en la plataforma WorldClim (preferentemente de 30 segundos of a longitude/latitude degree $\sim 1 \text{ km}^2$, cuando era disponible), se calcularon 19 variables climáticas conocidas como “bioclimatic variables” que incluye valores máximos, mínimos y promedios de las temperaturas y precipitaciones, además de la radiación solar. Las capas climáticas albergadas en esa plataforma, han sido construidas a partir de registros históricos mensuales de temperatura y precipitación comprendida de 1970 al año 2000 (Fick y Hijmans, 2017). De las 19 variables bioclimáticas, fueron seleccionadas las primeras tres variables de temperatura con los coeficientes de correlación de Pearson (r) más elevados, después de ser correlacionadas con la elevación sobre el nivel del mar. De esta manera, para cada punto georreferenciado se seleccionaron las siguientes variables: temperatura media anual, temperatura media del trimestre más seco y temperatura media del trimestre más cálido.

Para evaluar el efecto de la latitud y de la radiación como covariables, sus valores se categorizaron formando estratos con intervalos iguales. La latitud se estratificó en intervalos de 3.20° , resultando un total de seis estratos, en tanto que la intensidad de la radiación solar se estratificó en intervalos de $950 \text{ kJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$, obteniéndose 5 estratos en total. La información pormenorizada de la estratificación de las covariables, los pasos seguidos para el análisis estadístico mediante el análisis de la covarianza, así como la evaluación de los modelos y la corrección de los mismos se describen detalladamente en Antúnez (2023). El Análisis de la covarianza se usó al ser una herramienta de análisis que permite controlar el error, además, de evaluar la influencia de las covariables (Shieh, 2020; Shieh, 2019; Cochran, 1957). Todos los análisis se hicieron en el programa R.



Resultados y Discusión

Los indicadores de bondad ajuste evidenciaron una relación estadística alta y significativa entre la elevación y las variables de temperatura (Figura 1). El coeficiente de determinación más elevado, sin incluir ninguna covariable, se observó en la temperatura media del trimestre más cálido ($r^2= 0.86$), seguida de la temperatura media anual ($r^2= 0.82$) y la temperatura media del trimestre más seco ($r^2= 0.71$). La alta correspondencia estadística entre la elevación y las variables de temperatura, no solo se reflejó en los indicadores de bondad de ajuste como r^2 , el criterio de información Bayesiano y el criterio de Akaike, sino también al validar los modelos con el 20% de los datos excluidos en el ajuste. Los errores absolutos y relativos más pequeños se observaron en los modelos de temperatura.

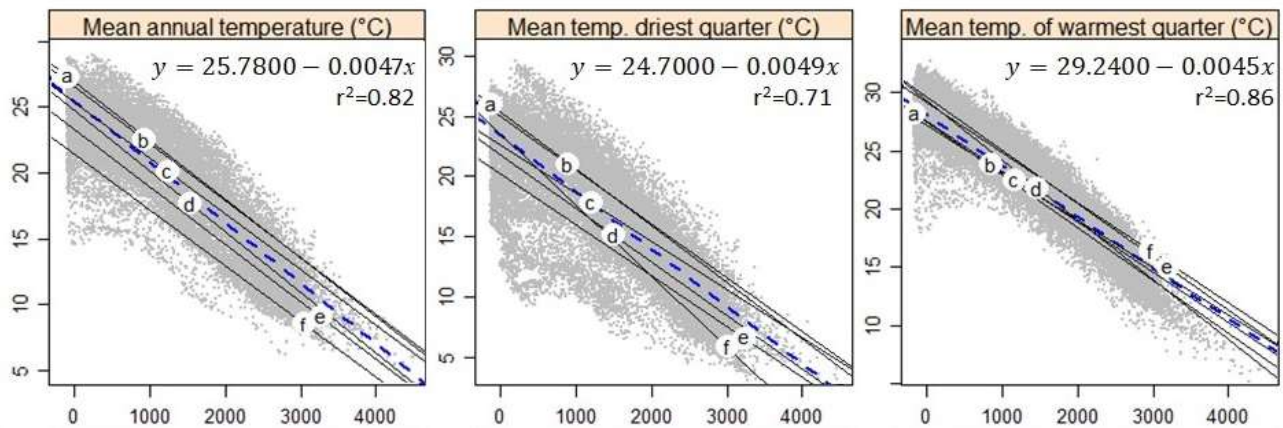


Figura 1. Líneas de regresión con y sin la covariable Latitud. La línea de puntos azul en cada panel corresponde a la línea de regresión sin la covariable. Las líneas de regresión para cada estrato latitudinal están marcadas con una letra: a=14.0-17.20°, b=17.20-20.40°, c=20.40-23.60°, d=23.60-26.80°, e=26.80-30.00° y f= 30,0-33,20°

Las tasas de cambio se modificaron al incluir las covariables y al eliminar el efecto de los datos extremos y atípicos. No obstante, de las tres variables de temperatura, la temperatura media del trimestre más cálido fue la que mostró mayor sensibilidad al efecto de la latitud cuya tasa de cambio medio global (sin estratificar) pasó de -0.00449 a -0.00460.

El cuadro 1 muestra la respuesta media de cambio de cada una de las variables climáticas al cambio unitario de la elevación sobre el nivel del mar, con sus respectivos límites confidenciales (95%). Se incluyen dos indicadores de bondad de ajuste las que informan el rendimiento de cada modelo, al



incluir o no las covariables. En dicha tabla, se observa una correspondencia inversamente proporcional entre los errores residuales y los porcentajes de variabilidad capturados por los modelos (r^2).

Cuadro 1. Indicadores de bondad de ajuste de los modelos ajustados y tasas de cambio medio de las variables climáticas por cada metro que aumentan los valores de la elevación sobre el nivel del mar (Antúnez, 2023).

Variables	Tipo de modelo	Razón de cambio	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Error estándar residual	r^2
Temperatura media anual	Sin covariables	-0.00473	-0.00471	-0.00476	1.87	0.82
	Con Latitud	-0.00449	-0.00447	-0.00450	1.30	0.92
	Con radiación	-0.00477	-0.00475	-0.00480	1.74	0.85
	Con ambas covariables	-0.00455	-0.00453	-0.00457	1.23	0.92
Temperatura media del trimestre más seco	Sin covariables	-0.00488	-0.00484	-0.00491	2.64	0.71
	Con Latitud	-0.00451	-0.00448	-0.00454	2.14	0.81
	Con radiación	-0.00488	-0.00484	-0.00491	2.59	0.72
	Con ambas covariables	-0.00456	-0.00453	-0.00459	1.99	0.84
Temperatura media del trimestre más cálido	Sin covariables	-0.00449	-0.00447	-0.00451	1.56	0.86
	Con Latitud	-0.00460	-0.00458	-0.00461	1.40	0.89
	Con radiación	-0.00447	-0.00445	-0.00449	1.51	0.87
	Con ambas covariables	-0.00462	-0.00460	-0.00464	1.32	0.90

La incidencia de las covariables fue muy evidente para algunas variables, la cual se apreció con mayor claridad al sobreponer unas curvas de regresión polinomial de segundo grado y las rectas del modelo lineal ajustado para cada estrato. A manera de ilustración, la Figura 2 muestra una correspondencia lineal fuerte y negativa entre la elevación y la temperatura media anual entre los paralelos de 14.0 a 17.20° de latitud N. En este estrato latitudinal, tanto el polinomio como la regresión lineal, explican el mismo porcentaje de variabilidad de los datos (93%). No obstante, esta asociación lineal es más evidente en los primeros 2500 m de elevación, a partir del cual, la curva del polinomio comienza a distanciarse de la recta de regresión. En otros estratos se observaron relaciones curvilíneas entre las dos variables (Figure 3); por ejemplo, entre los paralelos de 23.60 a 26.80° N, la línea de regresión lineal y

la curva del polinomio se entrecruzan en dos ocasiones; además, el polinomio explica un mayor porcentaje de variabilidad de los datos ($r^2=94\%$) comparado con la regresión lineal ($r^2=0.90\%$). Por otro lado, la pendiente del polinomio experimenta una caída alrededor de los 1900 metros sobre el nivel del mar (Figura 2) sugiriendo un cambio en el patrón de respuesta de la temperatura media anual ante los cambios unitarios de la elevación sobre el nivel del mar.

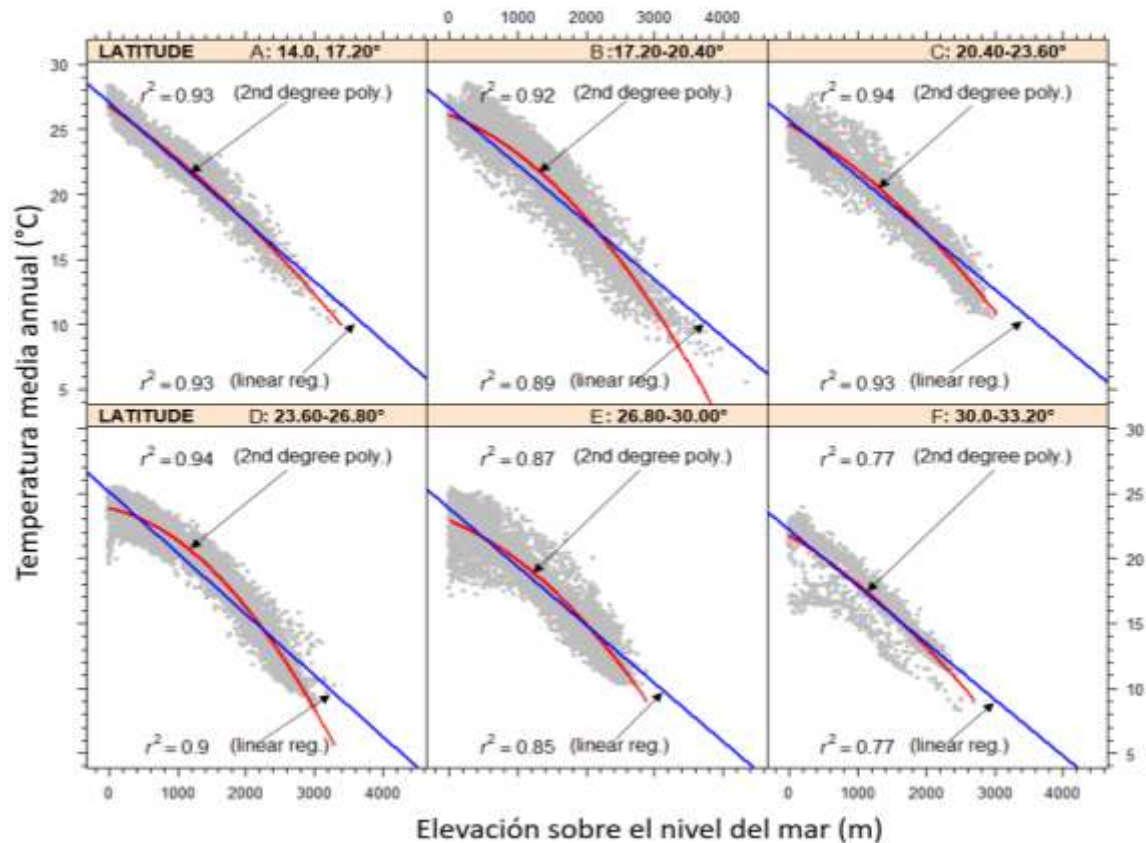


Figura 2. Líneas de regresión lineal y curvas de regresión polinomial de segundo grado sobrepuestas al modelar la temperatura media anual en función de la elevación sobre el nivel del mar (Antúñez, 2023).

Discusión

Los resultados sugieren que, las variables climáticas estudiadas no mantienen una tasa de cambio constante ni uniforme a medida que evolucionan los valores de elevación sobre el nivel del mar (Figura 3), atribuible en parte al efecto de las covariables incluidas la latitud y la radiación solar. Se encontró una evidencia sólida de que las variables de temperatura guardan una relación estadística más fuerte



que las de precipitación, cuya correspondencia no siempre es lineal ni decreciente, sino cambia de una variable a otra, concordando con lo observado por Najafi y Hessami Kermani (2017) en Irán.

Conocer cuánto y cómo las covariables afectan las distribuciones de frecuencia de las variables de temperatura y precipitación es importante, cuya relevancia se acentúa ante desafíos de gran magnitud como el cambio climático global (Zhang *et al.*, 2017; Estrella y Menzel, 2013; Thuiller, 2007). La incidencia de las covariables y factores subyacentes del fenómeno climático tienen repercusiones no solo en eventos inmediatos u obvios si no en varios eventos en el mediano y largo plazo.

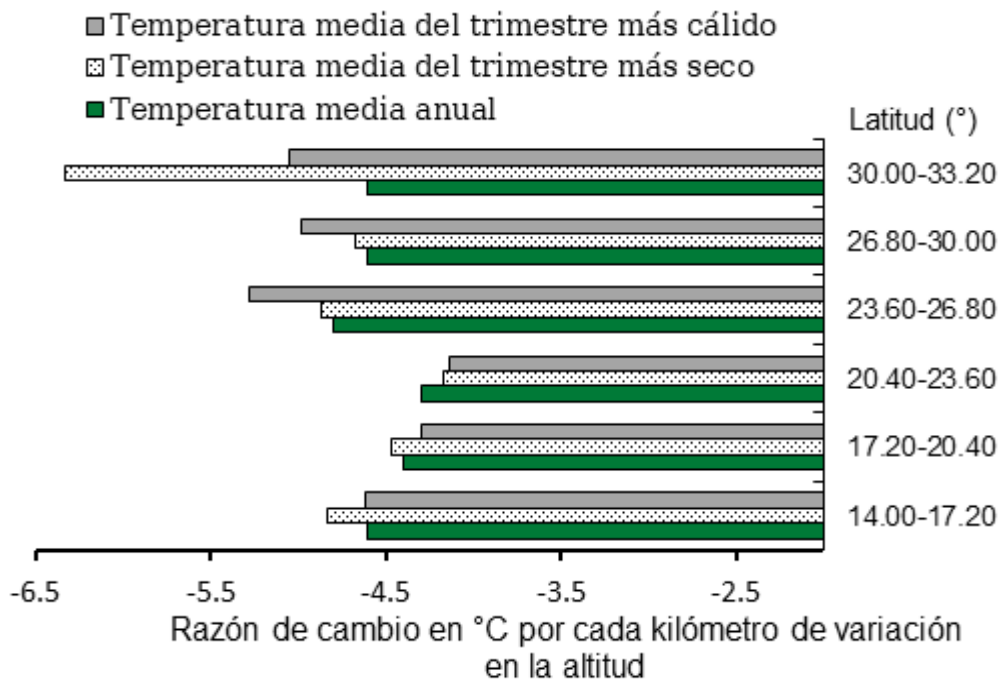


Figura 3. Disminución de la temperatura a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar, en diferentes estratos latitudinales.

Los resultados de este estudio, por un lado, confirman que el efecto de las covariables varía en magnitud e intensidad sobre la respuesta de cada variable climática coincidiendo con lo que se ha reportado en otros estudios (Katiyar y Pandey, 2013; Budyko, 1969). Por otro lado, los valores del intercepto reflejan las magnitudes de las variables de temperatura y precipitación en el nivel del mar a distintas latitudes. Se observó que, al modelar la temperatura media anual y la temperatura media del trimestre más seco, los valores del intercepto fueron más elevados en los primeros tres estratos latitudinales, cerca del ecuador (14.0-23.60° N), mismos que se redujeron paulatinamente conforme se



alejaban de la franja ecuatorial. Pero al modelar la temperatura media del trimestre más cálido, se observó un patrón inverso: valores más elevados en los estratos latitudinales alejados del ecuador (26.80-33.20 °N) (Figure 2) y más pequeños cercanos a él.

Las herramientas de análisis y la aplicación de la información de acceso abierto, como los usados en este estudio, contribuyen en los esfuerzos continuos para mejorar la comprensión de los fenómenos climáticos y hacer frente a los desafíos del cambio climático y el cambio de uso de suelo, -que al igual que en muchas partes del mundo, en México va en aumento- (Ochoa-Gaona y González-Espinosa, 2000; Mas *et al.*, 2004; Mendoza-González *et al* 2012). La cuantificación de las tasas de cambio de la temperatura y la precipitación (Table S1, Table 2) reportados aquí, pueden facilitar la identificación de nuevos patrones y tendencias climáticas a escasos kilómetros, cuya relevancia se acentúa en países con una orografía extremadamente accidentada como la de México, debido a la presencia de las cadenas montañosas como la sierra Madre occidental, la Sierra madre Oriental, el eje Neovolcánico, además de numerosos lomeríos y mesetas a escasos kilómetros (Figure 1), que en conjunto plantean desafíos adicionales para el monitoreo oportuno del clima a escala local y regional.

Conclusiones

Los resultados del estudio sugieren que las tasas de cambio promedio de la temperatura no son constantes ni uniformes a lo largo del gradiente latitudinal y altitudinal. Por ejemplo, por cada metro que aumenta la altitud sobre el nivel medio del mar, la temperatura media anual cerca del ecuador (14.0, 17.20°) desciende, en promedio, 0.0046°C, pero en latitudes más alejados del ecuador (20.40-23.60°), la reducción ocurre a razón de 0.0043°C por cada metro que aumenta la elevación (Tabla S1 Table S2). Por otro lado, los resultados evidenciaron que la latitud y la radiación solar no sólo modifican las distribuciones de frecuencias de las variables de clima sino también la magnitud, incluso el sentido de la tasa de cambio. Por ejemplo, sin considerar los efectos de la radiación ni de la latitud, por cada mil metros que aumenta la altitud sobre el nivel del mar, la temperatura media anual desciende en promedio 4.73°C, esto sin considerar los efectos de los factores y covariables; sin embargo, estos valores cambian cuando las covariables entran en acción.



Literatura Citada

- Antúnez, P. 2023. Evidence of the variation in the rate of change of temperature and precipitation. *Ecological Informatics* 73, 101928. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101928>
- Apaydin, H., Anli, A. S., & Ozturk, F. 2011. Evaluation of topographical and geographical effects on some climatic parameters in the Central Anatolia Region of Turkey. *International Journal of Climatology* 31(9):1264–1279.
- Barry, R. G. 1992. Mountain climatology and past and potential future climatic changes in mountain regions: a review. *Mountain Research and Development* 12(1):71–86.
- Borovicka, T., Jirina Jr, M., Kordik, P., & Jirina, M. 2012. Selecting representative data sets. *Advances in data mining knowledge discovery and applications* 12:43–70.
- Budyko, M. I. 1969. *The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth*. Taylor & Francis Online. 21(5):611–619.
- Cochran, W. G. 1957. Analysis of covariance: its nature and uses. *Biometrics* 13(3):261–281.
- CONAFOR. 2009. Manual y procedimientos para el muestreo de campo – Inventario Nacional Forestal y de Suelos [Manual and procedures for field sampling – National forest and soil inventory] – http://www.snieg.mx/contenidos/espanol/iin/Acuerdo_3_X/Manual_y_Procedimientos_para_el_Muestreo_de_Campo_INFyS_2004-2009.pdf (Fecha de consulta, Nov 1, 2021).
- CONAFOR. 2017. Inventario Nacional Forestal y de Suelos: informe de resultados 2009-2014. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Zapopan, Jalisco, México. 199 páginas. <https://snigf.cnf.gob.mx/resultados-2009-2014/> (Fecha de consulta, Sep 14, 2021).



- Dickson, R. R. 1959. Some climate-altitude relationships in the Southern Appalachian Mountain region. *Bulletin of the American Meteorological Society* 40(7):352–359.
- Esbensen, K. H., Paoletti, C., & Minkkinen, P. 2012. Representative sampling of large kernel lots III. General considerations on sampling heterogeneous foods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 32:78–184.
- Estrella, N., & Menzel, A. 2013. Recent and future climate extremes arising from changes to the bivariate distribution of temperature and precipitation in Bavaria, Germany. *International Journal of Climatology* 33(7):1687–1695.
- Fick, S.E., & Hijmans, R.J. 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12):4302–4315.
- Huitema, B. 2011. *The analysis of covariance and alternatives: Statistical methods for experiments, quasi-experiments, and single-case studies* (Vol. 608). John Wiley & Sons.
- Katiyar, A. K., & Pandey, C. K. 2013. A review of solar radiation models—Part I. *Journal of Renewable Energy* 1–11
- Kruskal, W., & Mosteller, F. 1980. Representative sampling, IV: The history of the concept in statistics, 1895-1939. *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique* 169-195. <https://doi.org/10.2307/1403151>
- Lancaster, E. N. 1980. Relationships between altitude and temperature in Malawi. *South African Geographical Journal* 62(1):89–97.
- Lindsey, R. 2009. Climate and earth's energy budget. NASA Earth Observatory, 680. https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance/page1.php?source=content_type%3Areact%7Cfirst_level_url%3Aarticle%7Csection%3Amain_content%7Cbutton%3Abody_link (fecha de consulta May 12, 2022).



- Mas, J. F., Velázquez, A., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, C., Bocco, G. *et al.* 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multivariate spatial database for Mexico. *International journal of applied earth observation and geoinformation* 5(4):249–261.
- Meehl, G. A. 1992. Effect of tropical topography on global climate. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 20(1):85–112.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P. 2012. Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics* 82:23–32.
- Miller, G. A., & Chapman, J. P. 2001. Misunderstanding analysis of covariance. *Journal of abnormal psychology* 110(1):40.
- Montgomery, K. 2006. Variation in temperature with altitude and latitude. *Journal of Geography* 105(3):133–135.
- Najafi, R., & Hessami Kermani, M. R. 2017. Uncertainty modeling of statistical downscaling to assess climate change impacts on temperature and precipitation. *Water resources management* 31(6):1843–1858.
- Ochoa-Gaona, S., & González-Espinosa, M. 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas, Mexico. *Applied Geography* 20(1):17–42.
- Ricker, M., Villela, S.A.; Mondragón, E. 2020. Información por conglomerado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de México: manual y base de datos; Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. p.19 08.
- Shieh, G. 2020. Power analysis and sample size planning in ANCOVA designs. *Psychometrika* 85:101–120.



Thuiller, W. 2007. Climate change and the ecologist. *Nature* 448(7153):550–552.

Xiao, J., Peng, J., Zhang, Y., Liu, T., Rutherford, S., Lin, H., *et al.* 2015. How much does latitude modify temperature–mortality relationship in 13 eastern US cities?. *International journal of biometeorology* 59(3):365–372.

Zhang, P., Zhang, J., & Chen, M. 2017. Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation. *Journal of Environmental Economics and Management* 83:8–31.



¿QUÉ TIPO DE COMPETENCIA AFECTA MÁS A LA POBLACIÓN DE *Abies hickelii* (FLOUS Y GAUSSEN), LA INTRA-ESPECÍFICA O LA INTER-ESPECÍFICA?

Pablo Antúnez^{289*} e Iván Hernández Cruz²⁹⁰

Resumen

Cuantificar el impacto de los competidores más cercanos de los individuos que tienen una distribución altamente restringida en el medio silvestre, es importante para comprender la competencia a escala local y para comprender la estructura y la dinámica poblacional de las especies en peligro de extinción. En este estudio se determinó la tasa promedio de cambio del diámetro del fuste y de la altura total de *Abies hickelii* (Flous & Gaussen) por cada unidad que la distancia del vecino aumenta y por cada unidad que el tamaño de sus vecinos más cercanos aumenta o disminuye. *A. hickelii* es una especie que enfrenta un riesgo de extinción alto y su distribución en el medio natural se restringe en pequeñas franjas o manchones. Los resultados obtenidos sugieren que, por cada metro que la distancia del vecino incrementa, hay una ganancia media de 1.13 cm en el diámetro normal de los individuos estudiados; así mismo, su altura es más sensible que el diámetro del fuste a la variación media de la distancia de los vecinos. Los resultados sugieren que la competencia intraespecífica es mayor que la competencia inter específica.

Palabras clave: especies en peligro de extinción, abeto, weibull, índice de cohen, especie de la UICN

Introducción

Los efectos de la competencia por los recursos disponibles pueden ser particularmente fuertes en poblaciones pequeñas y aisladas como las de *A. hickelii*, una especie de abeto en peligro de extinción

²⁸⁹ División de Estudios de Postgrado-Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. *pantunez4@gmail.com

²⁹⁰ Estudiante de Ingeniería Forestal. Universidad de la Sierra Juárez.



que se distribuye en poblaciones aisladas, formando franjas, parches o pequeños manchones en las cadenas montañosas de México, principalmente en Chiapas, Oaxaca y Veracruz (Rehder, 1939). Ciertamente no ha sido una tarea fácil el describir en términos precisos y significativos el patrón de la distribución espacial de las plantas en la vida silvestre, debido a los múltiples factores incluidas las interacciones como la competencia y la interferencia (Clark and Evans, 1954). Convencionalmente, el efecto de la competencia suele evaluarse observando el rendimiento promedio de las plantas como una función de la densidad (Weiner, 1984; Goldberg, 1987; Stoll y Weiner, 2000; Balandier *et al.*, 2006). No obstante, este enfoque no revela en su totalidad el fenómeno de la competencia, debido a los efectos asociados a la variación espacial y temporal del entorno natural, la inmovilidad de las plantas, la plasticidad fenotípica, entre otros aspectos difíciles de controlar (Stoll y Weiner, 2000).

Un enfoque alternativo para describir la estructura, la composición y la evolución de las poblaciones, es mediante el estudio de las plantas a nivel individual (Stoll y Weiner, 2000); es decir, partiendo de que un individuo en particular responde en mayor medida a la actividad competitiva de sólo algunos de los vecinos y no de la densidad de la población entera, entendida como el efecto conjunto de las relaciones espaciales totales de los individuos (Mack and Harper, 1977; Weiner, 1984; Stoll y Weiner, 2000).

En este estudio se determinó la tasa de cambio de la altura y del diámetro a la altura del pecho de *Abies hichelii* (Flous et Gaussen), al cambio unitario de la distancia y el tamaño de los cinco vecinos más próximos y se determinó si el hecho de que el vecino sea de la misma especie o sea de otra, afecta más las dimensiones de los árboles sujetos a estudio.

Materiales y Métodos

Localización de la especie estudiada

La población de *A. hichelii* estudiada se localiza dentro del predio de Santo Domingo Xagacía, en las inmediaciones de la cadena montañosa denominada Sierra Norte de Oaxaca, al sureste de México, entre las coordenadas 96°, 21'01" W y 17°07'04" N y 96°20'44" W, 17°07'43" N (WGS84). El área de estudio tiene una superficie de 112.27 hectáreas aproximadamente. La elevación sobre el nivel del mar fluctúa entre 2810 y 3087, la temperatura media anual entre 5 y 18°C y la precipitación media anual entre 43-44 mm. Las especies observadas en el área de estudio durante la toma de datos en campo fueron principalmente del género *Pinus* y *Quercus*. Principalmente *P. ayacahuite* Ehren, *P. patula*



Schiede ex Schltdl, & Cham, *P. pseudostrobus* Lindl., *Q. laurina* Humb et Bonpl., *Q. glabrescens* A. Kern, and *Q. obtusata* Bonpl.

Muestreo y colecta de datos

Se establecieron sistemáticamente nueve unidades de muestreo de 10000 m² (radio de 56.42 m) en el área de estudio, procurando cubrir las condiciones locales contrastantes incluidas la pendiente del terreno, la exposición geográfica, la cercanía de un arroyo y la densidad. Se excluyeron áreas con afectación antropogénica severa como el áreas de extracción de madera, áreas agrícolas y caminos. A fin de tener una muestra representativa, cada unidad de muestreo principal albergó a la vez, cuatro parcelas circulares de 400 m² con un radio de 11.28 m cada uno. La primera de estas parcelas se estableció al centro de la parcela principal (centro del conglomerado). La segunda, la tercera y la cuarta se establecieron sobre el perímetro de la parcela principal a 0°, a 120° y a 240° de azimut, respectivamente, respecto al norte magnético (norte indicado por una brújula). En cada parcela se registró la pendiente promedio del terreno (%) con un clinómetro marca Suunto®, la orientación de la ladera o la exposición geográfica respecto al norte magnético (0 a 360° con una brújula y la elevación sobre el nivel del mar con un geoposicionador GPS. En las parcelas de 400 m², se inventariaron los individuos de *A. hickelii* con el diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor o igual a 7.5 cm. A continuación, dentro de cada sitio de 400 m², se identificaron los árboles de las especies de interés con el diámetro a la altura del pecho más pequeño y más grande y se designaron como árboles de referencia. En algunas parcelas no había individuos de *A. hickelii*, mientras que en otras sólo había individuos con diámetros inferiores a 7.5 cm. Se identificaron y georreferenciaron 57 árboles de referencia en total. Posteriormente, se ubicaron los cinco vecinos más cercanos para cada árbol de referencia cuyo DAP fuera mayor o igual a 7.5 m sin importar la especie. Se registró la distancia lineal en m, desde la base del tallo del árbol de referencia hasta la base del tallo de cada uno de los cinco vecinos definidos, así como su ubicación en grados respecto al norte magnético (0 a 360° de azimut). A cada uno de los árboles de referencia y a sus cinco vecinos se les midió el DAP y la altura total (TH).

Análisis de datos

Para evaluar el efecto de la distancia y del tamaño de los vecinos (variables independientes), en la altura y en el diámetro de los árboles de referencia (variables de interés), se usó el análisis de la covarianza. Para lo cual, los datos se agruparon en cuatro subconjuntos. El primer subconjunto fue de los árboles cuyos DAP eran más grandes que el DAP de cualquiera de sus vecinos, el segundo subconjunto era de los árboles cuyos DAP eran más pequeños que cualquiera de sus vecinos. El tercero



era de los árboles con la altura total más alta que cualquiera de sus vecinos, y el último subconjunto era de los que tenían una altura total más pequeña que cualquier de sus competidores.

Para medir el efecto de los vecinos según su tamaño, se obtuvo la razón de cambio del DAP y de la TH de los árboles objetivos por cada unidad de cambio de las medidas de tamaño relativo. En este documento sólo se reportan los resultados del tamaño relativo horizontal, que medía las veces en que el DAP del árbol vecino era más grande o más pequeño que el DAP del árbol de referencia.

Para conocer el tamaño del efecto debido a la especie de los vecinos, se usó la diferencia de medias estandarizada de Cohen, la cual se calculó usando la función `cohen.d` del paquete “`effsize`” de R (Torchiano, 2020). Para tal propósito, las variables de interés se agruparán en dos subconjuntos: (1) el primer grupo correspondería de los árboles primeros vecinos eran solamente *A. hickelii*, y el segundo grupo aquellos primeros vecinos eran árboles de especies diferentes de *A. hickelii*. La fórmula de Cohen, según Torchiano (2020), se expresa así:

$$d = \frac{(x_1 - x_2)}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}}$$

Donde x_1 y x_2 son la media del grupo 1 (*A. hickelii*) y grupo 2 (otras especies), respectivamente. y son la varianza del grupo 1 y el grupo 2, respectivamente.

Resultados y Discusión

Se observó que la distancia tiene un efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) solo cuando las dimensiones de los vecinos eran mayores que las dimensiones de los árboles de referencia (Cuadro 1), pero cuando los vecinos poseían dimensiones más pequeñas, el efecto de la distancia no era significativo. Cuando los vecinos eran más grandes, el análisis sugirió que, por cada metro que la distancia del vecino incrementa, hay una ganancia media de 1.132 cm en el diámetro normal del árbol de referencia. Por el contrario, la altura parece responder de manera inversa, pues por cada metro que la distancia del vecino aumenta, se observa un coeficiente igual a -1.218 m; es decir, el crecimiento de la altura parece inhibirse conforme la distancia de los vecinos aumentan. Al examinar el impacto unitario de la distancia media de los vecinos, los coeficientes estandarizados revelaron que, la distancia del vecino tiene un impacto 2 veces mayor en TH que en el DAP de los árboles de referencia. La distancia logra



explicar el 62.4% de la variabilidad total de la altura y el 33.2% de la variabilidad total del DAP (Tabla 1).

Cuadro 1. Coeficientes de regresión al evaluar la respuesta del diámetro normal y la altura total del árbol de referencia (RT) al cambio unitario de la distancia promedio de los primeros cinco vecinos de *A. hickelii*.

Variabes	Criterio de agrupación	coeficientes	SE	T-value	P-value	R ²
DAP	No agrupado	-4.82	6.95	-0.694	0.492	0.011
DAP	DAP de la RT > cualquiera de sus vecinos	-5.460	8.758	-0.623	0.547	0.037
DAP	DAP de la RT es <cualquiera de sus vecinos	1.132	0.464	2.441	0.031	0.332
TH	No agrupado	-3.394	3.838	-0.884	0.381	0.018
TH	HT de la RT > cualquiera de sus vecinos	0.357	6.963	0.051	0.960	0.0003
TH	HT de la RT es <cualquiera de sus vecinos	-1.218	0.386	-3.153	0.020	0.624

Se observó una correspondencia alta y significativa entre las variables dependientes y el tamaño relativo horizontal. Por ejemplo, sin ninguna agrupación de los datos, la relación de tamaño relativo, tuvo una incidencia de 1.04 veces más en el DAP que en la altura. Dicho predictor explicó el 63.92% de la variabilidad de la primera variable y el 58.55% de la variabilidad de la segunda variable (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de regresión al probar la hipótesis de nula incidencia del tamaño relativo horizontal en la unidad de cambio de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (TH) de *A. hickelii*.

Variabes	Criterio de agrupación	parámetros	SE	T-value	P-value	R ²
DAP	No agrupado	6.798	0.689	9.871	<0.001	0.63920
DAP	DAP de la RT > cualquiera de sus vecinos	2.611	0.808	3.233	0.009	0.51100
DAP	DAP de la RT es <cualquiera de sus vecinos	-3.043	2.358	-1.291	0.216	0.09996
TH	No agrupado	3.528	0.400	8.814	<0.001	0.58550
TH	HT de la RT > cualquiera de sus vecinos	1.275	0.540	2.360	0.040	0.35780
TH	HT de la RT es <cualquiera de sus vecinos	-3.136	3.813	-0.823	0.424	0.04317



El efecto conjunto de la proporción relativa horizontal y de la distancia media de los primeros cinco vecinos fue significativo, tanto en el DAP como en la altura total de los árboles de referencia. En conjunto, ambas variables lograron explicar el 18.11% de la variabilidad total del diámetro normal y el 13.83% de la variabilidad total de la altura total (Cuadro 3). En general, la discrepancia en el tamaño del fuste cobra mayor relevancia cuando se toma en cuenta la distancia.

Cuadro 3. Coeficientes de regresión al evaluar el efecto conjunto del tamaño relativo horizontal en el diámetro normal y en la altura de *A. hickelii*.

Variables	Efecto combinado	Coefficientes calibrados	SE	T-value	P-value	R2
DAP	Del tamaño relativo horizontal y la distancia promedio	-0.61	0.18	-3.49	0.0010	0.18110
TH	Del tamaño relativo horizontal y la distancia promedio	-0.53	0.18	-2.97	0.0044	0.13830

El índice de Cohen que mide la fuerza relativa de las diferencias entre las medias de las variables de interés debido a la especie de los vecinos, reveló que, el tamaño del efecto es mayor cuando los vecinos son de la misma especie que cuando se tratan de una especie distinta. El cual fue más evidente en los vecinos que ocupaban la primera, segunda, cuarta y quinta posición. Por ejemplo, al examinar la respuesta de DAP en función de los vecinos que ocupan la primera posición (Vecino 1), se observa un coeficiente igual a 0.44. Esto significa que el diámetro promedio de los árboles de referencia, tenía 0.44 desviaciones estándar mayor cuando sus competidores eran de la misma especie que cuando sus competidores eran de otras especies. Por su lado, la altura exhibe un valor de d igual a 0.58, sugiriendo que había 0.58 desviaciones estándar mayor cuando sus competidores eran de la misma especie que cuando sus competidores eran de otras especies. El índice de Cohen más elevado se observó para el DBH al evaluar el efecto de los vecinos que ocupaban la posición número cinco, en tanto que el más pequeño se observó para la variable de TH al evaluar el efecto de los vecinos de la posición 3 (Cuadro 4).



Cuadro 4. Valores del índice de Cohen y sus límites inferiores (LI) y superiores (LS) al 95%.

Posición del competidor	Variable	Valores de Cohen	LI	LS
Vecino 1	DAP	0.44	-0.13	1.01
	TH	0.58	0.01	1.15
Vecino 2	DAP	0.11	-0.43	0.66
	TH	0.16	-0.39	0.70
Vecino 3	DAP	-0.06	-0.63	0.51
	TH	-0.03	-0.60	0.55
Vecino 4	DAP	0.22	-0.35	0.78
	TH	0.28	-0.28	0.85
Vecino 5	DAP	1.05	0.37	1.73
	TH	1.01	0.33	1.68

La distancia y el tamaño de los árboles vecinos ejercen una influencia significativa en diversos procesos ecológicos y en el crecimiento de la especie de interés. Por ejemplo, se ha observado que la competencia por recursos como la luz solar, el agua y los nutrientes (Casper y Jackson, 1997; Contreras *et al.*, 2011; Forrester *et al.*, 2013) afecta el desarrollo de la especie. Los resultados de este estudio sugieren que la distancia de los vecinos tiene un efecto significativo ($p\text{-value} < 0.05$) en los árboles de referencia solo cuando las dimensiones de dichos vecinos poseen dimensiones mayores que las de los árboles de referencia (Cuadro 1); pero cuando los vecinos poseen dimensiones más pequeñas, el efecto de la distancia no es significativo, pues en este último caso, los valores de probabilidad en contra de la hipótesis de nula incidencia eran mayores que 0.5.

Lo anterior podría deberse a que los árboles más grandes captan más luz solar y extraen mayores cantidades de agua y nutrientes del suelo, dejando menos recursos disponibles para los árboles vecinos más pequeños (Antúñez *et al.* 2023). En este contexto, algunas plantas priorizan el crecimiento en altura en detrimento del crecimiento lateral (Schmitt, 1993; Schmitt y Wulff, 1993), lo cual podría estar ocurriendo en la población estudiada.

Por otro lado, los resultados obtenidos sugieren que el tamaño del efecto es mayor cuando el vecino es de la misma especie en comparación con un vecino de otra especie. Por lo tanto, la competencia intraespecífica tiene un impacto más significativo en el crecimiento y desarrollo de *A. hickelii* que la competencia interespecífica. Esta diferencia es comprensible considerando la distribución geográfica



de la especie, que se restringe a franjas o parches pequeños. Como resultado, los individuos de *A. hickelii* tomarían los mismos recursos limitados y tendrían las mismas necesidades de recursos similares (Antunez *et al.*, 2023).

Los resultados presentados aquí proporcionan una visión inicial pero esencial de las interacciones entre *A. hickelii* y sus competidores más cercanos. Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para mejorar la comprensión de los procesos ecológicos y la dinámica poblacional de la especie. En base a los resultados encontrados, se sugiere considerar un raleo selectivo durante la etapa inicial de crecimiento de los árboles, en las fases de monte bravo, latizal y fustal (Antúñez *et al.*, 2023), para favorecer así el crecimiento y desarrollo de la especie. En caso de realizar plantaciones de la especie estudiada, se recomienda mantener una distancia mínima entre las plantas de al menos 1.65 m. Sin embargo, no se recomienda establecer individuos en áreas completamente desprovistas de árboles, dado que las especies de *Abies* se consideran de sombra (Taylor y Halpern, 1991; Kobe y Coates, 1997).

Conclusiones

Comprender la dinámica de la competencia y los factores que influyen en el crecimiento de *Abies hickelii* es esencial para una gestión eficaz y en los esfuerzos de conservación. Se concluye que la especie estudiada experimenta una competencia asimétrica con sus primeros cinco vecinos. Así mismo el efecto de la competencia es mayor cuando el árbol vecino es de la misma especie que cuando pertenece a una especie diferente.



Literatura Citada

- Antúñez P., Hernández-Cruz I, Ibrahim-Abdulsalam F., Clark-Tapia R, Ruiz-Aquino F. and Valenzuela-Encinas C. 2023, Effect of distance and neighbor size on *Abies hickelii*: the asymmetric competition is aggravated in an endangered species. *Forests*. *In print*.
- Balandier, P., Collet, C., Miller, J. H., Reynolds, P. E., & Zedaker, S. M. 2006. Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighbouring vegetation. *Forestry* 79(1):3-27.
- Casper, B. B., & Jackson, R. B. 1997. Plant competition underground. *Annual review of ecology and systematics* 28(1):545-570.
- Clark, P. J., & Evans, F. C. 1954. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology* 35(4):445-453.
- Contreras, M. A., Affleck, D., & Chung, W. 2011. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. *Forest Ecology and Management* 262(11):1939-1949.
- Forrester, D. I., Kohnle, U., Albrecht, A. T., & Bauhus, J. 2013. Complementarity in mixed-species stands of *Abies alba* and *Picea abies* varies with climate, site quality and stand density. *Forest Ecology and Management* 304:233-242.
- Goldberg, D. E. 1987. Neighborhood competition in an old-field plant community. *Ecology* 68(5):1211-1223.
- Kobe, R. K., & Coates, K. D. 1997. Models of sapling mortality as a function of growth to characterize interspecific variation in shade tolerance of eight tree species of northwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 27(2):227-236.



- Mack, R. N., & Harper, J. L. 1977. Interference in dune annuals: spatial pattern and neighbourhood effects. *The Journal of Ecology* 345-363.
- Rehder, A. 1939. The firs of Mexico and Guatemala. *Journal of the Arnold Arboretum* 20(3):281-287.
- Schmitt, J. 1993. Reaction norms of morphological and life-history traits to light availability in *Impatiens capensis*. *Evolution* 47(6):1654-1668.
- Schmitt, J., & Wulff, R. D. 1993. Light spectral quality, phytochrome and plant competition. *Trends in Ecology & Evolution* 8(2):47-51.
- Stoll, P., & Weiner, J. 2000. A neighborhood view of interactions among individual plants. https://edoc.unibas.ch/15365/1/20180110105505_5a55e2f91b17e.pdf [consultado el 8 de agosto de 2023]
- Taylor, A. H., & Halpern, C. B. 1991. The structure and dynamics of *Abies magnifica* forests in the southern Cascade Range, USA. *Journal of Vegetation Science* 2(2):189-200.
- Torchiano, M., & Torchiano, M. M. 2020. Package 'effsize'. Package "Effsize". 2020 <https://cran.r-project.org/web/packages/effsize/effsize.pdf> [Consultado el 10 de junio de 2023]
- Weiner, J. 1984. Neighbourhood interference amongst *Pinus rigida* individuals. *The Journal of Ecology*, 183-195.



Acuícola y PESQUERÍA





PRODUCCIÓN ACUÍCOLA CON ALIMENTO SUSTENTABLE

Abimael Lagunes Domínguez^{291*}, Diego Esteban Platas Rosado²⁹¹, Alberto Asiain Hoyos²⁹¹, Rosa Isela Castillo Zamudio²⁹¹, Juan Cristóbal Hernández Arzaba²⁹² y Juan Carlos Martínez Núñez²⁹¹

Resumen

El cambio climático provoca la urgencia de rediseñar los agroecosistemas actuales para hacerlos más resilientes, sustentables y sostenibles, aunado a la necesidad de la población mexicana de cambiar sus hábitos alimenticios a productos más nutritivos e inocuos. A raíz de la pandemia causada por el COVID-19, se detectó una tendencia al aumento del consumo de pescado. La acuicultura sustentable es una práctica que tiene el potencial necesario para atender dicha problemática. El objetivo del presente trabajo fue evaluar un módulo muestra de acuicultura sustentable. Este módulo se ubicó en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, donde se utilizó la zonificación y la economía circular con el fin de permitir a los acuicultores obtener la materia prima, necesaria para la elaboración del alimento para los peces a menor costo, de manera sustentable y sostenible. De este modo el tratamiento 1 (dieta sustentable) constó de la mezcla de alimentos pre-digeridos con suero de queso y de alimentos fermentados, cuyos ingredientes fueron: yuca, malanga y maíz, en comparación con un testigo que fue alimento comercial para pez basa (*Pangasius hypophthalmus*) durante seis meses. Cada tratamiento constó de tres repeticiones. Para evaluar el desarrollo y crecimiento de los organismos se realizaron biometrías cada 30 días, donde se midió el largo, ancho y peso de 32 organismos por repetición. Los resultados mostraron que los peces alimentados con la dieta sustentable tuvieron un crecimiento similar a los peces alimentados con la dieta comercial y una reducción del 50% del costo de alimentación. Se concluye que la acuicultura sustentable puede atender los problemas que no se atienden con la producción tradicional, además de que ofrece alimentos sanos y de calidad producidos de manera *in situ* por el acuicultor.

Palabras clave: economía circular, zonificación, Veracruz

²⁹¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, México. Autor para correspondencia: lagunes.abimael@colpos.mx

²⁹² Universidad Autónoma de Baja California, México.



Introducción

La importancia de resolver los problemas ambientales, económicos y sociales causados por el uso indiscriminado de agroquímicos en los agroecosistemas industrializados, ha remarcado la necesidad de diseñar agroecosistemas autosuficientes, de bajo uso de insumos (agroquímicos), y que permitan la implementación de policultivos para mejorar la diversidad, con la finalidad de erradicar los problemas existentes, los cuales han ocasionado el calentamiento global (Bianconi *et al.*, 2013; Altieri y Nicholls, 2017; Altieri, 2018). Estas necesidades han generado cambios sociales y estructurales importantes dentro y fuera de los agroecosistemas, que han resaltado la importancia de la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales (Andersen *et al.*, 2013).

Debido a los efectos adversos causados por el COVID-19 en la población mexicana, por la mala nutrición, la producción de alimentos nutritivos e inocuos se ha vuelto más importante que nunca. El Consumo *per cápita* de pescado en México se reporta de 18 kg al año y es el segundo importador mundial de filete congelado de Basa de Vietnam y también el segundo importador de tilapia entera y en filete de China, solo después de Estados Unidos (Platas-Rosado *et al.*, 2021). En México, la acuicultura tiene el potencial productivo necesario para satisfacer la demanda actual y futura de pescados y mariscos, incluso para su exportación, debido a que puede obtenerse carne de alta calidad de forma eficiente, dado que su tasa de conversión alimenticia es mejor que la de otras especies pecuarias (Olsen y Hasan, 2012). En este sentido, la producción sustentable de alimentos se ha considerado como un modo de lograr la seguridad alimentaria de los países, sin comprometer los recursos naturales de los mismos. Además de ser una fuente de empleos y una práctica económica que ha ayudado a restaurar el medio ambiente, haciendo frente a los problemas ambientales, económicos y sociales causados por la agricultura industrializada (Reganold y Wachter, 2016). Es así como surge la acuicultura sustentable, como un sistema que tiene sus pilares en el ecosistema, con el que se pretende disminuir los problemas ambientales, económicos y sociales que la acuicultura tradicional no puede atender (Sicuro, 2019; Ahmed *et al.*, 2020).

Dado el potencial y a las implicaciones de la acuicultura, esta práctica incide dentro de la agenda 2030, en especial con cuatro de los 17 Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS). Dichos objetivos son: 1. Fin de la pobreza, 2. Hambre cero, 8. Trabajo decente y crecimiento económico y 12. Producción y consumo responsables.



En el objetivo 1 se expone que “la pobreza va más allá de la falta de ingresos y recursos para garantizar unos medios de vida sostenibles. Entre sus manifestaciones se incluyen el hambre y la malnutrición”, de este modo la acuicultura puede aportar dentro de este objetivo.

En el objetivo 2 se encuentra duplicar la productividad agrícola y los ingresos de los productores, donde la acuicultura es una práctica que se encuentra en constante crecimiento y da valor agregado a los alimentos producidos, lo que se traduce a mayor cantidad de ingreso para los acuicultores.

Por otro lado, en el objetivo 8 se menciona la importancia de lograr niveles más elevados de rentabilidad económica y promover políticas más orientadas al desarrollo; en ese sentido, las innovaciones de la acuicultura generan un valor agregado y garantizan el empleo intensivo de mano de obra, ofreciendo puestos de trabajos decentes, lo que facilita la creación de políticas que fomenten la innovación, además de la creación de pequeñas y medianas empresas.

A su vez, en el objetivo 12 se habla sobre hacer más y mejores cosas con menos recursos; los sistemas de producción acuícola sustentable propician o facilitan el uso de prácticas que permitan producir o conseguir insumos a un menor costo y de manera sustentable, que pueden transformarse para dar un valor agregado, que mejore la calidad de éstos para su aprovechamiento. Esto ayuda a lograr la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos naturales, fomentando la adopción de estas prácticas sostenibles por parte de los sistemas acuícolas sustentables.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024, considera dentro del apartado de política social al desarrollo sostenible, en términos: ambientales, económicos, éticos y sociales. Mientras que en el apartado de economía se encuentran tres puntos importantes: 1) Impulsar la reactivación económica, el mercado interno y el empleo, 2) Autosuficiencia alimentaria y rescate del campo y 3) Ciencia y tecnología. Dentro del primer punto se plantea obtener un crecimiento económico, a través de la generación de empleos. Mientras que, en el segundo punto, se considera destinar apoyos que fomenten prácticas amigables con el ambiente; además de la creación de empresas dedicadas a la producción de alimentos, que contribuyan a la canasta básica, enfocándose en la población vulnerable. En el tercer punto, se fomenta la innovación en la investigación científica y tecnológica que esté en pro de la población y el desarrollo del país. En todos los puntos participa la acuicultura.

El Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD) 2019-2024, considera dentro de su apartado de política económica, al desarrollo económico, punto que se relaciona con lo establecido en los apartados mencionados del PND; dentro del desarrollo económico se considera a la capacitación laboral como una estrategia para crear y formar habilidades que sirvan principalmente en el sector productivo, con el



objetivo de beneficiar a las empresas y trabajadores al incrementar sus ingresos económicos. En el apartado del sector primario se considera a la acuicultura como un modo de lograr distintos tipos de desarrollo, principalmente económicos y tecnológicos.

Los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) del CONAHCYT (2023) permiten orientar toda investigación científica a la atención de problemas nacionales prioritarios, para dar solución a los mismos. De este modo, los PRONACES se relacionan con la agenda 2030 y los ODS, cuyo objetivo es cuidar a las personas y al ambiente. Es así como la acuicultura también incide dentro de los PRONACES, principalmente en el uso del agua, la soberanía alimentaria y los sistemas socio-ecológicos.

En el PRONACE de Agua, la acuicultura puede ser una práctica de producción económica sustentable, que requiere de menos agua, en comparación con la producción de proteína animal de otras especies; además de que el agua utilizada en la acuicultura puede reutilizarse para el riego de cultivos, con el plus de estar enriquecida con nutrientes que mejoran el desarrollo y el crecimiento de los cultivos donde se utiliza.

Por otro lado, en el PRONACE de soberanía alimentaria, la acuicultura sustentable promueve la producción de alimentos saludables, nutritivos e inocuos, sustituyendo el uso de insumos químicos y/o procesados, lo que contribuye de manera directa o indirecta al bienestar de la sociedad mexicana. También puede contribuir a mejorar las condiciones laborales y a la participación de las mujeres, en especial en las zonas rurales, así como al fortalecimiento de los pequeños y medianos acuicultores.

En el PRONACE de sistemas socio-ecológicos, con la aplicación de la zonificación y gestión ambiental, así como de la economía circular a la acuicultura, puede lograrse el aprovechamiento sustentable y la conservación de los recursos naturales, lo que ocasionaría la sustentabilidad de este sistema alimentario y permitirá atender problemas de salud ambiental y humana, lo que genera beneficios socio-ecológicos.

La zonificación permite determinar la capacidad que tienen los recursos naturales disponibles de un área específica, para sostener a la población local, lo cual se ha vuelto un tema relevante en los últimos años, debido a que la población mundial crece año con año, mientras que los recursos naturales, como el suelo y el agua, disminuyen por las demandas alimenticias de las ciudades. Esto ha provocado la sobre explotación de los recursos naturales, cuya capacidad productiva está sujeta a las condiciones edafoclimáticas de la zona en la que se encuentran, degradando la calidad del suelo y del agua. Una solución para disminuir este impacto negativo, con la finalidad de lograr la sustentabilidad y la



sostenibilidad ambiental, es una planificación basada en el conocimiento de los recursos disponibles, que permita hacer un mejor uso. Para lo anterior se puede emplear una metodología que se adapte al uso de los sistemas de información geográficos (SIG) (FAO, 1997).

El uso de esta técnica permite atender las problemáticas actuales y futuras de los mercados, como el precio de los alimentos o su oferta y demanda, mediante la adaptación de los agroecosistemas a las necesidades locales, para garantizar el suministro alimentario, de una manera amigable con el medio ambiente, y de este modo, lograr la sustentabilidad y sostenibilidad de los recursos naturales (FAO, 2007).

Por otro lado, la economía circular es un proceso que surge como una alternativa sustentable y rentable del modelo económico lineal, cuya finalidad es la preservación y el aumento del capital natural. De este modo surgen innovaciones a los modelos de negocio como la segunda vida de materiales y productos, la transformación de producto, el reciclaje 2.0, entre otros. Debido a lo anterior, y a la base sustentable y sostenible de la economía circular, así como sus aplicaciones en los ámbitos ambientales, económicos y sociales, ésta busca prolongar la vida útil de los productos o subproductos (Cerdá y Khalilova, 2016; Geisendorf y Pietrulla, 2018).

Algunos de los subproductos de las actividades primarias de las agroindustrias pueden reutilizarse, a través de la transformación y el valor agregado, para generar nuevos productos como alimentos fermentados y/o pre-digeridos, que son los que se usaron en esta investigación. Como se mencionó anteriormente, esto se debe a los objetivos de la economía circular, que buscan gestionar de manera sustentable los “desechos” y de este modo ayudar a la conservación de los recursos naturales, con el fin de reducir emisiones contaminantes, a través del reciclado y recuperación de subproductos, por ello es una práctica que fomenta las remanufacturas que permiten el reaprovechamiento de estos (Camacho-Otero *et al.*, 2018; Morseletto, 2020).

El uso de alimentos balanceados dentro de la acuicultura consume entre el 50 y 70% de la inversión económica destinada a los gastos de operación para esta práctica (Khan *et al.*, 2018). Este empleo de alimentos balanceados puede reducirse significativamente (20 a 60%) con la implementación de alimentos pre-digeridos y fermentados, elaborados a partir de materia prima producida o subproductos de las agroindustrias locales. Con estos alimentos se puede disminuir el costo de producción de 50 hasta 100% del alimento balanceado, además de ofrecer distintas ventajas a los organismos, como mejorar su microbiota intestinal y metabolismo, beneficiando de manera directa al crecimiento y desarrollo de los organismos acuáticos. Mientras que, con la ayuda de suplementos, como enzimas y/o



microalgas, se pueden mejorar los parámetros de la calidad del agua (Gamble *et al.*, 2015; Samaddar, 2018; Yin-Mo *et al.*, 2019; Yao *et al.*, 2020; Omont *et al.*, 2021).

Además, estos alimentos pueden mejorar la disponibilidad de proteínas y reducir compuestos anti nutricionales. Por ello, las proteínas obtenidas de la fermentación de fuentes vegetales tienen la capacidad de sustituir a los alimentos balanceados usados comúnmente en la acuicultura, mejorando la rentabilidad ambiental y económica de esta práctica, así como la producción de carne de alta calidad (Li *et al.*, 2019; Moniruzzaman *et al.*, 2019; Dawood y Koshio, 2020).

Por ello, los alimentos pre-digeridos y fermentados son considerados como el futuro de la agricultura y la acuicultura, debido a que su obtención viene de un proceso sencillo y económico, y ofrece beneficios al crecimiento y a la salud de los organismos (Yang *et al.*, 2021). La importancia de estos alimentos radica en el aumento de la oferta de pescados y mariscos, a precios accesibles a la población de escasos recursos, así como en la necesidad de satisfacer la demanda de productos animales con carne de buena calidad, evitando el uso de insumos que pueden afectar de manera negativa a la salud humana (Dai *et al.*, 2020; Midhun y Arun, 2023).

La tecnología biofloc puede atender problemas como la escasez del agua y el uso de alimentos industrializados en la acuicultura. El biofloc está compuesto principalmente por microorganismos compuestos, que mejoran la actividad de las enzimas intestinales de especies acuáticas que se producen dentro de la acuicultura. El uso de estos microorganismos, ayuda a mejorar la tasa de conversión de peces y mariscos; además, se ha reportado que el biofloc puede utilizarse para el control de algunas enfermedades por ser un probiótico natural, con lo que se evita el uso de antibióticos, antifúngicos, probióticos y prebióticos (Ahmad *et al.*, 2017; Khanjani y Sharifinia, 2020).

Por ello es importante mencionar, que el uso de esta tecnología dentro de los agroecosistemas acuícolas ofrece ventajas que aumentan la producción y la productividad de estos sistemas, a través del mejoramiento de la calidad del agua con el equilibrio de los niveles de carbono y nitrógeno inorgánico que se encuentran dentro de los estanques. Esta tecnología permite la obtención de carne con un menor impacto ambiental, debido a que ayuda a producir más alimento con menos insumos; por tal motivo tiene la capacidad de atender los problemas ambientales, económicos y sociales de la acuicultura en paralelo con la agenda 2030 y los objetivos del desarrollo sostenible (Crab *et al.*, 2012; Bossier y Ekasari, 2017). Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar un módulo muestra de acuicultura sustentable.



Materiales y Métodos

El diseño y la operación del módulo de acuicultura sustentable se realizó en el municipio de Paso de Ovejas, Veracruz (Figura 1), que se encuentra entre los paralelos 19° 08' y 19° 22' LN y los meridianos 96° 20' y 96° 38' LO, a una altitud entre los 10 y los 400 m (SEFIPLAN, 2021); lugar donde se contó con el apoyo de una granja acuícola cooperante.



Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Paso de Ovejas, Veracruz.

La zona donde se encuentra el municipio de Paso de Ovejas es tropical húmeda, donde los climas predominantes son: AW_1 (en el 60.01% de la superficie municipal) y AW_0 (en el 38.13% de la superficie municipal), pertenecientes a un clima cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 22°C y una precipitación pluvial media anual de 1,000 a 1,500 mm (CONABIO, 2022).

Se contó con un tratamiento sustentable (t1) y un testigo (t0); el tratamiento empleado fue un alimento alternativo sustentable que constó de dos repeticiones (r1 y r2), el cual se aplicó en pez basa, hasta completar su ciclo productivo. El tratamiento 1 constó de yuca, malanga y maíz fermentado y pre-digerido, mientras que el testigo fue alimento comercial.

El tratamiento 1 pasó por un proceso de triturado para posteriormente hervirse a fuego intenso durante una hora a 100°C, pasada las dos horas, se depositó en un recipiente oscuro en una zona donde quedó expuesto al sol, para acelerar el proceso de fermentación; finalmente se dejó en reposo durante cinco días hasta que tomó una tonalidad marrón u oscura. Una vez terminado el proceso, se utilizó como alimento para peces, el cual se suministró en estanques con 1,500 organismos; adicionalmente se utilizó biofloc para aprovechar la materia orgánica de los estanques y formar bioflóculos, que fueron



utilizados por los organismos como alimento, mientras se mejoraba la calidad del agua de los estanques.

Se realizaron biometrías a 32 organismos por estanque cada 30 días, con el fin de evitar el estrés de éstos y afectar de manera negativa su desarrollo, en donde se midió el largo, el ancho y el peso de los peces.

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en el largo de los organismos muestran un crecimiento similar entre el testigo (t0) y el tratamiento 1, repetición 2 (t1r2), sin embargo, el tratamiento 1, repetición 1 (t1r1) fue ligeramente mayor durante los dos primeros meses y al final de la prueba piloto. Esto puede observarse con mayor detalle en la Figura 2.

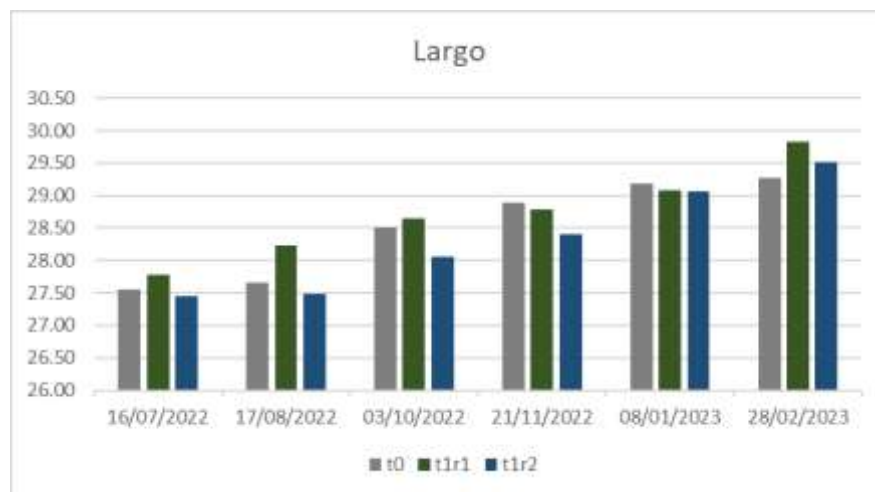


Figura 2. Promedio del largo de 32 organismos por tratamiento.

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos en el ancho de los organismos evaluados; el crecimiento de éstos fue similar entre todos los tratamientos, donde los mayores valores se obtuvieron durante los últimos dos meses.

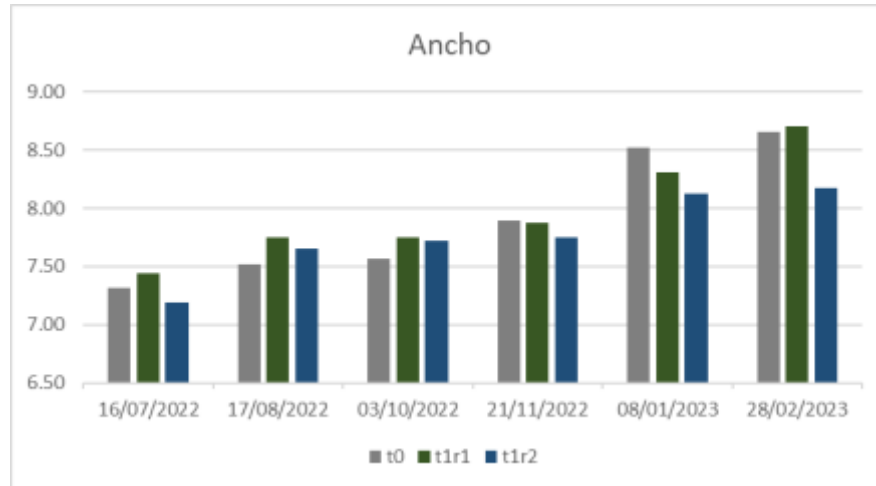


Figura 3. Promedio del ancho de 32 organismos por tratamiento.

Por su parte, en la Figura 4 se muestran los resultados de peso de los 32 organismos evaluados por cada repetición, donde con el t1r1 se obtuvo el mayor peso promedio en comparación con el t0 y el t1r2.

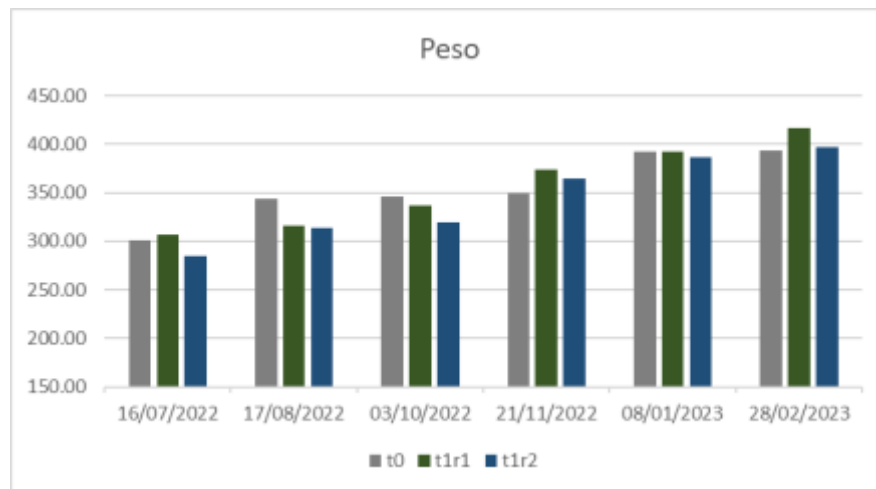


Figura 4. Promedio del peso de 32 organismos por tratamiento.

Con base en los resultados, se puede decir, que el alimento sustentable igualó al alimento comercial, lo que redujo en 50% la inversión en alimento, lo que permite reducir los costos de operación de este sistema acuícola sustentable y aumentar las ganancias de lo acuicultores. Por otra parte, el lento crecimiento de los organismos se debe principalmente a la edad de éstos (aproximadamente de tres meses) y a las bajas temperaturas que se registraron en la temporada de otoño-invierno. Sin embargo,



los resultados obtenidos en este módulo piloto, demuestran el potencial de los alimentos fermentados y pre-digeridos, así como los beneficios de la economía circular y la zonificación.

Conclusiones

1. El alimento sustentable tiene la capacidad de sustituir hasta en un 100% al alimento comercial.
2. El uso de la economía circular y la zonificación, permiten a los acuicultores obtener la materia prima necesaria para la elaboración del alimento sustentable a un menor precio, reduciendo los intermediarios y la huella ecológica que existen con los alimentos comerciales.
3. La elaboración de alimentos fermentados y pre-digeridos, así como el uso de la tecnología biofloc, mejoran la producción de carne, mientras se contribuye a la sustentabilidad y sostenibilidad ambiental.

Literatura Citada

- Ahmad, I., A. M. B. Rani, A. K. Verma and M. Maqsood. 2017. Biofloc technology: An emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture international* 25:1215-1226.
- Ahmed, N., S. Thompson and G. M. Turchini. 2020. Organic aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security: Insights from organic agriculture. *Food Security*: 1-15.
- Altieri, M. A. 2018. *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. 2nd ed. CRC Press. 1-3.
- Altieri, M. A. and C. I. Nicholls. 2017. Agroecology: a brief account of its origins and currents of thought in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 41(3-4):231-237.
- Andersen, P. S., H. Vejre, T. Dalgaard and J. Brandt. 2013. An indicator-based method for quantifying farm multifunctionality. *Ecological Indicators* 25:166-179.



- Bianconi, A., T. Dalgaard, B. F. Manly, J. S. Govone, M. J. Watts, P. Nkala *et al.* 2013. Methodological difficulties of conducting agroecological studies from a statistical perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37(4):485-506.
- Bossier, P. and J. Ekasari. 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microbial biotechnology* 10(5):1012-1016.
- Camacho-Otero, J., C. Boks and I. N. Pettersen. 2018. Consumption in the circular economy: A literature review. *Sustainability* 10(8):2758.
- Cerdá, E. y A. Khalilova. 2016. Economía circular. *Economía industrial* 401(3):11-20.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2022. Portal de geoinformación 2022 <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> [consultado el 6 de abril de 2022].
- CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías). 2023. Programas nacionales estratégicos <https://conahcyt.mx/pronaces/> [consultado el 7 de junio de 2023].
- Crab, R., T. Defoirdt, P. Bossier and W. Verstraete. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356:351-356.
- Dai, Z., L. Cui, J. Li, B. Wang, L. Guo, Z. Wu *et al.* 2020. Fermentation techniques in feed production. p. 407-429. *In: Animal agriculture*.
- Dawood, M. A. O. and S. Koshio. 2020. Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 12(2):987-1002.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. Zonificación agro-ecológica. <https://www.bivica.org/files/zonificacion-agro-ecologica.pdf> [consultado el 6 de noviembre de 2022].



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco. 24 p.
- Gamble, S., I. Pirozzi, M. R. Hall, C. Zeng, J. A. Conlan and D. S. Francis. 2015. The effects of pre-digested protein sources on the performance of early–mid stage *Panulirus ornatus* phyllosoma. *Aquaculture* 440:17-24.
- Geisendorf, S. and F. Pietrulla. 2018. The circular economy and circular economic concepts-a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review* 60(5):771-782.
- Khan, A., A. Guttormsen and K. H. Roll. 2018. Production risk of pangas (*Pangasius hypophthalmus*) fish farming. *Aquaculture Economics & Management* 22(2):192-208.
- Khanjani, M. H. and M. Sharifinia. 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Reviews in aquaculture* 12(3):1836-1850.
- Li, C., B. Zhang, X. Wang, X. Pi, X. Wang, H. Zhou *et al.* 2019. Improved utilization of soybean meal through fermentation with commensal *Shewanella* sp. MR-7 in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Microbial Cell Factories* 18:1-18.
- Midhun, S. J. and D. Arun. 2023. Alternative feed technology in aquaculture. p. 291-306. *In: Recent Advances in Aquaculture Microbial Technology.*
- Moniruzzaman, M., J. H. Damusaru, S. Won, S. J. Cho, K. H. Chang and S. C. Bai. 2019. Effects of partial replacement of dietary fish meal by bioprocessed plant protein concentrates on growth performance, hematology, nutrient digestibility and digestive enzyme activities in juvenile Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *J. Sci. Food Agric.* 100(3):1285-1293.
- Morseletto, P. 2020. Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* 153:104553.



- Olsen, R. L. and M. R. Hasan. 2012. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology* 27(2):120-128.
- Omont, A., R. Elizondo-González, C. Escobedo-Fregoso, D. Tovar-Ramírez, P. Hinojosa-Baltazar and A. Peña-Rodríguez. 2021. Bacterial communities and digestive enzymatic activities of *Litopenaeus vannamei* shrimp fed pre-digested seaweeds as a functional ingredient. *Journal of Applied Phycology* 33(2):1239-1251.
- Plan Nacional de Desarrollo (PND). 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. <https://lopezobrador.org.mx/wp-content/uploads/2019/05/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2019-2024.pdf> [consultado el 6 noviembre de 2021].
- Plan Veracruzano de Desarrollo (PVD). 2019. Plan Veracruzano de Desarrollo 2019-2024. <http://www.veracruz.gob.mx/programadegobierno/2019/06/06/plan-veracruzano-de-desarrollo-2019-2024/> [consultado el 6 noviembre de 2021].
- Platas-Rosado, D. E., L. González-Reynoso, J. C. Hernández-Arzaba and C. M. Torres-Tadeo. 2021. Economic impact and feasibility of striped catfish farming (*Pangasius hypophthalmus*) in Mexico. *Agro Productividad* 14(4).
- Reganold, J. P. and J. M. Wachter. 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants* 2(2):1-8.
- Samaddar, A. 2018. A review of fish meal replacement with fermented biodegradable organic wastes in aquaculture. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(6):203-208.
- SEFIPLAN (Secretaría de Finanzas y Planeación). 2021. Paso de Ovejas <http://ceieg.veracruz.gob.mx> [consultado el 6 abril de 2022].
- Sicuro, B. 2019. An overview of organic aquaculture in Italy. *Aquaculture* 509:134-139.



Yang, L., X. Zeng and S. Qiao. 2021. Advances in research on solid-state fermented feed and its utilization: The pioneer of private customization for intestinal microorganisms. *Animal Nutrition* 7(4):905-916.

Yao, W., C. Zhang, X. Li, M. He, J. Wang and X. Leng. 2020. The replacement of fish meal with fermented soya bean meal or soya bean meal in the diet of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research* 51(6):2400-2409.

Yin-Mo, W., Y. Bon-Man and M. Hung-Wong. 2019. Soybean dreg pre-digested by enzymes can effectively replace part of the fishmeal included in feed pellets for rearing gold-lined seabream. *Journal Pre-proofs* 704:135266.



CRECIMIENTO DE *Nannochloropsis oculata* (DROOP, 1955) CON DIFERENTES MEDIOS NUTRITIVOS Y FOTOPERIODOS EN LABORATORIO

José Alfredo Solís Echeverría^{293*}, Ángel Ancona Ordaz²⁹³, Rodrigo Raúl García Torcuato²⁹³,
Juan Quintín Román Tiburcio²⁹³ y Rogelio Darío Balan Calan²⁹³

Resumen

El presente estudio se centró en evaluar el crecimiento de la microalga *N. oculata* bajo diferentes medios nutritivos y fotoperiodos iluminación condiciones de laboratorio, para lo cual se probaron los medios nutritivos F2 de Guillard (Proline) y el fertilizante foliar Bayfolan en dosis de 1 y 0.75 mL/L, respectivamente. De igual manera, los cultivos fueron sometidos a tres fotoperiodos de iluminación 24:00, 16:08 y 12:12 horas luz/oscuridad (L/O). El experimento se llevó a cabo por cinco días bajo las siguientes condiciones: temperatura de 20-22°C, salinidad de 30 ups, pH 7-8 e intensidad de luz de 50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Los tratamientos fueron ensayados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías ($p \leq 0.05$) por triplicado. En cada tratamiento se tomaron muestras cada 24 horas para determinar la densidad del cultivo mediante conteos directos en la cámara Neubauer. La densidad celular (cel/mL) se empleó para determinar los parámetros poblacionales como son tasa de crecimiento específico (TCE div/día) y el tiempo de duplicación de la biomasa (Td día). Como resultado el F2 de Guillard en los fotoperiodos de 16:08 y 24:00 (L/O) registraron la concentración celular promedio más alta con 10333333 ± 1040833 y 10066667 ± 2214912 (cel/mL) valores que fueron superiores significativamente ($p < 0.05$) a los registrados con Bayfolan sin importar el fotoperiodo. La mayor TCE (1.007 div/día) y el menor Td (0.703 días) fueron alcanzados con el tratamiento F/2 de Guillard a un fotoperiodo de 24:00 (L/O). Mientras que el menor valor de TCE (0.618 div/día) se observó con el tratamiento de Bayfolan y fotoperiodo de 12:12 (L/O). El mayor Td (1.136 días) se registró con la combinación de Bayfolan y fotoperiodo de 24:00 (L/O). Los resultados muestran que *N. oculata* puede ser cultivada a baja concentración de F/2 de Guillard y a un intervalo de fotoperiodo de 24:00 a 16:08 horas (L/O) lo cual puede implicar una reducción en los costos de producción de esta microalga.

²⁹³ Tecnológico Nacional de México campus Lerma. jose.se@itlerma.edu.mx



Palabras clave: densidad celular, F2 de Guillard, microalgas, densidad población

Introducción

Las microalgas son utilizadas en la acuicultura como alimento vivo para todos los estadios de crecimiento de moluscos, larvas de crustáceos, algunas especies de peces y en la producción de zooplancton (Prieto *et al.*, 2005). Los géneros de microalgas más utilizados en la alimentación de organismos acuáticos por su potencial nutritivo son: *Isochrysis*, *Pavlova*, *Nannochloropsis*, *Chlorella*, *Tetraselmis*, *Dunaliella*, *Rhodomonas*, *Pavlova*, *Chaetoceros*, *Nitzschia*, *Phaedodactylum* y *Thalassiosira* (Cañavate, 2014). La microalga *N. oculata* pertenece a la clase Eustigmatophyceae, se caracteriza por ser unicelular, con formas subesféricas o cilíndricas y miden entre 2 y 4 μm , contiene clorofila “a” y otros pigmentos como astaxantina, zeaxantina y cantaxantina y los cloroplastos presentan coloración de amarillo a verde (Ma *et al.*, 2014). Debido a su alto valor nutricional y composición bioquímica, *Nannochloropsis* sp. es muy buscado en la industria de la acuicultura como alimento para rotíferos y criaderos de peces (Vadiveloo *et al.*, 2015).

La fotosíntesis, la calidad nutricional y el crecimiento de *N. oculata* pueden estar influenciados por la variación de los parámetros fisicoquímicos, tales como: la intensidad lumínica, salinidad, el fotoperíodo, el pH, la temperatura y la composición de nutrientes (Wahidin *et al.*, 2013 y Pereira *et al.*, 2017; Osorio *et al.*, 2020).

Los nutrientes, especialmente los macroelementos (por ejemplo, nitrógeno y fósforo), influyen directamente en el crecimiento de las microalgas (Zhuang *et al.*, 2018). Para su cultivo se usa comúnmente alguna variante del medio F2 de Guillard

que, en general, se prepara con sales de grado industrial o con fertilizantes, los cuales pudieran modificar el crecimiento y la composición bioquímica de las microalgas (Valenzuela-Espinosa, 2005).

Sin embargo, se han desarrollado varias técnicas de bajo costo, que plantean el uso de fertilizantes agrícolas en la producción de microalgas con el perfil nutricional adecuado (Uribe, 1994). Por lo que, el uso de fertilizantes agrícolas se considera una alternativa económica para reducir los costos de producción en el cultivo de microalgas, estos han sido ampliamente experimentados y usados en acuicultura (Piña *et al.*, 2007).

Valenzuela-Espinosa *et al.* (2005) evaluaron el crecimiento, el consumo de nutrientes y la composición



proximal de *Rhodomonas* sp. cultivada durante siete días en cultivos estáticos con medio F2 de Guillard y con fertilizantes agrícolas. Obtuvieron densidades máximas de 1.49×10^6 y 1.57×10^6 células/mL con el medio F/2 y con fertilizantes agrícolas, respectivamente. El crecimiento resultó similar en ambos medios, con tasas medias de crecimiento de 0.37 y 0.38 día⁻¹, encontrando que en ambos medios de cultivo la cantidad y calidad celular de *Rhodomonas* sp. obtenida fue similar a un volumen de 18 L, concluyendo que los fertilizantes agrícolas pueden ser usados en programas de acuicultura marina.

Brito *et al.* (2013) mencionan que el uso de fertilizantes agrícolas en la acuicultura es una fuente nutritiva adecuada debido a que son muchos más económicos en relación al medio F2 de Guillard. En este mismo sentido, Pereira *et al.* (2017) recomiendan que, en cultivos estáticos de microalgas, y hasta 20 L, es el uso de medios analíticos, pues los medios no convencionales o simplificados pueden afectar el crecimiento de la microalga y su composición cambiando el contenido de varias fracciones orgánicas. Lo anterior es reafirmado por Valenzuela-Espinoza *et al.* (2005) quienes consideran que los fertilizantes agrícolas son una alternativa viable para el mantenimiento de cepas y la obtención de inóculos para volúmenes mayores de producción de microalgas.

Panta *et al.* (2016) evaluaron el crecimiento de dos especies de microalgas *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana*, con dos fertilizantes agrícolas (Complefol 10 g/L y Stimufol -solución Stimufol 5 g/L) en comparación con del F2 de Guillard en condiciones de laboratorio, sus observaciones sugieren que no existen diferencias significativas en las densidades celulares, no así en la tasa de crecimiento específico y tiempo de duplicación en ambos cultivos de microalgas, concluyendo que los fertilizantes agrícolas son una alternativa adecuada para usarse en el cultivo de microalgas.

Por otro lado, Guayara (2018) realizó un estudio con *Nannochloropsis* sp. donde evaluó las mezclas de aire y CO₂ con tres niveles (0.022, 3 y 6% de CO₂ en la corriente de aire) y el fertilizante comercial tipo NPK como medio de cultivo (13-40-13), con tres niveles en concentraciones de 6.17, 12.34 y 18.51 mg nitrógeno/L y como control, el medio de referencia F2 de Guillard (12.34 mg nitrógeno/L). En cultivos en laboratorio, encontró que la concentración de fertilizante de 18.51 mg nitrógeno/L alcanzó la mayor producción de biomasa y porcentaje de proteína (biomasa de 289 mg/L y 21% de proteína) que los obtenidos con el medio de referencia F2 de Guillard.

Hernández (2022) empleó las microalgas *C. vulgaris* y *N. oculata* para probar tres medios de cultivo: Chu #10, medio Bold basal (MBB) y medio BG-11 con diversos grados de deficiencia en fósforo y azufre, reportando que *C. vulgaris* presenta una proliferación celular mayor en los tres medios de



cultivo, logrando entre $3-6 \times 10^7$ células/mL, en comparación con *N. oculata* que sólo alcanza entre $1-3 \times 10^7$ células/mL.

El uso del fertilizante agrícola Bayfolan ha quedado demostrado por varios investigadores entre los que destacan Arbaiza *et al.* (2020) quienes probaron el efecto del fotoperiodo y el fertilizante Bayfolan de diferentes dosis (0.1, 0.05 y 0.025 mg/L) en el crecimiento del alga marina *Pyropia* sp. en condiciones de laboratorio, concluyendo que con el fotoperiodo de día largo (16:8) y con adición del nutriente comercial Bayfolan en una concentración de 0.025 ml/L, obtuvieron biomásas ligeramente menores a las concentraciones de 0.1 y 0.05 ml/L, sin embargo, al tener menor concentración de nutriente es más recomendable en temas económicos.

Por otra parte, Chele (2021) determinó la densidad celular de la microalga *Scenedesmus* spp., empleando Bayfolan a concentración de 1.14 ml/L y melaza como fuente de carbono, teniendo como resultado que la mayor densidad celular se registró con Bayfolan con $5.7 \pm 0.6 \times 10^7$ cel/mL, mientras que en el medio BG11 fue de $2.38 \pm 0.6 \times 10^7$ cel/mL. Encontrando en ambos casos diferencias significativas entre ambos sustratos de cultivos, por lo que concluye que es viable en la sustitución del medio estándar (BG11) por el Bayfolan, lo que permite reducir los costos de producción de biomasa.

Las microalgas requieren energía en forma de luz a través de un proceso fotosintético, además de nutrientes tales cantidades que les permitan producir hidratos de carbono, lípidos, así como proteínas (Chasquibol, 2021). Por lo que los factores de iluminación, el fotoperíodo y la intensidad, pueden afectar el crecimiento de las microalgas y el contenido de lípidos (Wahidin *et al.*, 2013). En este sentido, Parmar *et al.* (2011) mencionan que la intensidad de la luz y los ciclos del fotoperíodo (luz y oscuridad) son los principales factores que determinan la tasa de crecimiento del cultivo de microalga.

Con el fin de optimizar el crecimiento de microalgas en el sistema de cultivo masivo y el contenido de lípidos, Wahidin *et al.* (2013) estudiaron los efectos de la intensidad de la luz y el ciclo del fotoperíodo en el crecimiento de *Nannochloropsis* sp. en cultivo por lotes durante 9 días a tres intensidades de luz diferentes ($50, 100$ y $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y tres ciclos de fotoperíodos diferentes (24:0, 18:06 y 12:12 h de luz: oscuridad) a una temperatura de cultivo de 23°C . Con una intensidad de luz de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y un fotoperíodo de 18 h de luz: 6 h oscuridad, se encontró que *Nannochloropsis* sp. creció favorablemente con una concentración de células máximas de 6.5×10^7 células/mL, lo que corresponde a la tasa de crecimiento de 0.339 d⁻¹ después de 8 días de cultivo y se encontró que el contenido de lípidos era del 31.3%.

Osorio *et al.* (2020) investigó el ritmo reproductivo de *N. oculata* a diferentes concentraciones salinas



(33‰, 25‰, 20‰, 15‰, 10‰ y 5‰) y a dos concentraciones de F2 de Guillard (0.32% y 1%). Por lo que demuestra que *N. oculata* puede reproducirse y alcanzar densidad poblacional de más de 50×10^6 cel/mL, en un periodo de 23 días, con una sola dosis inicial de fertilizante; ya sea con 0.32‰ o 1‰ de F2 de Guillard y concentraciones salinas de 25‰ y 33‰, denotando la capacidad de *N. oculata* de reproducirse en medios con escaso contenido de nutriente y a bajos costos. Paes *et al* (2016) reportan resultados similares con esta misma especie de microalga alcanzando concentraciones de 6.52×10^7 cel/mL en un periodo de 7 días a salinidad de 33‰ y fotoperiodo 12:12 (luz-oscuridad) con el medio Conway durante los primeros 13 días y una reducción de nitrógeno al inicio del crecimiento.

Materiales y Métodos

La cepa de las microalgas de *N. oculata* se obtuvo del cepario del CICESE en tubos ensaye de 15 ml. Esta fue aclimatada a las condiciones del laboratorio de producción de microalgas de Ciencias Marinas del Tecnológico de Lerma. Los parámetros ambientales se mantuvieron a una temperatura de 20-22°C, salinidad de 30 ups, pH 7-8 e intensidad lumínica de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A los dos días las cepas fueron transferidas bajo condiciones asépticas, de acuerdo a lo recomendado por Alejos *et al.* (2021), a matraces Erlenmeyer de 250 ml con medio de cultivo F2 de Guillard y agua marina tratada mediante un sistema de filtración compuesto de filtro de cartucho a 18 micras, filtro de cordón de 5 micras, luz ultravioleta y esterilizado en autoclave a 121°C y a una presión de 1.5 lb/pulg² durante 15 minutos. El agua fue desinfectada con hipoclorito de sodio (3%) a razón de 1 mL/L de agua de mar, la que después de 24 horas se eliminan sus residuos con tiosulfato de sodio (0,06 mg/L) (Carvajal-Oses *et al.*, 2017). Estos medios esterilizados se mantuvieron por 24 horas en la sala de microalgas para su aclimatación. Después de 5-6 días, los primeros inóculos fueron transferidos a matraces Erlenmeyer de 500 ml conteniendo 300 ml de medio cultivo empleando el F2 de Guillard. Al cabo de cinco días, los cultivos iniciales se transfirieron a matraces de 1000 ml con un volumen de 800 ml a los cuales se añadieron, por triplicado, los medios nutritivos Bayfolan y Proline (formula F2 de Guillard) en dosis de 1 ml/L y 0.75 ml/L, respectivamente. Estos mismos fueron expuestos por triplicado a tres fotoperiodos de 12:12, 16:8 y 24:0 (horas luz: oscuridad), de manera que se obtuvieron 18 tratamientos. Durante los cinco días de cultivo, el crecimiento fue monitoreado cada 24 horas para determinar la densidad celular mediante conteos directos en la cámara Neubauer siguiendo el procedimiento propuesto por Ynga y Niño (2019).



Estos datos se usarán para determinar las curvas de crecimiento y los parámetros poblacionales como la tasa de crecimiento específico, las divisiones por día y el tiempo de duplicación de la biomasa de acuerdo con Guillard y Sieracki (2005) y Panta *et al.* (2016) empleado las siguientes ecuaciones:

$$\mu = \frac{\ln N_{t1} - \ln N_{t0}}{\Delta t}$$

Donde:

μ = tasa de crecimiento específico; Δt = longitud del intervalo de tiempo ($t_1 - t_0$); N_{t0} = tamaño de la población al comienzo del intervalo de tiempo

$$T_d = \frac{\log 2}{\mu}$$

Donde:

T_d = tiempo de duplicación; $\log 2$ = logaritmo natural de 2; μ = tasa de crecimiento específico

En el análisis estadístico los supuestos normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Levene, respectivamente, ambas con un nivel de significancia de 95%. Para el análisis estadístico se aplicó el análisis de varianza de dos vías (ANOVA) mediante un diseño factorial ($p > 0.05$). Para la comparación de promedios se aplicó el método de Tukey ($p > 0.05$) En todos los tratamientos se determinó la densidad celular del cultivo (cel/mL), los parámetros poblacionales como tasa de crecimiento específica (TCE) y tiempo de duplicación de la biomasa (T_d).

Resultados y Discusión

La eficacia del uso de fertilizantes agrícolas en la producción de microalgas ha quedado demostrada por diversos autores entre los que destacan: Brito *et al.*, (2013); Panta *et al.*, (2016) y Pereira, (2017), quienes han reportado que la densidad celular con este tipo de nutrientes ha llegado a ser igual o en algunos casos mayor al obtenido por medios convencionales como el F2 de Guillard. Nuestros resultados muestran la superioridad del F2 de Guillard sobre el Bayfolan en la producción celular de *N. oculata*, estos evidenciaron que *N. oculata* presentó la mayor densidad celular (cel/mL) promedio con el tratamiento F2 de Guillard (F2) a un fotoperíodo de 16:08 luz/oscuridad (L/O) con una densidad de



10333333±1040833 cel/mL (Cuadro 1 y Figura 1a). De igual manera, se evidenció que la densidad promedio más bajo correspondió al tratamiento Bayfolan (BF) y fotoperíodo de 12:12 (L/O) lo que registró una densidad de 4166667±378594 cel/mL (Cuadro 1 y Figura 1b).

Cuadro 1. Densidad celular (cel/mL) en el cultivo *N. oculata* para los diferentes tratamientos.

Medio de cultivo	Fotoperíodo (horas L/O)	Máxima	Promedio	Mínima
*F2	24:00	12000000	10066667±2214912 ^a	7650000
F2	16:08	11500000	10333333±1040833 ^a	9500000
F2	12:12	5100000	4700000±346410 ^b	4500000
**BF	24:00	7500000	6916667±693421 ^b	6150000
BF	16:08	5050000	4850000±229129 ^b	4600000
BF	12:12	4600000	4166667±378594 ^b	3900000

*F2= F2 de Guillard; **BF= Bayfolan; ^{a,b} Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa ($p < 0.05$), ± desviación estándar.

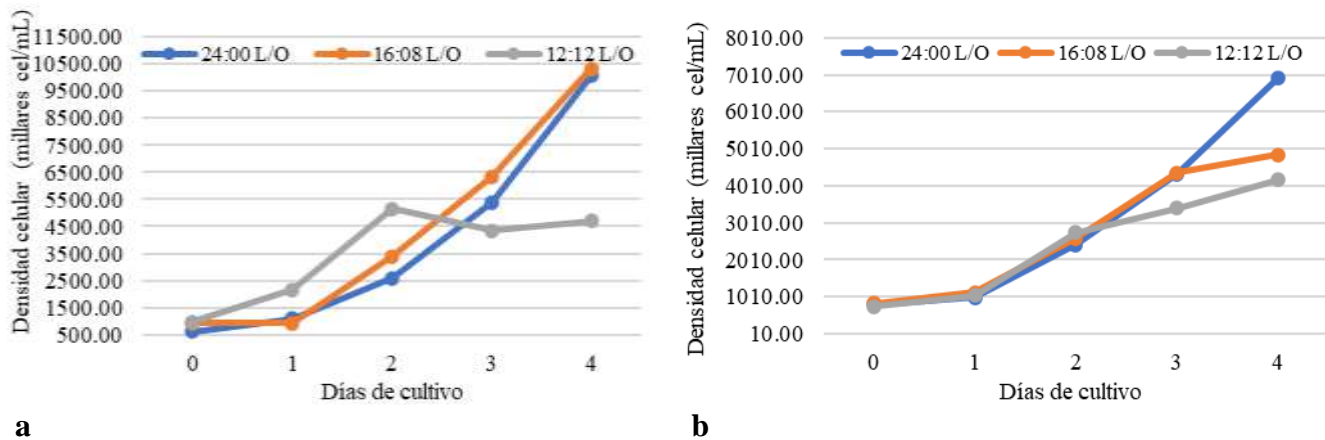


Figura 1. Densidad celular (cel/mL) para *N. oculata* con los medios de cultivo F2 de Guillard (a) y Bayfolan (b) a diferentes fotoperíodos.

Así mismo, el ANOVA indicó que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) para los tipos de nutrientes, el fotoperíodo y la interacción entre estas variables (Figura 2). La comparación de promedios indicó que los tratamientos de F2 de Guillard en los fotoperíodos de 24:00 y 16:08 (L/O) no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) y estos valores fueron superiores al resto de los



tratamientos (Cuadro 2). Estos resultados fueron similares a lo encontrado por Álvarez (2017) quien reporta densidades máximas de 9.2×10^6 cel/mL bajo condiciones de 24:00 (L/O), F2 de Guillard e intensidad de 3000 Lux para *N. oculata*, lo anterior es consistente con lo reportado Méndez-Anca *et al.* (2020) quienes empleando un fotoperiodo de 16:08 (L/O), el medio F2 de Guillard y condiciones similares de cultivo registraron densidades de 9.13×10^6 cel/mL a los cuatro días de cultivo para esta misma especie. En relación al uso de fertilizantes agrícolas, Pereira *et al.* (2017) reportan densidades celulares de *Nannochloropsis* sp. por debajo de 7×10^6 cel/mL con el empleo de fertilizantes como Nutrifoliar completo, Urea, Triple 15 y vitaminas en fotoperiodo de 24:00 (L/O), esto concuerda con los resultados del presente estudio para el caso del uso del Bayfolan con fotoperiodo continuo.

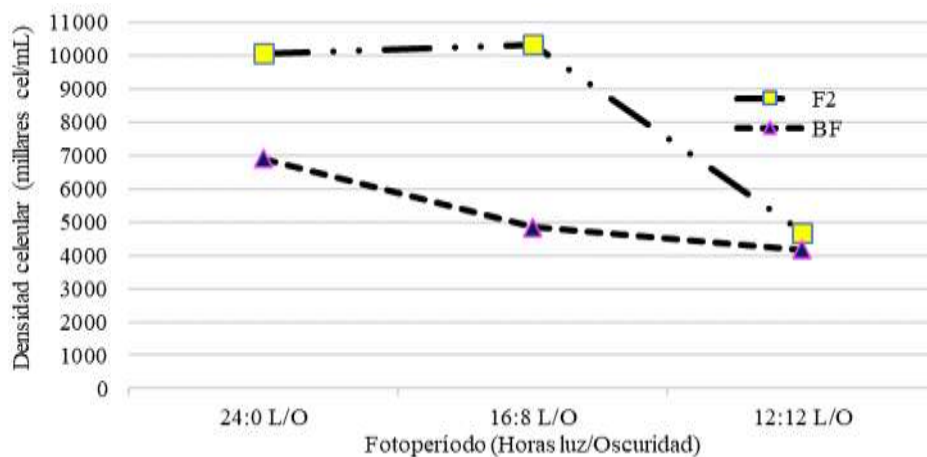


Figura 2. Efecto de interacción entre los medios nutritivos y el fotoperíodo para el cultivo de *N. oculata*.

Con relación a los parámetros de tasa de crecimiento (TCE) y tiempo de duplicación de la biomasa (Td), nuestros resultados indican que el valor más alto para TCE se logró con el medio de cultivo F2 de Guillard y con el fotoperiodo de 24:00 (L/O) siendo este valor de 1.007 div/día, así mismo el menor Td fue para este mismo tratamiento con valor de 0.703 día. El valor más bajo de TCE se registró con el tratamiento F2 de Guillard y fotoperíodo de 12:12 (L/O), en tanto que el mayor Td se alcanzó con el tratamiento de Bayfolan y fotoperíodo de 16:08 (L/O) (Cuadro 3).



Cuadro 3. Parámetros poblacionales promedio en el cultivo *N. oculata* para los diferentes tratamientos.

Medio de cultivo	Fotoperíodo (horas	TCE	Td
	L/O)	μ (div/día)	(día)
*F2	24:00	1.007	0.703
F2	16:08	0.873	0.937
F2	12:12	0.570	1.070
**BF	24:00	0.778	1.136
BF	16:08	0.635	1.909
BF	12:12	0.618	1.120

*F2= F2 de Guillard. **BF= Bayfolan.

Estos resultados muestran ser congruentes a los reportados por Tadeo-Sánchez *et al.* (2014), quienes emplearon fotoperíodos y condiciones ambientales similares a los empleados en este trabajo, obteniendo que la mayor TCE (0.23 div/día) y el menor Td (3 días) con intensidad de luz de 24:00 (L/O) con el medio de cultivo Bold, concluyendo que los resultados en el cultivo de *Nannochloropsis* sp. estuvieron limitados por luz cuando se utilizaron fotoperíodos de 16:08 (L/O) y 12:12 (L/O), esto es consistente con nuestros resultados ya que independientemente del medio de cultivo el fotoperíodo de 12:12 (L/O) registró los menores valores de TCE. Estos resultados quedaron confirmados por Ma *et al.* (2014) quienes encontraron valores de TCE de 0.20 y 0.21 div/día y valores de Td 3.49 y 3.39 día para las especies de *N. oculata* y *N. oceanica*, respectivamente, cultivadas con fotoperíodo de 24:00 (L/O) y medio de cultivo BG-11. Lo anterior difiere de los resultados presentados por Wahidin *et al.* (2013) quienes encontraron que la máxima TCE (0.339 div/día) y Td (0.489 días) con fotoperíodo 18:06 (L/O) y a nivel de intensidad de $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, así mismo, encontraron a un mayor fotoperíodo (24:00 L/O) e intensidad de luz ($200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) los valores de TCE y Td disminuyeron de manera significativa debido a una interrupción inmediata del crecimiento de las microalgas por fotoinhibición. Esto también fue registrado por Richmond (2003) quien observó que una fuerte caída en la tasa de crecimiento de las microalgas en el fotoperíodo largo (24:00 L/O). Es probable que los valores más altos de TCE y más bajos de Td que obtuvimos en este experimento estén relacionados con una intensidad baja de luz $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y con un fotoperíodo de 24:00 (L/O), esto parece coincidir con Spolaore *et al.* (2006) quienes reportan haber alcanzado la producción máxima de *N. oculata* con una



intensidad de luz de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, en este mismo sentido Zhu y Dunfor (2013) encontraron que bajo intensidad de luz de $54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y fotoperíodo de 12:12 (L/O) los valores de TCE y Td fueron de 0.5 div/día y 2.2 días, respectivamente, valores similares a los que reportamos en este estudio con el uso de Bayfolan, así mismo autores como Wahidin *et al.* (2013), Tadeo-Sánchez *et al.* (2014) y Vadiveloo *et al.* (2015) afirman que a baja intensidad de luz blanca y a fotoperíodos altos se genera un aumento en la TCE y Td. Al respecto, Ouyang *et al.* (2015) afirman que, si las intensidades de luz se incrementaran a niveles más elevados, la actividad fotosintética podría sufrir un retardo y/o disminución por inhibición en la producción y foto-oxidación de sus pigmentos.

Conclusiones

El trabajo demuestra que el medio de cultivo F2 de Guillard en combinación de un fotoperíodo de 16:08 (L/O) produce la mayor densidad celular (cel/mL) de la microalga *N. oculata* bajo las condiciones del cultivo del laboratorio de Ciencias del Mar.

El cultivo de *N. oculata* con F2 de Guillard y fotoperíodo de 24:00 (L/O) presenta la mayor TCE y el menor Td.

El cultivo de *N. oculata* con el fertilizante foliar Bayfolan bajo los diferentes fotoperíodos, mantuvo los niveles de densidad celular por debajo de los registrados con el F2 de Guillard.

Agradecimientos

Se agradece al personal del área de producción de microalgas, del laboratorio de Ciencias Marinas del Tecnológico Nacional de México campus Lerma, por su colaboración con esta investigación.

Literatura Citada

Alejos, R., G. Ynga, W. Gaspar y A. Niño. 2021. Manual de desinfección y esterilización del material de laboratorio de alimento vivo: microalgas. *Inf. Inst. Mar Perú*, 48(1):50-66.



- Álvarez, M.Y. 2017. Determinación del contenido proteico de biomasa húmeda y harina de tres especies de microalgas marinas: *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oculata* y *Tetraselmis striata*, en el laboratorio de la UNAM – filial Ilo, durante el 2017. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Moquegua. Moquegua, Perú. 135 p.
- Arbaiza, S., M. Castañeda, O. Advíncula y V. Meza. 2020. Efecto del fotoperiodo y el uso de un nutriente foliar comercial en el crecimiento (biomasa) de *Pyropia* sp. Chi “cochayuyo” bajo condiciones controladas de cultivo. *Anales científicos*, 81(2):347-354.
- Brito, D., A. Castro, J. Colivet, E. Gómez y R. Mora. 2013. Cinética de crecimiento de un cultivo mixto de las microalgas *Hyaloraphidium contortum* y *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Interciencia*, 38(8):604-608.
- Cañavate, H.P. 2014. Funciones de las microalgas en acuicultura. In: *Las algas como recurso. Valorización, aplicaciones industriales y tendencias*. p.193-205. CETMAR.
- Carvajal-Oses, M., J. Chacón-Guzmán y A. Herrera-Ulloa. 2017. Optimización en la producción de la microalga marina *Nannochloropsis oculata* en un fotobiorreactor tubular helicoidal. *Tecnología en Marcha*, 31(2):117-126.
- Chasquibol, C.S. 2021. Revisión de las técnicas de producción de biocombustible a partir de microalgas. [Tesis de licenciatura]. Universidad César Vallejo, Perú. 79 p.
- Chele, P.J. 2021. Cultivo heterotrófico de *Scenedesmus* sp. en biorreactores: Incremento de la fracción lipídica. [Tesis de licenciatura]. Universidad Guayaquil, Ecuador. 51 p.
- Guayara, A.J. 2018. Producción de biomasa microalgal en fotobiorreactores tubulares al aire libre utilizando fertilizantes como medio de cultivo. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 103 p.



- Guillard, R.L. and M.S. Sieracki. 2005. Counting cells in cultures with the light microscope. In: Anderson, R.A. (ed.). Algal culturing techniques. Elsevier 16:239-252.
- Hernández, A.N. 2022. Evaluación del crecimiento y contenido de lípidos de *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis oculata* en diferentes medios de cultivo. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, Mex. 41 p.
- Ma, Y., Z. Wang, C. Yu, Y. Yin and G. Zhou. 2014. Evaluation of the potential of 9 *Nannochloropsis* strains for biodiesel production. Bioresource Technology 167:503-509.
- Méndez-Anca, S., Y. Álvarez, L.E. Sosa y Y.G. Vizcarra. 2020. Concentración celular y biomasa de tres especies de microalgas: *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis oculata* y *Tetraselmis striata*. Rev. Investig. Altoadin 22(2):155-160.
- Osorio, K., K. Palacios, D. Lumbi, P. Hsieh, G.C. Zuniga y A. Aguilar. 2020. Capacidad reproductiva de *Nannochloropsis oculata* en diferentes concentraciones de salinidad y fertilización: una contribución a la bioeconomía acuícola. Bioeconomía y Cambio Climático 6(12):1440-1445.
- Ouyang, Y., Y. Zhao, S. Sun, Ch. Hu y L. Ping. 2015. Effect of light intensity on the capability of different microalgae species for simultaneous biogas upgrading and biogas slurry nutrient reduction. Int. Biodeter.& Bio-degr. 104:157-163.
- Paes, C., G. Faria, N. Tinoco, D. Castro, E. Barbarino and S. Laurenco. 2016. Growth, nutrient uptake and chemical composition of *Chlorella* sp. and *Nannochloropsis oculata* under nitrogen starvation. Lat. Am. J. Aquat. Res. 44(2): 275- 292.
- Panta, V.R., G.A: Macay, Z.E. Moncayo y C.J. Vélez. 2016. Crecimiento de las microalgas *Chaetoceros gracilis* e *Isochrysis galbana* con fertilizantes agrícolas, en laboratorio. La Técnica (16):44-55.



- Parmar, A., N.K. Singh, A. Pandey, E. Gnansounou and D. Madamwar. 2011. Cyanobacteria and microalgae: a positive prospect for biofuels. *Bioresource Technology* 102(22):10163-10172.
- Pereira, G. F., R.A. Jáuregui, B.A. Devia y R.J. Rojas. 2017. Cultivo de microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis* sp. para alimentación de larvas de peces marinos. *Mutis* 7(2):81-85.
- Piña, P., A. Medina, M. Nieves, S. Leal, J. López -Elías y M. Guerrero. 2007. Cultivos de cuatro especies de microalgas con diferentes fertilizantes utilizados en acuicultura. *Investigaciones marinas* 28(3):225-236.
- Prieto, M., M. Mogollon, A. Castro y L. Sierra. 2005. Efecto del medio y condiciones de cultivo en la productividad de tres diatomeas marinas con potencial acuícola. *MVZ- Córdoba* 10(1): 544-554.
- Spolaore, P., C. Joannis-Cassan, E. Duran and A. Isambert. 2006. Optimization of *Nannochloropsis oculata* growth using the response surface method. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81:1049-1056.
- Tadeo-Sánchez, L., I. Puentes-Cárdenas, C. Flores-Ortiz, D. Sánchez-García, G. Pineda-Camacho y E. Cristiani-Urbina. 2014. Producción de biodiésel por *Nannochloropsis* sp. bajo diferentes condiciones ambientales. *Rev. Cubana de Química* 26(3):276-298.
- Uribe, T. E. 1994. Cultivo de microalgas. En: *Cultivo de peces marinos*. Chile: FACIMAR- UCN. 95-137 pp.
- Vadiveloo, A., N.R. Moheimani, J.J. Cosgrove, P. Bahri and D. Parlevliet. 2015. Effect of different light spectra on the growth and productivity of acclimated *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae). *Algal Research* 8:121-127.



- Valenzuela-Espinoza, E., F. Lafarga-De La Cruz., R. Millán-Núñez. y F. Núñez-Cebrero. 2005. Crecimiento, consumo de nutrientes y composición proximal de *Rhodomonas* sp cultivada con medio F/2 y fertilizantes agrícolas. *Ciencias Marinas* 31(1):79–89.
- Wahidin, S., A. Idris and S.S. Muhammad. 2013. The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae *Nannochloropsis* sp. *Bioresource Technology* 129:7-11.
- Ynga, G. y A. Niño. 2019. Manual para producción de microalgas marinas en el Instituto del Mar del Perú. *Inf. Inst. Mar Perú* 46(1):5-16.
- Zhu, Y. y N.T. Dunford. 2013. Growth and Biomass Characteristics of *Picochlorum oklahomensis* and *Nannochloropsis oculata*. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 90:841-849.
- Zuang, L.L., D. Yu, J. Zhang, F. Liu, Y.H. Wu, T.Y. Zhang, G.H. Dao, *et al.* 2018. The characteristics and influencing factors of the attached microalgae cultivation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 94:1110-1119.



ACONDICIONAMIENTO ALIMENTICIO EN CAUTIVERIO DE JUVENILES DE SARGO *Archosargus probatocephalus*, WALBAUM, 1792, (TELEOSTEI: SPARIDAE)

Ma. de la Luz Merino Contreras^{294*}, Froylán Sánchez Morales²⁹⁴, Ma. de Lourdes Jiménez Badillo²⁹⁵,
Carlos Alfonso Álvarez González²⁹⁶ e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi²⁹⁴

Resumen

El objetivo del presente estudio fue acondicionar a un lote de juveniles de sargo a alimentarse con una dieta seca con 40% de proteínas y 15% de lípidos, evaluando su crecimiento y eficiencia alimenticia. Se realizó la aclimatación alimenticia en cautiverio de un lote de 100 juveniles de sargo *A. probatocephalus*, capturados en la Laguna de Alvarado, Veracruz, México, mantenido por 120 días en un sistema de recirculación de agua a una salinidad de 10 psu. La aclimatación alimenticia inició con trozos de pescado y ostiones frescos los primeros cinco días después de su captura, gradualmente fue incorporado un alimento balanceado semihúmedo con un 45% de proteína y 10% de lípidos por otros cinco días; posteriormente se suministró un alimento balanceado seco con 40% de proteínas y 15% de lípidos con el que fueron alimentados por 100 días. Se realizaron biometrías cada 20 días registrándose la longitud total, peso y supervivencia. Transcurridos los 100 días de cultivo, se registró un peso promedio final de 128.6 ± 5 g y una talla promedio final de 20.2 ± 0.7 cm, con un incremento de peso al día de 0.66 g. y un incremento en talla de 0.06 cm/día. Se calcularon las variables de crecimiento y eficiencia alimenticia. Los resultados reflejan que la dieta fue asimilada adecuadamente por los organismos con un valor de peso ganado de 51.32%, registrándose un valor de factor de conversión alimenticia de 0.84. Se realizaron análisis proximales de los organismos, observándose un incremento de la concentración de proteína cruda en los organismos al final del experimento. Se concluye que es posible utilizar una dieta con 40% de proteína y 15% de lípidos para el acondicionamiento alimenticio de juveniles de sargo en cautiverio.

²⁹⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *mariadelaluzmerino@bdelrio.tecnm.mx

²⁹⁵ Instituto de Ecología y pesquerías, Universidad Veracruzana.

²⁹⁶ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Palabras clave: dieta artificial, cultivo, adaptación a cautiverio

Introducción

El sargo *Archosargus probatocephalus* (Walbaum, 1792), pez marino costero subtropical, que ingresa a aguas salobres, se distribuye en las costas del Océano Atlántico occidental (Bester & Robins, 2005), desde Nueva Escocia en Canadá hasta el Golfo de México, (GSMFC, 2006). Es un componente importante de las pesquerías comerciales y recreativas-deportivas a lo largo de la costa Atlántica de EUA (Figueira & Coleman, 2010). En 2012, se consideró al *A. probatocephalus* como una especie viable para el desarrollo de la maricultura en la región, dentro del Programa Nacional de la Red Nacional de Investigación e Información en Pesca y Acuicultura RIINIPA-INAPESCA (2012). Tucker (1998; 2004), estableció que es una especie con potencial en acuicultura, ya que presenta una buena adaptabilidad al cautiverio, tiene un amplio espectro de alimentación, soporta bien las condiciones de hacinamiento que se presentan en los cultivos, y se han producido crías en laboratorio (Tucker & Barbera, 1987; Basurto & Cruz, 2000; Merino-Contreras *et al.*, 2018). Es una especie de rápido crecimiento en el inicio de su desarrollo, alcanza la talla comercial en el primer año de edad, puede llegar a pesar más de 14 kg y alcanzar una longitud de 80 cm y su carne blanca es de excelente calidad (Beckman *et al.*, 1991; Tucker, 1998, 2004). Posee un enorme potencial socioeconómico, siendo una alternativa en la producción de peces marinos, produciendo proteína de alta calidad a bajo costo, para la población en general, generando así mismo fuentes de empleo (Tucker, 2004; Álvarez-Vela, 2009).

Uno de los aspectos más importantes en la nutrición de los peces en cautiverio, es el acondicionamiento alimenticio con dietas prácticas que cubran principalmente sus requerimientos esenciales en proteínas y lípidos. Las proteínas y lípidos son los mayores componentes de los alimentos balanceados y los más costosos (Luo *et al.*, 2004; Dong *et al.*, 2014), dan el máximo crecimiento y mejor beneficio económico (El-Husseiny *et al.*, 2013; Mongile *et al.*, 2014). Existen algunos reportes hechos por Tucker (1987), que señalan que un lote de sargos alcanzó 450 g a los doce meses de cultivo, con un incremento en peso de 1.9 g/día, alimentados *ad libitum* con alimento comercial de trucha, conteniendo 45% de proteína y 12% de lípidos. Así mismo Tucker (2004), reporta que alimentó juveniles y adultos de sargo con pescado crudo e hígado de pollo cocido, espinacas congeladas, algas frescas y una mezcla de alimentos comerciales para trucha y salmón, obteniendo pesos promedios de 550 g en un año de



cultivo. En el mismo sentido, Merino-Contreras *et al.* (2018), reportan que un lote de sargos alimentados *ad libitum* con alimento balanceado semihúmedo con 45% de proteína y 10% de lípidos, tuvo un incremento en longitud patrón promedio (0.064 ± 0.02 cm/día) y peso promedio (1.97 ± 0.4 g/día). Sin embargo, los requerimientos en proteínas y lípidos de juveniles de sargo se desconocen, por lo que, el objetivo del presente estudio fue acondicionar a un lote de juveniles de sargo a alimentarse con una dieta seca con 40% de proteínas y 15% de lípidos, evaluando su crecimiento y eficiencia alimenticia; esto sentará las bases para evaluaciones posteriores de dietas prácticas con diferentes niveles de proteína y lípidos, para determinar los requerimientos esenciales que permitan un adecuado crecimiento de los sargos en cultivo.

Materiales y Métodos

a) Obtención de organismos y elaboración de dieta

Se capturaron del sistema Lagunar de Alvarado, en la localidad de Punta Grande ($18^{\circ}47'47.41''$ N, $95^{\circ}49.5'19''$ O), Alvarado, Veracruz, Méx., 100 juveniles de sargo (*A. probatocephalus*) con peso y longitud promedio de 62 ± 2.1 g y 13.6 ± 0.6 cm respectivamente. Los organismos fueron transportados en contenedores con aireación al laboratorio de Acuicultura del Instituto Tecnológico de Boca del Río, donde se les administró un baño profiláctico con peróxido de hidrógeno a 400 ppm por 30 min y agua dulce. Posteriormente fueron colocados en un sistema de recirculación en donde permanecieron durante el experimento. Dicho sistema estuvo conformado por dos tinas de fibra de vidrio con capacidad de 23 m³, con un filtro biológico de 7 m³. Los peces se colocaron a una densidad de un organismo por m³. El seguimiento de la calidad del agua del sistema, se llevó a cabo con una sonda multiparamétrica (Hanna HI 9828), manteniendo los parámetros dentro de los siguientes rangos: salinidad 10 ± 1 psu, temperatura de $25.5 \pm 3^{\circ}$ C, oxígeno disuelto 4.5 ± 0.3 mg/L y amonio total de 0.1 mg/L. Los peces se aclimataron al cautiverio para su alimentación administrando inicialmente *ad libitum* trozos de pescado y ostión frescos, por cinco días y gradualmente se cambió a alimento balanceado semihúmedo con 45% de proteína y 12% de lípidos, el cual estuvo conformado por alimento balanceado de iniciación para tilapia (Purina), filete de pescado fresco, calamar, lecitina de soya, aceite de pescado, alginato de sodio y premezcla de vitaminas y minerales, posteriormente y de forma gradual se sustituyó la dieta



semihúmeda por la dieta seca evaluada, que contenía 40% de proteínas y 15% de lípidos. Los ingredientes y la composición proximal se resumen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ingredientes y composición proximal de la dieta seca empleada para acondicionar juveniles de sargo *A. probatocephalus*.

Ingredientes g (100 g dieta) ⁻¹	% de inclusión
Caseína ^a	38.07
Harina integral de sorgo ^c	30.13
Harina de sardina ^b	10.0
Aceite de pescado ^b	12.19
Lecitina de soya ^b	4.0
Alginato de sodio ^b	3.0
L-Lisina ^e	0.5
L-Metionina ^e	0.5
Premezcla de vitaminas ^d	2
Premezcla de minerales ^d	1.5
Ácido ascórbico ^e	0.1
Betaína ^e	0.04
Composición proximal (% de materia seca, excepto humedad, \pm SD)	
Proteína cruda	43.0 \pm 1.9
Extracto etéreo	17.8 \pm 0.8
Ceniza	10.2 \pm 0.6
Fibra	1.1 \pm 0.1
NFE ^f	17.9
Energía bruta (cal g ⁻¹)	6053 \pm 458
Humedad	7.9 \pm 0.1

^a Hammar quality Casein, Research Organic No. catálogo 1082C

^b Proteínas marinas y Agropecuarias S.A.C.V. Guadalajara, Jalisco, México

^c Galmex Comercializadora de insumos agrícolas S.A.C.V, Villahermosa, Tabasco

^d Rovimix L-EC Roche

^e Sigma-Aldrich

^f Extracto Libre de Nitrógeno calculado como 100- (% proteína+% de extracto etéreo+% Cenizas+% Fibra).



Para la preparación de las dietas, los ingredientes secos se pulverizaron y tamizaron a través de una malla de 0.5 mm, se adicionó el aceite de pescado y la lecitina de soya, y se agregó 40% en peso de agua destilada. Todos los ingredientes fueron mezclados durante 10 min en una batidora Kitchen Aid (KS55, Hawaii, EUA). La manufactura de los pellets se realizó al pasar la masa homogénea en un molino para carne (Toro Rey M-22 RI, DF. México), y posteriormente se secaron en un horno (Coriat HG 25A, DF. México) a 50°C durante 24 h, en seguida fueron tamizados manualmente en diferentes tamaños. Las dietas fueron almacenadas en un congelador (Environmental equipment 10310, Cincinnati, Ohio, USA) a -21°C hasta su uso. Se tomaron muestras de la dieta y de los peces del ensayo, al inicio y al final del experimento, las cuales fueron almacenadas a -21°C en un congelador (Environmental equipment 10310, Cincinnati, Ohio, USA), para posteriormente analizar por triplicado su composición proximal; se determinó el porcentaje de materia seca, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas y extracto libre de nitrógeno con los métodos de la AOAC (2000), la proteína cruda y la energía bruta se determinaron con un Analizador elemental Flash 2000 de CHNS/O (Thermo Fisher Scientific, United Kingdom). Se realizaron biometrías de los organismos cada 20 días, anestesiados previamente con Eugenol 250 ppm. Se registró el peso húmedo en gramos con una báscula digital (Ohaus® HH 120, precisión 120 g ± 0.1 g, Shenzhen, China) y la longitud total en centímetros por medio de un vernier digital (EXEL CR2032, precisión 0.1 mm, China), así como la supervivencia en porcentaje [(número final de peces/número inicial de peces) *100]. El experimento tuvo una duración de 100 días.

b) Variables de crecimiento y eficiencia alimenticia

A partir de los datos biométricos registrados de los peces del ensayo, se determinaron las siguientes variables de crecimiento: tasa específica de crecimiento (SGR), peso diario ganado (ADG), peso ganado (WG) y factor de condición (FC), de acuerdo a Wang *et al.*, (2005) y Amirkolaie *et al.*, (2005), con las siguientes fórmulas:

Tasa específica de crecimiento (SGR) = $[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{días}] * 100$.

Peso diario ganado (ADG) g día^{-1} = $(\text{promedio del peso final} - \text{promedio del peso inicial}) / \text{número de días}$

Factor de condición (FC) = $(\text{peso promedio final} - \text{longitud promedio del cuerpo final}^3) * 100$.

Peso ganado (WG %) $\text{g} = [(\text{Peso promedio final} - \text{Peso promedio inicial}) / \text{Peso promedio final}] * 100$.

A partir de los datos biométricos registrados y las determinaciones de los análisis proximales de los peces, se determinaron también los siguientes parámetros de eficiencia alimenticia: ingesta diaria de



alimento (DFI), factor de conversión alimenticia (FCR), tasa de eficiencia proteica (PER), valor de proteína productiva (PPV), energía bruta retenida (GER), energía diaria ganada (DEG), tasa de proteína diaria ganada (DPG) y tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR), de acuerdo a Wang *et al.*, (2005), Amirkolaie *et al.*, (2005), con las siguientes fórmulas:

Ingesta diaria de alimento (DFI) g = (alimento consumido g de material seca) / número de peces/ día.

Factor de conversión alimenticia (FCR)= (alimento consumido g de material seca / peso ganado en los peces en g).

Tasa de eficiencia proteica (PER) g = (Peso húmedo ganado en los peces g/ consumo de proteína g).

Valor de proteína productiva (PPV) = (% de proteína final del cuerpo x peso del cuerpo final) –(% inicial de la proteína del cuerpo x peso del cuerpo inicial / (total del consumo de proteína (g) x peso ganado (g) x100).

Energía bruta retenida (GER) kJ = (Energía ganada en los peces, kJ) /consumo de energía, kJ) x 100.

Energía diaria ganada (DEG) kJ = (consumo de energía, g)/ tiempo (días) x N (número final de peces).

Tasa de proteína diaria (DPG)= (consumo de proteína, g)/ tiempo (días) x N (número final de peces).

Tasa absoluta de alimentación= Cantidad de alimento consumido/100

Tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR)= Tasa absoluta de alimentación x % lípidos/100.

Análisis estadístico

Se verificó la normalidad de los datos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homocedasticidad con la prueba de Levene. Los datos de composición proximal de los peces, que no cumplieron con los supuestos de la estadística paramétrica, fueron analizados con la prueba de Kruskal-Wallis. Las diferencias se consideraron significativas a $P < 0.05$, en el análisis se utilizó el programa Statistica (v 7.1, Stat Soft, Tulsa, Ok, USA).

Resultados y Discusión

El período de pre-acondicionamiento de los organismos duró 15 días, con una mortalidad del 20%, sobreviviendo 80 de los 100 organismos capturados. Durante la adaptación al consumo de alimento balanceado seco, se presentó una mortalidad del 9% en los organismos. Transcurridos los 100 días de cultivo, se registró un peso promedio final de 128.6 ± 5 g y una talla promedio final de 20.2 ± 0.7 cm,



como se señala en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Peso húmedo (g) y longitud total (cm) promedio de juveniles de sargo (*A. probatocephalus*), alimentados 100 días con la dieta (promedio \pm SD).

Biometría (días)	Peso (g)	Longitud total (cm)
Inicial	62.6 \pm 4	13.6 \pm 0.6
20	75.7 \pm 3.5	14.8 \pm 0.3
40	90.2 \pm 3.2	15.7 \pm 0.6
60	104.5 \pm 4	16.2 \pm 0.8
80	117.2 \pm 2.3	18.3 \pm 0.3
100	128.6 \pm 5	20.2 \pm 0.7

Se considera que los juveniles de sargo crecieron de manera adecuada con la dieta suministrada con un 40% de proteína, dado que la proteína constituye en el cultivo de peces el elemento más caro, es recomendable incorporar el nivel de proteína mínimo necesario para cubrir la demanda de mantenimiento y crecimiento, y no alterar la calidad del agua (Li *et al.*, 2012). Cualquier exceso se considera inútil, tanto biológica como económicamente, ya que es importante minimizar la cantidad de proteína utilizada para la energía (Ahmed & Maqbool, 2017), este nivel de proteína es similar al reportado para los espáridos como la dorada *S. aurata* (Sabaut & Luquet, 1973; Lupastsch *et al.*, 2003), el dentón común *Dentex dentex* (Espinós *et al.*, 2003), la brema manchada *Pagellus bogaraveo* (Silva *et al.*, 2006), en el besugo *Diplodus puntazzo* (Coutinho *et al.*, 2012), y en el porgy rojo *Pagrus pagrus* (Schuchardt *et al.*, 2008). Cabe señalar que este requerimiento de proteína es más alto de lo que se esperaría para peces omnívoros como lo es el sargo, al igual que la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Siddiqui *et al.*, 1998), o el bagre *Ictalurus punctatus* (Robinson & Robinette, 2010) y los espárido besugo blanco *Diplodus sargus* (Sá *et al.*, 2008) y el besugo bandeado *D. vulgaris* (Ozório *et al.*, 2009; Bulut *et al.*, 2014), los cuales tienen requerimientos menores. La capacidad de procesar niveles altos de lípidos en la dieta depende del hábito alimenticio de la especie, ya que generalmente los peces carnívoros pueden usar niveles de lípidos más altos que los peces omnívoros o herbívoros (Seiliez *et al.*, 2006). De tal manera en el presente estudio, se observó un buen crecimiento de los organismos alimentados con la dieta que contenían 15% de lípidos, lo que es similar a los requerimientos de especies afines como el dentón común *D. dentex* de 12-17% de lípidos (Espinós *et*



al., 2003) y el porgy rojo *P. pagrus*, que requiere 15% de lípidos (Schuchardt *et al.*, 2008).

Referente a las variables de crecimiento y de eficiencia alimenticia se registraron valores altos que denotan un buen aprovechamiento de la dieta suministrada, como se señala en el Cuadro 3. La dieta no afectó sustancialmente la supervivencia de los peces, ya que solo se registró una mortandad del 9% de los organismos durante el experimento.

Cuadro 3. Variables de crecimiento, supervivencia y eficiencia alimenticia de juveniles de sargo (*A. probatocephalus*) alimentados con la dieta (promedio \pm SD).

Variables	Valores
SGR (% día ⁻¹) ¹	4.8 \pm 0.2
ADG (g día ⁻¹) ²	0.64 \pm 0.0
FC ³	2 \pm 0.4
WG (%) ⁴	51.32
Supervivencia (%) ⁵	91
DFI ⁶	0.98 \pm 0.0
FCR ⁷	0.84 \pm 0.3
GER (%) ⁸	25 \pm 2
DEG (kJ fish ⁻¹) ⁹	12.6 \pm 2
ALFR ¹⁰	0.017 \pm 0.0

¹Tasa específica de crecimiento (SGR), ²Peso diario ganado (ADG), ³Factor de condición (FC), ⁴Peso ganado (WG %), ⁵Supervivencia (%), ⁶Ingesta diaria de alimento (DFI), ⁷Factor de conversión alimenticia (FCR), ⁸Energía bruta retenida (GER), ⁹Energía diaria ganada (DEG), ¹⁰ Tasa absoluta de alimentación de lípidos (ALFR).

En algunos casos, cuando se excede el requerimiento de proteína, la tasa de crecimiento se mantiene constante o disminuye, debido a que la proteína dietética se usa para metabolizar el exceso de aminoácidos absorbido o bien se presenta la acumulación de lípidos en los tejidos (Jobling, 2012), esto no ocurrió en el sargo, ya que generalmente el valor de la tasa específica de crecimiento (SGR) fue similar a lo reportado para el besugo bandeado *D. vulgaris* (Bulut *et al.*, 2014) y en la dorada de aleta negra *Acanthopagrus serda* (Rahim *et al.*, 2017).

Los valores de ADG y PER registrados en el presente estudio son bajos en comparación con lo obtenido por otros autores en otras especies como la dorada *S. aurata* (Robaina *et al.*, 1997), y en el



besugo bandeado *D. vulgaris* (Bulut *et al.*, 2014), la diferencia en estos resultados podría deberse a la composición de aminoácidos de las dietas semipurificadas, ya que se sabe que la caseína está limitada en arginina para muchas especies estudiadas (Chen & Tsay, 1994), que pudiera ser el caso del sargo, por lo que se recomienda utilizar otras fuentes de proteína para futuras investigaciones. Los valores PPV registrados indican que la asimilación de proteínas fue relativamente alta, similar a lo reportado para el besugo blanco *D. sargus* (Ozório *et al.*, 2006; Shymaa *et al.*, 2011). En este aspecto, se debe prestar especial atención al índice de conversión de alimento (FCR), que, en nuestro estudio, registró un valor muy adecuado para los peces alimentados con la dieta con 40% de proteína. Este valor fue similar a los reportados por diversos autores en otras especies de peces marinos (Maldonado-García *et al.*, 2012; Bulut *et al.*, 2014).

En el porcentaje de proteína cruda registrada en los organismos alimentados con la dieta fue de 64.3 \pm 1.7%, registrando diferencia significativa con el valor de proteína cruda registrada en los organismos al inicio del experimento, de igual manera, se registró diferencia significativa en el porcentaje de extracto etéreo, siendo menor en los peces alimentados con la dieta evaluada y un porcentaje mayor para la ceniza (12.9 \pm 0.8), como se señala en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Composición bioquímica (% de materia seca, excepto humedad) del cuerpo de juveniles de sargo alimentados con la dieta (promedio \pm SD) al inicio y final del experimento.

Análisis (%)	Inicio	Final
Proteína cruda	55.3 \pm 0.3 ^a	64.3 \pm 1.7 ^b
Extracto etéreo	24 \pm 2.6 ^b	20.8 \pm 0.8 ^a
Ceniza	10.9 \pm 0.4 ^b	12.9 \pm 0.8 ^a
Energía bruta (cal g ⁻¹)	6138 \pm 214	6179 \pm 174
Humedad	73.5 \pm 0.6 ^a	74.8 \pm 0.4 ^a
NFE ¹	9.8	2

Valores promedios en la misma fila con superíndices diferentes presentan diferencia significativa ($P < 0.05$), Tukey. ¹Extracto Libre de Nitrógeno calculado como 100- (% proteína+ % de extracto etéreo+ % Cenizas).

Se sabe que, para la elaboración de dietas prácticas, es importante considerar lo consumido por la especie en su medio natural, en este sentido cabe señalar que, los juveniles de sargo consumen principalmente ostrácodos, gammáridos, misidáceos, copépodos, gusanos poliquetos y briozoos (Sedberry, 1987) y los de mayor talla se alimentan de organismos de caparazón duro como crustáceos,



moluscos bivalvos, braquiuros, equinodermos, percebes, y de pequeños peces (Jennings, 1985). Los adultos se alimentan principalmente de invertebrados y algas (Castillo–Rivera *et al.*, 2007). Otros estudios han mostrado que, la capacidad de consumir material vegetal por *A. probatocephalus*, se relaciona con adaptaciones morfológicas en la dentición y en su longitud relativa intestinal promedio, que es de 128% (Castillo–Rivera *et al.*, 2007). Así mismo, cuenta con dientes incisivos capaces de cortar y con una serie de molares para triturar, características típicas de herbívoros (Jobling, 1995). Su estómago en forma de saco musculoso, le permite triturar a sus presas, presenta ciegos pilóricos (en promedio 6), ambas estructuras son típicas de peces carnívoros (Luczkovich & Stellwag, 1993). Es de suma importancia considerar estas características de la especie en la selección de ingredientes para la elaboración de dietas prácticas, una vez que se establezcan los requerimientos esenciales de proteínas y lípidos para el sargo.

Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se puede concluir que es posible acondicionar a consumir alimentos balanceados secos a juveniles de sargo en un período de 20 días y que los organismos presentan tasas de crecimiento adecuadas con una dieta con 40% de proteínas y 15% de lípidos, así como una tasa de supervivencia del 91%, siendo una propuesta viable para la alimentación de la especie en condiciones de cultivo.

Literatura Citada

- Ahmed, I. & A. Maqbool. 2017. Effects of dietary protein levels on the growth, feed utilization and haemato-biochemical parameters of freshwater fish, *Cyprinus carpio* var. *specularis*. *Fish Aqua Journal*. 8:187-198.
- Álvarez Vela, A.C. 2009. Análisis de las pesquerías de la laguna de Tamiahua, México aplicando un enfoque espacio-temporal. Tesis maestría, Instituto de Ciencias marinas y pesquerías, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Ver. México. 121 pp.



- Amirkolaie, A.K., J.L. Leenhouwers, J.A.J Verreth and J.W. Schrama. 2005. Type of dietary fibre (soluble *versus* insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquacult Res.* 36: 1157-1166.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis, 17 th edition. Arlington, Virginia, USA. 2200 pp.
- Basurto-Hernández, J.M. & L. Cruz-Barrera. 2000. Estudio preliminar sobre la inducción al desove de sargo *Archosargus probatocephalus*; (Walbaum, 1972), mediante el uso de gonadotropina coriónica humana, en el Instituto Tecnológico del Mar de Boca del Río, Veracruz. Tesis Licenciatura ITMAR No.1. Boca del Río, Veracruz. México. 75 pp.
- Beckman, D.W., A.L Stanley, J.H Render and C.A. Wilson. 1991. Age and growth-rate estimation of sheepshead, *Archosargus probatocephalus* in Louisiana waters using otoliths. *Fishery Bulletin.* 89: 1-8.
- Bester and Robins. 2005. Biological profiles: sheepshead. *Ichthyology: Education-Biological profiles.*
- Florida Museum of Natural History University of Florida
www.flmnh.ufl.edu/fish/Gallery/Descript/Sheepshead/Sheepshead.html. (consultado el 15 de junio de 2016).
- Butul, M., M. Yaguit, S. Ergün, O.S. Kesbiç, U. Acar, N. Gültepe, M. Karga, S. Yilmaz and D. Güron. 2014. Evaluation of dietary protein and lipid requirements of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture International.* 22: 965-973.
- Castillo-Rivera, M., R. Zárate-Hernández y I.A. Salgado-Ugarte. 2007. Hábitos alimenticios de juveniles y adultos de *Archosargus probatocephalus* (Teleostei: Sparidae) en un estuario tropical de Veracruz. *Hidrobiológica.* 17(2): 119-126.



- Chen, H.Y., and J.C. Tsay. 1994. Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. *Aquaculture*. 119: 265-271.
- Coutinho, F., H. Peres, I. Guerreiro, P. Pousão-Ferreira, y A. Oliva-Teles. 2012. Dietary protein requirement of sharp snout sea bream (*Diplodus puntazzo*, Cetti 1777) juveniles. *Aquaculture*. 356: 391-397.
- Dong, G., X. Zhu, H. Ren, B. Nie, L. Chen, H. Li, and B. Yan. 2014. Effects of oxidized fish oil intake on tissue lipid metabolism and fatty acid composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture Research*. 45: 1867-1880.
- El-Husseiny, O.M., A.K.I Elhammady and S.M. Tolba. 2013. Lipid and protein utilization by gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) under flowthrough system with regard to environmental impact. *J Arabian Aquaculture Soc*. 8: 307-320.
- Espinos, F.J., A. Tomas, L.M. Pérez, S. Balasch, and M. Jover. 2003. Growth of dentex fingerlings (*Dentex dentex*) fed diets containing different levels of protein and lipid. *Aquaculture*. 218: 479-490.
- Figueira, W.F. and F.C. Coleman. 2010. Comparing landing of United States Recreational Fishery Sectors. *Bulletin of Marine Science*. 86(3): 49-514.
- Gulf States Marine Fisheries Commission (GSMFC). 2006. The sheepshead fishery of The Gulf of Mexico, United States: A Fisheries profile. Pub. No. 143. Ocean Spring, Mississippi, USA. 143 pp.
- Jennings, C.A. 1985. Species profiles, life histories and environmental requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of Mexico) sheepshead. Fish and Wildlife Service Biological Report 82. U.S. Army Corps of Engineers Vicksburg, Mississippi, USA. 115 pp.



Jobling, M. 1995. Environmental Biology of Fishes. Chapman & Hall. London, England. 455 pp.

Jobling, M. 2012. Nutrient requirement of fish and shrimp national Research Council (NRC). The National Academic Press, Washington D.C., USA. 376 pp.

Li, X., Y. Jiang, W. Liu, and X. Ge. 2012. Protein-sparing effect of dietary lipid in practical diets for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings: effects on digestive and metabolic responses. Fish Physiol Biochem. 38: 529-541.

Luczkovich, J.J. and E.J. Stellwag. 1993. Isolation of cellulolytic microbes from the intestinal tract of the pinfish, *Lagodon rhomboides*: Size-related changes in diet and microbial abundance. Marine Biology. 116(3): 381-388.

Luo, Z., Y.J. Liu, K.S Mai., L.X Tian, D.H Liu and Y. Tan. 2004. Optimal dietary protein requirement of grouper, *Epinephelus coioides* juveniles fed isoenergetic diets in floating net cages. Aquaculture Nutrition. 10(4): 247-252.

Lupatsch, I., G.W. Kissil and D. Sklan. 2003. Defining energy and protein requirements of gilthead seabream (*Sparus aurata*) to optimize feeds and feeding regimes. Isr J Aquac Bamidgeh 55(4): 243-257.

Maldonado-García, M., J. Rodríguez-Romero, M. Reyes-Becerril, C.A Álvarez-González, R. Civera-Cerecedo y M. Spanopoulos. 2012. Effect of varying dietary protein levels on growth, feeding efficiency, and proximate composition of yellow snapper, *Lutjanus argentiventris* (Peters, 1869). Lat Am Aquat Res 40(4): 1017-1025.

Merino-Contreras, M.L., F. Sánchez-Morales, M.L. Jiménez- Badillo, C.A. Álvarez- González, C.G. Meiners-Mandujano y E. Peña-Marín. 2018. Aclimatación en cautiverio del sargo *Archosargus probatocephalus* (Perciformes: Sparidae). Ecosist Recur Agropec. 5(15): 511-521.



- Mongile, V., A. Bonaldo, R. Fontanilla, L. Mariani, A. Badiani, E. Bonvini and L. Parma. 2014. Effect of dietary lipid level on growth and feed utilization of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) reared at Mediterranean summer temperature. *Italian Journal Anim. Sci.*13: 30-34.
- Ozório, R.O.A., L.M.P Valente, P. Pousao-Ferreira y A. Oliva-Teles. 2006. Growth performance and body composition of White seabream (*Diplodus sargus*) juveniles fed diets with different protein and lipid levels. *Aquaculture Research.* 37: 255-263.
- Ozório, R.O.A., L.M.P Valente, S. Carriera, P. Pousao-Ferreira, A. Damaceno-Oliveira, C. Escorcio y Oliva-Teles. 2009. Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles. *Aquaculture Nutrition.*15: 85-93.
- Rahim, A., G. Abbas, M. Naeem, S. Ferrando, L. Gallus, M. Hafeezur-Rehman, A. Ghaffar and A. Mateen. 2017. Effect of different dietary oils on growth, feed conversion and body composition of Juvenile black fin Sea Bream, *Acanthopagrus berda* (Forsskal, 1775). *Pakistan Journal Zool.* 49(2): 655-661.
- RIINIPA-INAPESCA. 2012. Red Nacional de Información e Investigación en pesca y acuicultura, Región III Golfo de México Norte, Inapesca.gob.mx. (consultado 14 agosto de 2016).
- Robaina, L., F.J Moyano, M.S Izquierdo, J. Socorro, J.M Vergara and D. Montero. 1997. Corn gluten, meat, and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream *Sparus aurata*: Nutritional and histological implications. *Aquaculture.*157: 347-359.
- Robinson, E.H. and R.H. Robinette. 2010. Effects of dietary protein level and feeding regime on growth and on fattiness of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Journal of Applied Aquaculture.* 3(1-2):67-90
- Sá, R., P. Pousão-Ferreira, and A. Olive-Teles. 2008. Dietary protein requirement of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles. *Aquaculture Nutrition.* 14:309-317.



- Sabaut, J.J. and P. Luquet. 1973. Nutritional requirement of the gilthead bream *Chrysophrys aurata*. Quantitative protein requirements. *Mar Biol.* 18:50-54.
- Schuchardt, D., J.M. Vergara, H. Fernández-Palacios, C.T. Kalinowski, C.M. Hernández-Cruz, M.S. Izquierdo and L. Robaina. 2008. Effects of different dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of the red porgy (*Pagrus pagrus*) fingerlings. *Aquaculture Nutrition.* 14:1-9.
- Sedberry, G. R. 1987. Feeding habits of sheepshead, *Archosargus probatocephalus*, in offshore reef habits of the southeastern continental shelf. *Northeast Gulf Sci.* 9: 29-37.
- Seiliez, I., J.S Bruant, J.L Zambonino-Infante, S. Kaushik, and P. Bergot. 2006. Effect of dietary phospholipid level on the development of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) larvae fed a compound diet. *Aquaculture Nutrition.* 12: 372-378.
- Shymaa, M., Shalaby, Y. Ashraf, El-Dakar, M. Olfat, Wahby, P. Imad and Saoud. 2011. Growth, feed utilization and body composition of white sea bream *Diplodus sargus* juveniles, offered diets with various protein and energy levels. *Mar. Sci.* 22(2): 3-17.
- Siddiqui, A.Q., S.M Howlander and A.A. Adam. 1998. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture.* 70(1-2): 63-73.
- Silva, P., C.P. Andrade, V.F.A. Timoteo, E. Rocha, and M.P.L. Valente. 2006. Dietary protein, growth, nutrient utilization and body composition of juvenile blackspot seabream, *Pagellus bogaraveo* (Brunnich), *Aquaculture Research.* 37: 1007-1014
- Tucker, J.W. Jr. 1998. *Marine fish culture.* Kluwer Academic Publishers. Massachusetts, USA. 750 pp.
- Tucker, J.W. Jr. 2004. Sheepshead, a potential American sea bream for farming. *World Aquaculture Magazine.* 35: 48-68.



Tucker, J.W. Jr. and P.A. Barbera. 1987. Laboratory of spawning of shepshaed. *The Progressive Fish Culturist*. 49(3): 229-230.

Wang, J.T., Y.J. Liu, L.X. Tian, K.S Mai, Z.Y. Du, Y. Wang, and H.J. Yang. 2005. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*. 249: 439-447.



EVALUACIÓN DEL CULTIVO COMERCIAL DEL CARACOL TEGOGOLO

Pomacea catemacensis (Baker, 1922), GASTROPODA: AMPULLARIIDAE

Ma. De la Luz Merino Contreras^{297*}, Froylán Sánchez Morales²⁹⁷, Sara Coto Leal²⁹⁷, Ian O. García Cruz²⁹⁷
e Ignacio Alejandro Pérez Legaspi²⁹⁷

Resumen

El caracol tegogolo *Pomacea catemacensis* es un gasterópodo endémico del lago de Catemaco, Ver, México, importante recurso pesquero, ya que se captura para su explotación comercial. Recientemente su producción pesquera se ha reducido considerablemente debido a diferentes causas, por lo que es necesario desarrollar la biotecnología para su producción comercial, con esta finalidad, se recabó y analizó toda la información biológica de la especie, para establecer las bases técnicas para su cultivo, específicamente la biología reproductiva de la especie para la obtención de semilla, la tasa de crecimiento, densidad de siembra y supervivencia, alimentación en cautiverio, sistemas de producción y calidad del agua requerida, así como, el tratamiento pos-cosecha del producto. Con esta información se diseñó un sistema de producción comercial estándar para su cultivo, y se determinó su viabilidad financiera para un escenario base, registrando indicadores económicos para evaluar la viabilidad financiera del modelo propuesto. El sistema de producción intensiva a pequeña escala, diseñado para producir 8 t/año de producto sin cáscara, requiere una inversión de alrededor de \$2,322 000.00. La evaluación financiera arroja una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 26.32% y un Valor Actual Neto (VAN) de \$1,987,184.00, lo que indica la viabilidad del proyecto. Se concluye que el tegogolo es un candidato adecuado para la acuicultura, ya que el sistema de producción propuesto permitirá su explotación sostenible, reduciendo de esa manera la presión sobre las poblaciones naturales para su recuperación. La evaluación financiera indica que es económicamente factible y rentable con un bajo riesgo.

Palabras clave: producción comercial, caracol pomaceo, especie endémica

²⁹⁷ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Autor de correspondencia:

*mariadelaluzmerino@bdelrio.tecnm.mx



Introducción

La producción acuícola en México se integra por varias especies en las que se incluyen: peces, crustáceos y moluscos (Platas y Vilaboa, 2014). Una especie con potencial para la acuicultura es el caracol tegogolo *Pomacea catemacensis* (Baker, 1922), que es un gasterópodo endémico del Lago de Catemaco Veracruz, México. Este caracol dulceacuícola es un recurso de importancia ecológica y económica de la región de Los Tuxtlas, Ver., es uno de los principales productos pesqueros de dicho lago (Baqueiro, 1994; Vázquez *et al.*, 2012), ocupando el tercer lugar de importancia en la pesca extractiva del Lago de Catemaco, generando ingresos y fuente de trabajo (SEFIPLAN, 2018). El precio por kilogramo de pulpa fluctúa entre \$180.00 a \$400.00 dependiendo de la temporada (Comunicación personal cooperativistas de Catemaco Ver.). Sin embargo, recientemente sus poblaciones se han visto mermadas hasta en un 70% (SIPESCA, 2019). Atribuyéndose principalmente este descenso a la sobreexplotación del recurso y al efecto del incremento del impacto antropogénico, con la generación de una mayor producción de contaminantes en la zona (Vázquez *et al.*, 2012). Las características biológicas de este gasterópodo lo convierten en una especie con un alto potencial de cultivo, pues se sabe que presenta hábitos alimenticios omnívoros que lo convierte en eficiente transformador de energía alimenticia. Este caracol ha mostrado un gran potencial de cultivo debido a su gran tamaño, rápido crecimiento, fácil incubación y alta tasa de eclosión (Carreón-Palau *et al.*, 2003). Por lo que, es necesario establecer la tecnología para su cultivo, que permita cubrir la demanda de producto y contribuya a la recuperación de las poblaciones naturales. Para obtener un máximo rendimiento durante el cultivo de este organismo, es necesario establecer diferentes aspectos de su biotecnia de producción, que permitan implementar su explotación comercial. En este sentido, los aspectos más importantes a considerar para su cultivo, donde se obtenga un adecuado crecimiento y supervivencia de los organismos son: la reproducción y obtención de crías, el manejo sanitario de la calidad del agua del sistema de producción y de los organismos, la densidad de siembra, la alimentación, y su procesamiento post-cosecha. En el presente estudio se analizó la información bibliográfica de la especie referente a estos aspectos, se propone, un sistema de producción comercial estándar (SPCS) para su producción comercial, el cual se evaluó financieramente, con la finalidad de transferir a corto plazo esta biotecnia de producción a los acuicultores de la región, y promover el cultivo de esta importante especie con potencial acuícola.



Materiales y Métodos

La presente investigación se realizó en tres etapas: la primera incluyó la revisión y análisis de la información bibliográfica de la especie, recopilada de informes de residencias profesionales, tesis académicas y artículos publicados; referente a la biología reproductiva de la especie para la obtención de semilla, tasa de crecimiento, densidad de siembra y supervivencia, alimentación en cautiverio, sistemas de producción y calidad del agua requerida, así como el tratamiento poscosecha del producto. La segunda etapa consistió en proponer, en base a la revisión previa, un sistema de producción comercial estándar (SPCS) para el cultivo de caracol tegogolo, considerando todos los aspectos importantes para su cultivo. La última etapa consistió en la evaluación financiera del SPCS propuesto. Se calcularon los costos de inversión inicial, costos variables y fijos del sistema propuesto. También se elaboró una lista completa de infraestructura requerida, actividades operativas y materiales para simular el plan de producción y un presupuesto base específico para el SPCS. El rendimiento anual se calculó tomando la diferencia entre los ingresos por ventas esperadas y el costo. Se calculó la Tasa Interna de Retorno (TIR), que es uno de los indicadores recomendados para analizar la viabilidad de proyectos de acuicultura (Rhodes *et al.*, 2009; Watanabe *et al.*, 2015). Así mismo, se calculó el valor actual neto del flujo de caja (VAN), que es la medida generalmente aceptada de la robustez económica de cualquier programa de inversión a largo plazo (Brealey *et al.*, 2013).

Resultados y Discusión

I) Revisión y análisis de la información de la especie

Cabe señalar que la información disponible sobre el tegogolo es de naturaleza experimental, de la revisión y análisis de esta información se resume lo siguiente:

a) **Biología reproductiva y obtención de semilla.** El caracol tegogolo es una especie gonocórica, que no presenta un aparente dimorfismo sexual, cuya fertilización es interna y su desarrollo es ovíparo, la proporción de sexo para la reproducción es de 1:1. La madurez sexual se relaciona más con la talla que con la edad, se considera organismos adultos sexualmente maduros cuando alcanzan una talla promedio de 35.9 ± 3.2 mm (Carreón-Pallau *et al.*, 2003).

Las masas ovígeras son grandes (en promedio de 23.12 mm de longitud, 16.13 mm de ancho y 7.42



mm de grosor), son colocadas por encima del agua en promedio 20 cm. y pueden albergar unos pocos cientos de huevos pequeños, con un diámetro de $1,9 \pm 0,03$ mm, su período de incubación es corto, de 1 a 3 semanas, dependiendo de la temperatura y la humedad ambiental (García-Ulloa *et al.*, 2007). Presenta altos porcentajes de eclosión (83% en condiciones de laboratorio y 90% en el medio natural), dos a tres desoves en periodos de 30 días, y una fecundidad registrada variable de 90 crías (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006), 167.19 ± 40.9 crías (García-Ulloa *et al.*, 2008) hasta 218 crías en promedio por hembra, en condiciones de laboratorio, y 245 en el campo (Osorio-Santamaría & García-García 1987; Giglio, 2019). Las crías nacen con la típica forma de caracol, ya que tienen un desarrollo directo, miden aproximadamente 3 mm, e inician su alimentación exógena inmediatamente. Se reproducen artificialmente generalmente en sistemas con agua verde con intercambio de agua (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa *et al.*, 2007, 2008; Mejía- Ramírez, 2018; Mejía- Ramírez, *et al.*, 2020).

b) **Sistemas de engorda de organismos.** Se han evaluado diferentes sistemas de cultivo para la engorda de juveniles, de diferentes tipos y dimensiones, desde sistemas de agua verde con recambios periódicos de agua (Espinoza-Chávez & Martínez-Gerónimo, 2005; Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa *et al.*, 2007, 2008; Mejía- Ramírez, *et al.*, 2020), sistemas de recirculación (Vazquez *et al.*, 2012), hasta sistemas de biofloc (Mejía- Ramírez, 2018). Es un organismo con altas tasas de supervivencia, en estos sistemas, que van desde $85 \pm 5\%$ (Mejía- Ramírez, *et al.*, 2020), $86 \pm 13\%$ (Vazquez *et al.*, 2012), 89.7% (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006), hasta el 100% (García-Ulloa *et al.*, 2007; Mejía- Ramírez, 2018), Hernández-Vergara & Pérez-Rostro (2009), describen el desempeño productivo del tegogolo en estanques circulares y sistema de canales de flujo continuo a diferentes densidades: 70 y 140 org./m³, llegando a la conclusión de que ambos métodos pueden usarse para el cultivo de este organismo, reportando un 87% de supervivencia en estanques circulares, y 91% en los sistemas de flujo continuo. Lintón (2019) probó que, el uso de sustratos de PVC, aumentan la superficie de fijación de los tegogolos, permitiendo incrementar su densidad de siembra en un 26.5%.

c) **Manejo de los organismos en cultivo.** Esta especie presenta una alta resistencia al manejo, muestra un crecimiento rápido (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2005), tolera altas densidades, tiene la capacidad de resistir grandes variaciones ambientales (García-Trejo *et al.*, 2014). Existen varios reportes referentes a la densidad de siembra recomendada para su cultivo: Asiain & Olguín (1985) reportan buenos resultados a una densidad de siembra de 22 org./L; otras investigaciones reportan que con densidades de siembra de 50 a 69 org./m², con supervivencias de 83.3% y 100%, Hernández-Vergara &



Pérez-Rostro (2009), describen un buen desempeño productivo del tegogolo a densidades: 70 y 140 org./m³. Recientemente diferentes estudios establecen densidades menores: de 0.5-2 org./L (García-Ulloa *et al.*, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez *et al.*, 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, *et al.*, 2020). Merino-Contreras *et al.* 2023 en prensa, determinaron 100 organismos por m² como una densidad de siembra adecuada para estos organismos. Contraponiendo la mayoría de los anteriores reportes, ya que se consideró las densidades en función del volumen de agua del estanque, tomando en cuenta que esta especie, no nada en la columna de agua, más bien es un organismo con hábito bentónico, que se asienta en el fondo y paredes del estanque, por lo que debe considerarse su densidad en base al número de organismos por metro cuadrado de superficie disponible. Los organismos en cultivo son alimentados de 1 a 2 veces al día como lo señalan diferentes autores, con diferentes tasas de alimentación que van del 5 al 10% de su peso corporal o bien *ad libitum* (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa *et al.*, 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez *et al.*, 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, *et al.*, 2020). Consideramos pertinente la alimentación a los organismos una vez al día, con una tasa de alimentación del 10% de su peso corporal en el primer mes, con una reducción posterior al 7.5%.

Calidad del agua y manejo sanitario. Presenta una alta resistencia a las enfermedades (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2005). Sin embargo, la calidad del agua de los sistemas de producción debe ser correctamente manejada, ya sea con recambios periódicos de por lo menos el 20% semanales, o bien implementando sistemas de recirculación con filtro biológico eficientes, que permita la remoción de los productos nitrogenados originados por las excretas de los organismos y el alimento no consumido. Los parámetros de la calidad del agua para la especie no se encuentran específicamente establecidos, sin embargo, diferentes autores (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa *et al.*, 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez *et al.*, 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, *et al.*, 2020), sugieren sean mantenidos en los rangos mencionados en el Cuadro 1. Cabe señalar que sus requerimientos en oxígeno disuelto no son altos, ya que se trata de una especie considerada anfibia, que puede subir a la superficie del estanque y respirar oxígeno atmosférico.



Cuadro 1. Algunos parámetros de la calidad del agua propuestos para el cultivo de tegogolo *P. patula catemacensis*.

Parámetro	Rango
Temperatura	25- 32 C°
Oxígeno disuelto	3- 6.7 mg/l.
pH	7-8.5
Amonio total	Menos de 1 mg/l
Dureza total	Mínimo 100 mg/l.

e) Tipo de alimento. El tegogolo se considera un organismo de hábitos herbívoros, aunque como también se adapta bien a comer proteína de origen animal, algunos autores lo consideran omnívoro. Acepta los vegetales de hoja verde como acelga, col, lechuga, alfalfa, apio, chaya, lirio acuático entre otros, consumiendo también sin problema piensos formulados (Vasquez *et al.*, 2012). Se ha determinado que su crecimiento se puede optimizar mediante el uso de dietas comerciales ricas en proteínas (Ramnarine, 2004; Vázquez-Silva *et al.*, 2012), con porcentajes equivalentes de proteínas animales y vegetales (Mendoza *et al.*, 2002). Es importante mencionar que no existen dietas comerciales disponibles para esta especie de caracol; por tanto, una posible alternativa para su alimentación en cautividad son las dietas diseñadas para otras especies acuáticas como las empleadas para alimentar carpa, tilapia, bagre, trucha, camarón, pollo, etc. También se han probado dietas no convencionales como por ejemplo dietas preparadas a base de harina de biofloc, combinada con lechuga y moringa (Pérez-López 2019). En diferentes estudios experimentales se propone un contenido de proteína dietética en la dieta de 25 a 40% (Meyer-Willerer & Santos-Soto, 2006; García-Ulloa *et al.*, 2007, 2008; Espinoza-Chávez & Martínez-Jerónimo, 2005; Vázquez *et al.*, 2012; Mejía-Ramírez, 2018; Mejía-Ramírez, *et al.*, 2020). Lo que consideramos un despilfarro de proteína, ya que este ingrediente, es el más costoso en la elaboración de piensos artificiales. Y aunque actualmente no se tienen establecidos los requerimientos esenciales de proteína y de lípidos de la especie, por su naturaleza herbívora-omnívora se esperaría que sus requerimientos fueran bajos, alrededor del 15%, como lo determinó en un estudio preliminar Pérez-López 2019.

f) **Cosecha y tratamiento post-cosecha.** La NOM-041-PESC-2004, señala que la talla mínima de captura del caracol *P. catemacensis* es de 32 mm de longitud. Que sería la talla en la que se cosecharían en cultivo. Una vez cosechados los caracoles son lavados con agua corriente y cepillo, pueden ser



depurados en agua corriente y luz ultravioleta, posteriormente son colocados en agua hirviendo hasta su cocción. Posteriormente de forma manual, es retirado el opérculo y la concha para dejar solo el cuerpo de los caracoles. Se comercializan regularmente como caracoles sin cáscara hervidos conservados en hielo (Lorán-Núñez *et al.*, 2005). O bien frescos o congelados enteros, ya que la eficiencia de la adherencia de su opérculo le permite sobrevivir largos períodos fuera del agua, facilitando su transporte en productos frescos a los centros comerciales (Ruíz-Ramírez *et al.*, 2005).

g) **Precio.** Esta especie tiene aceptabilidad en el mercado y alcanza un alto precio (García-Trejo *et al.*, 2014). En el municipio de Catemaco, Ver., el precio del kilogramo de pulpa fluctúa entre \$180.00 y \$270.00, dependiendo de la temporada del año, llegando a incrementarse en temporada de baja producción hasta los \$400.00 (comunicación personal con pescadores de la Soc. cooperativa Tanaxpi de la Laguna de Catemaco, Ver, agosto 2019). Para efectos del análisis financiero se considerará el precio de \$250.00 el Kg.

II) Propuesta de un sistema de producción comercial estándar (SPCS)

El sistema de producción estándar para la producción comercial de tegogolo establece diferentes etapas del proceso de producción, con una duración global de 6 meses por ciclo de producción, considerando dos cosechas anuales del producto obtenido, que será la pulpa o carne de tegogolo desconchado y hervido empacado en frío para su comercialización. Los tiempos de cada una de las etapas del proceso se señalan en la Figura 1. El SPCS requiere un terreno de media hectárea para la producción y procesamiento de caracoles, incluyendo una laguna de oxidación para el tratamiento del agua residual. Las áreas de reproducción y crecimiento constarán de tanques circulares revestidos con Geomembrana, con un sistema de aireación suministrado por un soplador de 2 HP. El área de reproducción incluye 3 tanques con un diámetro de 8 m donde serán colocados en cada tanque 400 organismos adultos con una talla promedio de 35.9 ± 3.2 mm para su reproducción. Se consideraron los siguientes parámetros para el plan de producción: de las fresas obtenidos de la reproducción se considera una tasa de eclosión del 85%, a partir de un promedio de 200 crías por hembra al mes, una tasa de alimentación de los reproductores del 10% del peso corporal una vez al día. Este sistema de reproducción simulada puede producir alrededor de 120,000 crías cada tres meses. La zona de pre-engorda consta de 10 tanques de 500 L. Los parámetros considerados en esta etapa en el plan de producción fueron: una densidad de población de 100 organismos/m², alimentando a los organismos con alimento balanceado de engorda de pollo, con un porcentaje de proteína del 20% y 5% de lípidos, con una tasa de alimentación del 10% al inicio, administrada en una ración por día, durante por 30 días.

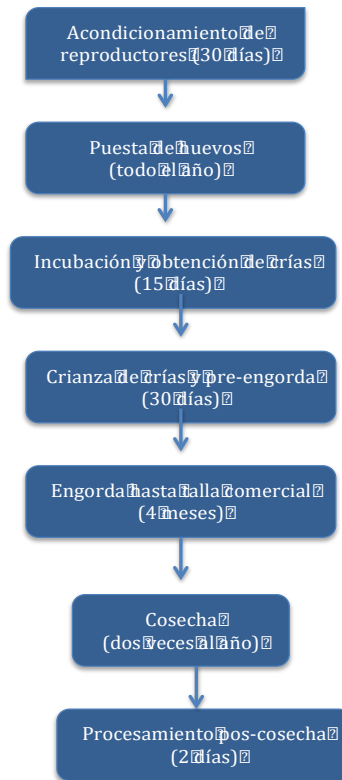


Figura 1. Etapas y duración del proceso de la producción comercial del caracol tegolo *P. catemacensis*.

El sistema funcionaría con un sistema de recirculación que requiere una bomba sumergible, un filtro mecánico y un filtro biológico. La sección de engorda consta de 22 tanques de 6 m de diámetro. Los parámetros considerados en el plan de producción para esta etapa fueron: una densidad de población de 75 organismo/m², un programa escalonado con dos tanques de crecimiento por cohorte trimestral y tasas de alimentación, administrado la misma dieta que en la etapa anterior, en un 10% del peso corporal, hasta que las juveniles alcancen un gramo de peso, reduciendo a 7,5% del peso corporal el resto del tiempo, administrado una vez al día, estas especificaciones se resumen en el cuadro 2. El sistema propuesto es semejante a los utilizados para el cultivo de tilapia nilotica, incluso se puede proponer un bicultivo con esta especie, introduciendo a los caracoles preferentemente mayores de 1 cm de longitud, obteniéndose excelentes resultados. La presente propuesta es similar a la presentada por Mejía-Ramírez *et al.*, 2020, difiriendo en las densidades de siembra, en este caso, se propone una mayor densidad de siembra y en la alimentación suministrada, ya que la dieta sugerida en el presente estudio (alimento balanceado de pollo de engorda), contiene menor cantidad de proteína (20%) y por



consiguiente es más económica y más accesible que la dieta utilizada en la propuesta de Mejía-Ramírez *et al.*, 2020.

Cuadro 2. Condiciones propuestas para el cultivo comercial de tegologo *P. catemacensis*.

Variable	Otros autores	Propuesta
Proporción de sexos para la reproducción	1:1	1:1
Densidad del stock de reproductores	0.4-1 org./L	50 org./m ²
Sistema de mantenimiento de reproductores	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación.	Tanques de geomembrana con 6 m de diámetro con recambio de agua y aireación.
Sistema de pre-engorda	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación, sistema de recirculación	Sistema de recirculación conformado con tanques de fibra de vidrio de 500 L., con filtro mecánico y biológico
Sistema de engorda	Reservorios de diferentes dimensiones, con recambio de agua y aireación.	Tanques de geomembrana con 8 m de diámetro con recambio de agua y aireación
Alimentación (tipo de alimento y porcentaje de proteína cruda incluida)	Vegetales de hoja verde y dietas comerciales principalmente para tilapia, camarón, carpa, bagre, trucha, cianofíceas y harina de biofloc. De 25- 40%	Alimento balanceado para pollo de engorda, 20%
Tasa y frecuencia de alimentación	Del 5 al 10%, <i>ad libitum</i> 1-2 veces al día	7.5- 10% 1 vez al día
Supervivencia	85-100%	85%
Temperatura	25-28°C	25-32°C
Oxígeno disuelto	4-6.7 mg/L	3-6 mg/L

La calidad del agua de los sistemas de producción será monitoreada semanalmente, para establecer los recambios de agua necesarios, para mantener los parámetros dentro de los rangos óptimos para la



especie. Se realizarán biometrías mensuales (talla y peso de los organismos) de una muestra de la población, para constatar el crecimiento y el estado sanitario de los organismos, hasta que estos alcancen la talla comercial, aproximadamente 32 mm de longitud y 9 g. de peso, que será cuando se cosecharan.

III) Evaluación financiera del SPCS

El costo de inversión inicial para el SPCS propuesto en equipo e infraestructura es de alrededor de \$2,322 000.00. Los costos de operación fijos y variables estimados, que incluyen el alimento formulado, gasolina, energía (electricidad y gas), salarios, mano de obra, administración y mantenimiento de alrededor de \$677,500.00/año. El SPCS ha proyectado ventas de \$2,000000.00/año. El producto final consiste en caracoles sin cáscara hervidos en bolsas de plástico selladas al vacío de 1 kg, conservadas en hielo. Según el flujo de caja base, la inversión se puede recuperar en el tercer año de operación. Un valor actual neto VAN de \$1,987184.00 y una Tasa interna de retorno (TIR) del 26.32%, indican que el proyecto es factible. Un VAN positivo indica que el proyecto es deseable desde la perspectiva del inversor. La evaluación financiera del sistema propuesto para tegogolo indica que el proyecto es financieramente factible Como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Evaluación financiera del SPCS para el cultivo de tegogolo.

Concepto	Primer año	Años siguientes
Inversión	\$2,322 000.00	-
Total de Ingresos	\$2,000000.00	\$2,000000.00
Kg. de tegogolo producido	8 ton/año	8 ton/año
Precio del Kg.	\$250.00	\$250.00
Costos de operación	\$677,500.00	\$677,500.00
Utilidad	\$1,250 500.00	\$1,250 500.00
Utilidad después de inversión	-	\$1,322 500.00
Utilidad después de impuestos	\$1,071500.00	\$99,360.00
Punto de equilibrio	37.5%	37.5%
Valor actual neto (VAN)	\$1,987 184.00	\$ 2,322 000.00
Tasa interna de retorno (TIR)	26.32%	26.32%



Considerando esto, es rentable invertir en esta especie ahora y a mediano plazo (próximos 10 años) ya que, actualmente, la pesquería está en declive (CONAPESCA, 2016), sin signos de recuperación y la demanda está aumentando (Mejía-Ramírez, 2018). Sin embargo, hay que considerar que la viabilidad económica de cultivar *P. patula. catemacensis* solo ha sido evaluada por Mejía-Ramírez *et al.* 2020. La mayoría de los experimentos se realizaron a escala de laboratorio y no consideran los indicadores económicos que son necesarios para decidir si su cultivo es una opción viable. Para llevar una nueva especie a la producción, se necesitan inversiones y contar con una biotécnica de producción a escala piloto en primera estancia y las empresas de acuicultura son intrínsecamente riesgosas (Engle, 2007) por lo que se sugiere una mayor investigación al respecto.

Conclusiones

Por su alta tasa de eclosión, aceptación de alimentos comerciales, tolerancia al cultivo en altas densidades, ausencia de una etapa larvaria, crecimiento rápido y alta tasa de supervivencia, el caracol endémico, *P. catemacensis* es un candidato adecuado para la acuicultura. El sistema de producción a pequeña escala propuesto fue diseñado para explotar el caracol “teogolo” de manera sostenible mientras se reduce la presión sobre las poblaciones naturales. La evaluación financiera indica que es económicamente factible y rentable con un bajo riesgo, incluso su cultivo, podría tener ventajas sociales y ambientales, considerando que esta especie endémica se ha adaptado y distribuido en una amplia región del país, y de manera local favorecer a los pescadores del Lago de Catemaco, Ver. que pueden convertirse en productores acuícolas de esta importante especie.

Literatura Citada

Asiain y Olgún (1995) Evaluation of water spinach (*Ipomoea aquatica*) as feed for apple snail (*Pomacea patula*). World Aquaculture 95, Book of Abstracts. 51 -52.



- Baqueiro, E. (1994) Principales recursos malacológicos del Golfo de México. p. 131-142. En: Instituto Nacional de Pesca (Ed.), *Pesquerías Relevantes de 936 J.P. Berry, O. Lind /Toxicon 55 (2010) 930–938 México, Tomo II. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), México.*
- Brealey, R.A., S.C. Myers and F. Allen (2013). *Principles of corporate finance (11th edn.)*. New York, NY: The McGraw-Hill/Irwin Series in Finance, Insurance and Real Estate, 230 p.
- Carreón-Palau, A., E. Uria-Galicia, F. Espinosa-Chávez y F. Martínez- Jerónimo (2003). Desarrollo morfológico e histológico del sistema reproductor de *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) (Mollusca, Caenogastropoda: Ampullariidae). *Rev Chil Hist Nat* 76: 665–680.
- Engle, C. (2007). Investment and farm modeling for feasibility assessment and decision-making in aquaculture. In: Leung P, Lee CS, Bryen PJO (Eds.), *Species & System Selection for Sustainable Aquaculture*. 1st edn. USA: Blackwell Publishing. 145 p.
- Espinoza-Chávez, F. y F. Martínez-Jerónimo (2005). Growth and fecundity of *Pomacea patula catemacensis* (Caenogastropoda: Ampullariidae) when fed on gel diets of *Scenedesmus incrassatulus* (Chlorophyceae). *The Veliger* 43: 213–217.
- García-Trejo, F., S. Hurtado-González, G.M Soto-Zarazua y P.J. Gutiérrez (2014). Development of freshwater native species with aquaculture potential. In: Hernández-Vergara M.P, y C.I. Pérez-Rostro (Eds.), *Sustainable aquaculture techniques*, Intechopen, <http://dx.doi.org/10.5772/57215>, available at <https://www.intechopen.com/books/sustainable-aquaculture-techniques> (consultado el 20 de julio 2022).
- García-Ulloa, M., M.C. Gallo-García, H. Rodríguez-González, A. Góngora- Gómez y J. Ponce-Palafox (2008). Morphometric relationship of weight and length of cultured freshwater snail, *Pomacea patula* (Baker, 1922), at three different life stages. *J. World Aquacult. Soc.* 39: 842–846.



- García-Ulloa, M., I. Ramnarine, M. Gallo-García, J. Ponce-Palafox y A. Góngora-Gómez (2007). Spawning and hatching of the edible snail *Pomacea patula* (Baker 1922) (Gastropoda: Ampullaridae) in the laboratory. *J. World Aquacult. Soc.* 38: 50–52.
- Giglio, M. L. (2019). Estrategias reproductivas de moluscos gasterópodos. Caracterización bioquímica y toxicidad de los huevos de *Pomacea*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.
- Hernández-Vergara, M.P. y C.I. Pérez-Rostro (2009). Sustainable aquaculture techniques, Intechopen, <http://dx.doi.org/10.5772/57215>, available at <https://www.intechopen.com/books/sustainable-aquaculture-techniques>, (consultado el 20 de julio 2022).
- Linton Izquierdo, C. (2019). Evaluación de diferentes sustratos físicos para aumentar la superficie fijación del caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* durante su engorda. Tesis de Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río. 93 p.
- Lorán-Nuñez, R.M., F.R. Martínez-Izunza, A.J. Valdéz-Guzmán y M.T. Gaspar-Dillanes (2005). Lago de Catemaco. In: Gaspar-Dillanes MT, Aguilar-Montaño D (Eds.), *Pesquerías Continentales de México*. 1st Edition, Instituto Nacional de Pesca, 93–118.
- Mendoza, R., M.C. Aguilera, M. J. Hernández y E. Cruz (2002). Elaboración de dietas artificiales para el cultivo del caracol manzana *Pomacea bridgesi*. *Revista AquaTic*. 16: 1-14.
- Meyer-Willerer, A.O. y A. Santos-Soto (2006). Temperature and light intensity affecting egg production and growth performance of the Apple Snail *Pomacea patula* (Baker, 1922). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10: 41–58.
- Mejía-Ramírez, M.A. (2018). Productive Performance and Bacterial Profile of Freshwater Snail *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922) Cultivated in Biofloc. Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, México



Mejía-Ramírez, M.A., V. Valadez Rocha, C.I. Pérez-Rostro (2020). Economic feasibility analysis of small-scale aquaculture of the endemic snail *Pomacea patula catemacensis* (Baker 1922) from southeast Mexico. *Aquat. Living Resour.* 33: 2.

NOM-041-PESC (Norma Oficial Mexicana). 2004. Available at: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1943/sagarpa/sagarpa.htm>^[1]_[SEP]

Osorio-Santamaría, M. y H.E García- García. (1987) Aspectos reproductivos del caracol de agua dulce (*Pomacea patula catemacensis*) con observaciones en laboratorio y campo. Tesis Profesional, Universidad Veracruzana, Jalapa, Veracruz, México. 53 pp.

Pérez-López J. (2019). Determinación del requerimiento de proteína para el crecimiento del caracol tegogolo *Pomacea patula catemacensis* (Baker, 1922)". Tesis Maestría en Ciencias en Acuicultura. Instituto Tecnológico de Boca del Río. TNM/SEP. 89 p.

Ramnarine, I.W. (2004). Quantitative protein requirements of the edible snail *Pomacea urceus* (Muller). *J World Aquacult Soc.* 35:253–256.

Rhodes, R., T.R Hanson and S. Dasgupta (2009). Economics and Business Management. In: New MB, Valenti JH, Tidwell LR, D'Abramo LR, Kutty MN (Eds.), *Freshwater Prawns: Biology and Management*. USA: John Wiley & Sons. 130 pp.

Ruiz-Ramírez, R., F. Espinosa-Chávez y F. Martínez-Jerónimo (2005). Growth and reproduction of *Pomacea patula catemacensis* Baker, 1922 (Gastropoda: Ampullariidae) when fed *Calothrix* sp. (Cyanobacteria). *Journal of the world Aquaculture Society.* 36:1, 87-95.

SEFIPLAN (Secretaría de Finanzas y Planeación). 2018. Sistema de información municipal, Veracruz. 2-7.

SIPESCA (Sistema de información de Pesca y Acuicultura). 2019. Recuperado el 11 de enero 2019 de Avisos de arribo 2018. <https://sipesca.conapesca.gob.mx/login.php>



Vázquez, G., T. Castro, J. Castro y G. Mendoza (2012). Effect commercial diets on growth, survival and chemical composition of the edible freshwater snail *Pomacea patula catemacensis*. *J Agric Technol* 8:1901–1912.

Watanabe, W.O., C.F Dumas. & P.M. Carroll (2015). Production economic analysis of black sea bass juveniles to support finfish mariculture grow out industry development in the southeastern US. *Aquacult Econ Manag.* 19: 1–25



RELACIÓN ENTRE CORTICOSTERONA Y HORMONAS SEXUALES EN COCODRILOS SUBADULTOS (*Crocodylus moreletii*) DE CRÍA INTENSIVA

Adrián Gutiérrez Cervantes^{298*}, Concepción Ahuja Aguirre²⁹⁹, Lorena López de Buen²⁹⁹, Sergio Viveros Peredo³⁰⁰, Jorge Morales Mávil³⁰¹ y Felipe Montiel Palacios²⁹⁹

Resumen

Este estudio evaluó la relación entre las concentraciones séricas de corticosterona (CT) y hormonas sexuales en 52 cocodrilos de pantano (*Crocodylus moreletii*) de cautiverio durante las temporadas no reproductiva (NR) y reproductiva (R). Los cocodrilos permanecieron separados por tamaño (subadultos) en grupos mixtos con densidades de población de 0,2–1,3 individuos/m². Se recolectó sangre en NR (n = 24) y R (n = 28) de subadultos, hembras y machos para determinar los niveles séricos de CT, estradiol (E2), progesterona (P4) y testosterona (T). En hembras, CT fue mayor (p < .05) en R en subadultos; mientras que P4 no fue diferente (p > 0,05). La corticosterona no tuvo correlación con E2 o P4 en ambas temporadas. En machos, CT fue mayor (p < .05) en R en subadultos, y T fue mayor (p < .05) en R; La corticosterona se correlacionó positivamente con T en NR. En general, CT se correlacionó negativamente con la densidad de población (r = -0,31) La corticosterona no afectó a las hormonas sexuales, lo que sugiere que el manejo de los cocodrilos no los expuso a estrés crónico.

Palabras clave: estrés, cautiverio, cocodrilianos

Introducción

En todo el mundo, la producción comercial de cocodrilianos tiene lugar en granjas, donde los animales se crían por su piel, y normalmente bajo prácticas de gestión inadecuadas, como altas densidades de población (CSG, 2021; Isberg *et al.*, 2003). La respuesta al estrés de algunos cocodrilianos a diferentes

²⁹⁸ Instituto Tecnológico de Boca del Río.

²⁹⁹ Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

³⁰⁰ Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre “Cacahuatal”.

³⁰¹ Universidad Veracruzana, Instituto de Neuroetología.



densidades de población ha sido evaluada a través de los niveles de corticosterona (CT) plasmática (Elsey *et al.*, 1990a; Finger *et al.*, 2015; Isberg & Shilton, 2013), que es el principal glucocorticoide (GC) en reptiles (Cockrem, 2013; Lance & Lauren, 1984).

La secreción de GC tras la activación del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal (HHA) es una respuesta de estrés típica destinada a neutralizar el factor estresante inmediato y restaurar la homeostasis del animal (Johnstone *et al.*, 2012; Moberg & Mench, 2000; Romero *et al.*, 2009; Sapolsky *et al.*, 2000; Sheriff *et al.*, 2011; Turner *et al.*, 2012). Los aumentos agudos de GC después de un factor estresante a corto plazo son beneficiosos para la supervivencia del individuo (Dantzer *et al.*, 2014; Johnstone *et al.*, 2012), pero los aumentos repetidos a largo plazo en GC en respuesta a estrés crónico tienen efectos nocivos sobre aspectos fisiológicos como la reproducción, la inmunidad y el crecimiento (Moberg & Mench, 2000; Reeder and Kramer, 2005; Sapolsky *et al.*, 2000; Wingfield *et al.*, 1998).

En cocodrilidos, los niveles altos de CT se correlacionan negativamente con las hormonas sexuales (Elsey *et al.*, 1991; Lance & Elsey, 1986) y el éxito reproductivo (Elsey *et al.*, 1994; Lance, 1994). Los caimanes americanos juveniles (*Alligator mississippiensis*) mantenidos en altas densidades de población mostraron niveles crónicamente altos de CT en plasma, siendo las densidades de población directamente proporcionales a los niveles de CT (Elsey *et al.*, 1990a).

Se han evaluado los niveles plasmáticos de CT en respuesta a varios factores estresantes en caimanes americanos (Elsey *et al.*, 1990b; Guillette *et al.*, 1997; Lance & Elsey, 1999; Mahmoud *et al.*, 1996), cocodrilo de agua salada (*Crocodylus porosus*) evaluado por Franklin *et al* (2003); cocodrilo de agua dulce australiano (*Crocodylus johnstoni*; Jessop), evaluado por Tucker *et al* (2003) y el cocodrilo del Nilo (*Crocodylus niloticu*) evaluado por Ganswindt *et al* (2014). Sin embargo, no hay información sobre los niveles de CT en cocodrilos de pantano (*Crocodylus moreletii*) manejados en cautiverio. El cocodrilo de pantano es originario de México y está incluido en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres con cupo cero para el intercambio comercial de especímenes silvestres (CITES, 2021). Por lo tanto, el uso legal y sustentable de esta especie con fines de conservación, investigación o comerciales en México se realiza en granjas (Cedeño-Vázquez *et al.*, 2012; Sánchez-Herrera *et al.*, 2011), donde se albergan cocodrilos generalmente en grupos de acuerdo a su tamaño. El confinamiento de los cocodrilos aumenta su comportamiento agresivo típico, particularmente durante la temporada de reproducción y conduce a mayores niveles de estrés (Elsey *et al.*, 1990b, 1994). La evaluación de los patrones de hormonas sexuales y CT en cocodrilianos puede ayudar a monitorear el bienestar animal y el estado reproductivo



(Augustine *et al.*, 2020). Por lo tanto, este estudio evaluó la relación entre las concentraciones séricas de CT y las hormonas sexuales en hembras y machos de *C. moreletii* subadultos, durante las temporadas no reproductiva (NR) y reproductiva (R).

Materiales y Métodos

La experimentación animal se llevó a cabo de acuerdo con los lineamientos de la Comisión de Bioética y Bienestar Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Características del estudio

El estudio se llevó a cabo en Veracruz, México (Lat. 19° 22' N, Long. 96° 22' W, 20 m de altitud) en la Unidad de Conservación de Vida Silvestre Cacahuatal, que es una granja que cría cocodrilos de pantano para su conservación y propósitos comerciales. El estudio se realizó durante dos años consecutivos (2017 – 2019) para evaluar las concentraciones de hormonas en las temporadas no reproductiva (noviembre) y reproductiva (marzo).

Animales de experimentales

El estudio incluyó 52 cocodrilos de pantano aparentemente sanos, subadultos (1,01 a 1,50 m de longitud, $9,1 \pm 3,6$ kg de peso vivo; 22 hembras y 30 machos). En época no reproductiva recolectamos muestras de sangre de 24 subadultos (9 hembras y 15 machos), y en época reproductiva de 28 subadultos (13 hembras y 15 machos). Los cocodrilos incluidos en cada evaluación eran individuos diferentes; ninguno de ellos fue recapturado. A lo largo del estudio, los cocodrilos recibieron el 10% de su peso vivo de un alimento comercial (40% de proteína cruda) una o dos veces por semana (dependiendo del clima), así como mebendazol mezclado con el alimento como desparasitante cada cuatro meses. Para este estudio, los cocodrilos recibieron el antiparasitario dos semanas antes de cada muestra de sangre.

Recolección y procesamiento de muestras de sangre

Recolectamos muestras de sangre para determinar las concentraciones séricas de CT y hormonas sexuales (estradiol [E2], progesterona [P4] y testosterona [T]). Para la recolección de muestras de sangre capturamos los cocodrilos de su recinto uno a la vez. Una vez capturados, fueron sujetos físicamente con cuerdas en decúbito ventral y su hocico cerrado con cinta adhesiva para garantizar su



propia seguridad y la de los manipuladores. Luego se examinó a los cocodrilos mediante palpación digital en la cloaca y los examinamos visualmente para evitar incluir individuos enfermos, heridos o en malas condiciones corporales. Después de tomar muestras de sangre, cada cocodrilo se midió con una cinta métrica flexible y se pesó con un arnés alrededor de las cuatro extremidades unidas a una balanza de resorte, para determinar su longitud y peso totales, respectivamente.

De cada animal se recolectó una muestra de sangre de 3-5 mL del seno venoso post-occipital utilizando una aguja estéril calibre 21 y una jeringa de 5 mL, desinfectando previamente el área con solución de yodo. La sangre se recolectó dentro de los 3 min de la captura (Romero & Reed, 2005) y se transfirió inmediatamente a tubos de plástico de 6 mL sin anticoagulante y se mantuvo a temperatura ambiente durante 1 a 2 h. Luego, las muestras de sangre se centrifugaron a 810 X g durante 10 min para obtener el suero, que se almacenó a -20 °C hasta el análisis hormonal. Recolectamos muestras de sangre una vez en las temporadas de no reproducción y una vez en las de reproducción en cada año del estudio, para un total de cuatro muestras de sangre durante el estudio (noviembre de 2017/2018 y marzo de 2018/2019).

Determinación de concentraciones séricas de corticosterona y hormonas sexuales

Las concentraciones séricas de CT se determinaron en hembras y machos, E2 y P4 en hembras y T en machos, todo mediante ensayo inmunoabsorbente ligado a enzimas (ELISA) en fase sólida utilizando kits comerciales. Los kits se validaron previamente para su uso en cocodrilos para confirmar que el ensayo detectaría la hormona y mediría sus niveles en suero de cocodrilo. Todos los kits eran de DRG International, Inc. (EE. UU.).

Análisis de los datos

Las diferencias en las concentraciones de hormonas entre las temporadas no reproductiva y reproductiva en hembras y machos subadultos se analizaron utilizando la prueba t de Student para variables independientes. Se consideró significativa una diferencia de $p < 0,05$. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para determinar la relación entre las concentraciones de CT y cada una de las hormonas sexuales (E2, P4, T), y entre las concentraciones de CT y la densidad de población. Todas las pruebas fueron de Statistica 10® (StatSoft®, Inc., OK, EE. UU.).



Resultados y Discusión

En las hembras, las concentraciones séricas de CT fueron más altas ($p = .03$) en la temporada reproductiva (Cuadro 1). Las concentraciones séricas de E2 no mostraron diferencias en hembras subadultas ($p = 0,31$) (Cuadro 1). En hembras subadultas los niveles séricos de P4 no mostraron diferencias ($p = .49$) entre temporadas (Cuadro 1). No hubo correlación entre las concentraciones de CT y E2 ni entre CT y P4 en hembras subadultas en ambas temporadas (Cuadro 2). En los machos subadultos, los niveles séricos de CT fueron más altos ($p = .002$) en la época reproductiva (Cuadro 1). Las concentraciones séricas de T fueron más altas en los machos subadultos ($p = 0,02$) en la época reproductiva (Cuadro 1). No hubo correlación entre las concentraciones de CT y T en machos subadultos en la época reproductiva. Hubo una correlación positiva entre CT y T en machos subadultos en la época no reproductiva (Cuadro 2). En subadultos (hembras y machos combinados), los niveles de CT se correlacionaron negativamente con la densidad de población ($r = -0,31$).

Cuadro 1. Concentraciones séricas (media \pm SEM) de corticosterona y hormonas sexuales en hembras y machos subadultos de cocodrilo de pantano en las épocas de reproducción y no reproducción.

	Temporada no reproductiva	Temporada reproductiva
Hembras		
Corticosterona (ng/ml)	12.7 \pm 9.5 ^a	23.7 \pm 11.6 ^b
Estradiol (pg/ml)	46.7 \pm 16.7 ^a	36.7 \pm 25.8 ^a
Progesterona (ng/ml)	1.2 \pm 1.4 ^a	1.8 \pm 1.2 ^a
Machos		
Corticosterona (ng/ml)	15.7 \pm 6.8 ^a	35.8 \pm 22.4 ^b
Testosterona (ng/ml)	1.0 \pm 0.9 ^a	2.5 \pm 2.2 ^b

^{a,b} Diferente superíndice por fila en hembras subadultas y machos subadultos indica diferencia estadística por temporada ($P < 0.05$).



Cuadro 2. Correlación entre las concentraciones séricas de corticosterona y hormonas sexuales en hembras y machos subadultos de cocodrilo de pantano en las épocas no reproductiva y reproductiva.

	Temporada no reproductiva	Temporada reproductiva
Hembras		
Corticosterona y estradiol	r = 0.05 p = 0.89	r = -0.39 p = 0.18
Corticosterona y progesterona	r = 0 p = 0	r = 0.42 p = 0.39
Machos		
Corticosterona y testosterona	r = 0.82 p = 0.0001	r = 0.36 p = 0.17

La cría de cocodrilos es una industria relativamente nueva que probablemente emplee técnicas inadecuadas, como densidades de población inapropiadas (Isberg *et al.*, 2003). En caimanes cautivos, la CT plasmática aumentó con la densidad de población, incluso cuando siempre había comida disponible (Elsey *et al.*, 1990a). Por lo tanto, hay mucho que aprender sobre la cría y los requisitos de bienestar de los cocodrilos de cautiverio (Isberg, 2016).

Los cocodrilos deben alojarse en densidades de población apropiadas y seguras, pero también con individuos de clase de tamaño similar para reducir la lucha territorial (Pooley, 1990). A medida que los cocodrilos crecen, la densidad de población en las granjas disminuye para reducir las interacciones sociales y promover el crecimiento; sin embargo, aunque todos los cocodrilos tienen necesidades similares, algunos aspectos son específicos de la especie, en particular los relacionados con su comportamiento territorial y agresivo (CSG, 2021). Esto es importante porque incluso cuando se manejan adecuadamente, los cocodrilos en cautiverio siempre experimentarán algunos niveles de estrés (Elsey *et al.*, 1994) y, como consecuencia, un aumento en las concentraciones plasmáticas de CT (Cockrem, 2013; Guillette *et al.*, 1995; Tyrrell & Cree, 1998). En los reptiles, los niveles de referencia de CT varían estacionalmente y suelen ser más altos en la temporada de reproducción (Romero, 2002), cuando los niveles elevados de CT pueden ser necesarios o beneficiosos para la reproducción (Tokarz & Summers, 2011). Sin embargo, en cocodrilos cautivos, los niveles elevados de CT pueden inhibir la reproducción (Sapolsky *et al.*, 2000; Wingfield *et al.*, 1998).



En este estudio, los cocodrilos permanecieron bajo manejo intensivo en grupos mixtos del mismo tamaño. Por lo tanto, asumimos que generalmente estaban experimentando algunos niveles de estrés y, en consecuencia, mostrarían elevaciones en CT que podrían aumentar en la temporada de reproducción, ya que las demandas de energía aumentan durante dicha etapa (Harshman & Zera, 2007; Tokarz & Summers, 2011). Lo cual se observó durante este estudio en subadultos, que aún no eran reproductores. En general, las diferencias estacionales en los niveles de GC podrían tener varias explicaciones ya propuestas. El primero sería la necesidad de movilización de energía inducida por GC durante los períodos de demanda de energía, como la temporada de reproducción (Harshman & Zera, 2007; Tokarz & Summers, 2011; Wingfield & Ramenofsky, 1999). Otra explicación sería que los niveles de GC varían entre temporadas porque el animal necesita cambiar su comportamiento de acuerdo con las condiciones específicas que se encuentran en cada temporada (Romero, 2002; Tokarz & Summers, 2011; Wingfield & Romero, 2001). Una última explicación sería que las variaciones estacionales en los niveles de GC preparan a un animal para períodos en los que es más probable que esté expuesto a factores estresantes, como durante la temporada de reproducción, y el aumento de GC permitiría que el animal se enfrentara de manera más eficiente cuando se expusiera a estresores posteriores (Romero, 2002; Tokarz & Summers, 2011).

Sin embargo, en este estudio los cocodrilos tenían alimento disponible todo el año, se separaron por tamaño para evitar que los machos más pequeños fueran atacados por individuos más grandes, especialmente durante la temporada de reproducción, y las condiciones de manejo fueron similares durante todo el año, con los únicos cambios los asociados con la lluvia o la temperatura ambiente. Por lo tanto, con base en nuestros resultados, creemos que el estrés que nuestros cocodrilos pueden haber experimentado no fue lo suficientemente severo o prolongado como para causar una elevación en CT, lo que significa que las condiciones bajo las cuales son manejados son aceptables desde el punto de vista productivo y de bienestar. En cuanto a las diferencias en CT por grupo de tamaño, en reptiles los niveles de CT pueden diferir entre edades (Dantzer *et al.*, 2014; Sopinka *et al.*, 2015), y la mayor tasa metabólica en juveniles podría producir niveles más altos de CT (Carbajal *et al.*, 2018; Gregory *et al.*, 1996; Jessop *et al.*, 2003). Las diferencias en los niveles de CT son comunes en los reptiles y resultan de variaciones de la respuesta adrenocortical al mismo tipo de estresante causado por factores como la edad, el estado reproductivo y la estación del año. Las variaciones en la respuesta al estrés resultan de la modulación adrenocortical (Wingfield & Romero, 2001), y pueden ocurrir a nivel individual o poblacional (Dunlap & Wingfield, 1995; Esto podría explicar la diferencia en los niveles de CT entre



temporadas. Las concentraciones séricas de E2 fueron similares en ambas estaciones. La falta de diferencia en los niveles de E2 entre temporadas podría deberse a los meses en que se recolectaron las muestras, ya que las obtenidas en noviembre correspondieron a la temporada no reproductiva y las de marzo al inicio de la temporada reproductiva; por lo tanto, en marzo tal vez fue demasiado temprano en la temporada de reproducción como para mostrar E2 elevado. Algunos autores reportan que en especies de cocodrilianos tropicales hay una elevación en plasma E2 cuando hay folículos vitelogénicos y ocurre inmediatamente antes de la ovulación (Coutinho *et al.*, 2000; Thorbjarnarson, 1994). Otros indican que en las hembras reproductoras hay un aumento de E2 circulante cuatro a cinco meses antes de la oviposición porque esto estimula la producción de vitelogenina y el crecimiento de los folículos preovulatorios (Calderon, *et al.*, 2004; Milnes, 2011; Uribe & Guillette, 2000), y por el crecimiento del oviducto durante dicho tiempo (Guillette *et al.*, 1997; Milnes, 2011). En este estudio se debería haber observado este aumento en las muestras recolectadas en marzo, ya que la oviposición suele comenzar en abril; sin embargo, no hubo aumento de E2 en esta etapa. Creemos que el momento de los muestreos no permitió detectar las probables diferencias en E2 que podrían ocurrir por efecto de la temporada. Las concentraciones séricas de P4 fueron similares en ambas temporadas. Esto era de esperar porque las hembras subadultas no eran reproductivamente activas. Con respecto a las concentraciones de hormonas sexuales, creemos que el probable aumento de CT que podría observarse durante la temporada de cría podría estar acompañado de una inhibición de la secreción de hormonas sexuales. Sin embargo, la falta de correlación entre la CT y las hormonas sexuales en las hembras en ambas temporadas sugiere que la CT probablemente no fue lo suficientemente alta como para inhibir la producción de E2 y P4, por lo tanto, podríamos suponer que las hembras experimentarían solo niveles bajos de estrés en ambas temporadas. Esto es contrario a lo informado en caimanes americanos hembras, de una correlación negativa entre CT y E2, lo que sugiere que el estrés agudo suprime los niveles de E2 (Elsey, *et al.*, 1991). Aunque la exposición de las hembras a factores estresantes puede causar una disminución en las concentraciones de E2 en algunos reptiles (Elsey *et al.*, 1991; Ganesh & Yajurvedi, 2002), la relación entre CT en plasma y E2 y P4 en plasma varía mucho con la especie y el estado reproductivo (Tokarz & Summers, 2011).

Las concentraciones de T en los machos fueron las esperadas. Los niveles más altos y más bajos obtenidos en las temporadas reproductivas (marzo) y no reproductivas (noviembre), respectivamente, coincidieron con el informe en machos juveniles silvestres peripuberales de *A. mississippiensis* de T plasmática baja en noviembre y alta en marzo (Rooney *et al.*, 2004). Nuestros resultados coinciden con



los reportados en *A. mississippiensis* (Guillette *et al.*, 1997; Lance, 1989) y *C. rhombifer* (Augustine & Watkins, 2015; Augustine *et al.*, 2017, 2020), de niveles elevados de T durante la época reproductiva, compitiendo con conductas de dominación para encontrar pareja y defender su territorio.

En reptiles machos, los niveles de T se correlacionan positivamente con la CT promedio (Eikenaar *et al.*, 2012). Esto se observó en nuestro estudio en la temporada no reproductiva, lo que sugiere que los niveles de TC que mostraron estos animales eran promedio y, por lo tanto, no eran el resultado de la exposición a factores estresantes crónicos. Por otro lado, en los caimanes americanos machos, CT y T se correlacionaron negativamente, lo que indica que el estrés inhibe la secreción de T en los machos (Lance & Elsey, 1986). Sin embargo, en nuestro estudio no hubo correlación entre CT y T en época reproductiva. Una explicación para esto podría ser que CT no fue lo suficientemente alto como para causar algún efecto en la producción de T; por lo tanto, como se mencionó anteriormente, indicaría que nuestros cocodrilos no estaban experimentando estrés severo o crónico.

En cuanto a la relación entre los niveles de CT y la densidad de población, la CT más alta se obtuvo a la densidad más baja, contrario a lo esperado y al hallazgo en caimanes juveniles de CT plasmática más baja a la densidad de población más baja, lo que indica que el hacinamiento de juveniles de esta especie causa estrés y CT plasmática crónicamente elevada (Elsey *et al.*, 1990b). Una explicación de nuestros resultados podría ser que cuanto menor sea el número de animales en un recinto, mayores serán las posibilidades de que algunos de ellos muestren dominio sobre los demás y peleen, lo que podría causar un aumento en CT. Aunque en los cocodrilianos la densidad de población y la composición del grupo óptimas son difíciles de definir porque dependen de factores ambientales variables (Ganswindt *et al.*, 2014), en base a nuestros resultados creemos que las condiciones de alojamiento de nuestros animales fueron adecuadas para su bienestar y reproducción óptima.

Conclusiones

En conclusión, en este estudio los niveles de CT no afectaron las concentraciones de hormonas sexuales, sexo o temporada, lo que nos lleva a pensar que el manejo de los cocodrilos, incluyendo la densidad de población, no los expuso a estrés crónico. Sin embargo, solo hubo dos muestreos a lo largo de cada año, lo que podría ser insuficiente para determinar el efecto real del manejo sobre la reproducción y el bienestar, particularmente porque los cocodrilos son reproductores estacionales. Por



lo tanto, es necesario realizar más estudios en cocodrilos de pantano en cría intensiva en diferentes momentos durante las temporadas de reproducción y no reproducción, y en diferentes densidades de población, para conocer con mayor precisión su efecto sobre la reproducción y el bienestar de los animales, y tratar de determinar las condiciones óptimas de manejo del cocodrilo de pantano en cautiverio.

Literatura Citada

- Augustine, L., & Watkins, B. 2015. Age, fertility and reproductive behavior in cuban crocodiles, *Crocodylus rhombifer*, at the Smithsonian's National Zoological Park. *Zoo Biology*, 34, 278–284. DOI: <https://doi.org/10.1002/zoo.21204>
- Augustine, L., Miller, K., Peters, A., Franklin, A. D., Steinbeiser, C. M., Brown, J. L., & Prado, N. A. 2020. Impacts of the season and reproductive status on fecal reproductive and adrenocortical steroid metabolites in zoo Cuban crocodiles (*Crocodylus rhombifer*). *Zoo Biology*, 39, 411–421. <https://doi.org/10.1002/zoo.21559>
- Augustine, L., Pryes, K., & Evans, M. 2017. Social behavior in captive Cuban crocodiles (*Crocodylus rhombifer*) at the Smithsonian's National Zoological Park. *Herpetological Review*, 48, 75–82.
- Calderon, M. L., De Perez G. R., & Pinilla, M. P. R. 2004. Morphology of the ovary of *Caiman crocodilus* (Crocodylia: Alligatoridae). *Annals of Anatomy*, 186, 13–24. DOI: 10.1016/s0940-9602(04)80113-4
- Carbajal, A., Tallo-Parra, O., Monclús, L., Aresté, M., Fernández-Bellon, H., Almagro, V., & Lopez-Bejar, M. 2018. Corticosterone measurement in Komodo dragon shed skin. *Herpetological Journal*, 28, 110–116.



Cedeño-Vázquez, J. R., Platt, S. G., & Thorbjarnarson, J. 2012. IUCN Crocodile Specialist Group. *Crocodylus moreletii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2012, e.T5663A3045579. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2012.RLTS.T5663A3045579.en> (accessed 28 Apr 2021).

CITES. The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. 2021. <https://cites.org/eng>

Cockrem, J. F. 2013. Individual variation in glucocorticoid stress responses in animals. *General and Comparative Endocrinology*, 181, 45–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2012.11.025>

Coutinho, M., Campos, Z., Cardoso, F., Massara, P., & Castro, A. 2000. Reproductive biology and its implication for management of Caiman *Caiman yacare* in the Pantanal Wetland, Brazil. In G. C. Grigg, F. Seebacher & C. E. Franklin (Eds.), *Crocodylian biology and evolution* (pp. 229–243). Chipping Norton, Australia: Surrey Beatty & Sons.

CSG (Crocodile Specialist Group). 2021). Farming and the crocodile industry. [iucncsg.org](http://www.iucncsg.org). <http://www.iucncsg.org/pages/Farming-and-the-Crocodile-Industry.html>. (accessed 12 April 2021).

Dantzer, B., Fletcher, Q. E., Boonstra, R., & Sheriff, M. J. 2014. Measures of physiological stress: a transparent or opaque window into the status, management and conservation of species? *Conservation Physiology*, 2, 1–18. DOI: 10.1093/conphys/cou023

Dunlap, K. D., & Wingfield, J. C. 1995. External and internal influences on indices of physiological stress. I. Seasonal and population variation in adrenocortical secretion of free-living lizards, *Sceloporus occidentalis*. *Journal of Experimental Zoology*, 271, 36–46. DOI: 10.1093/conphys/cou023

Eikenaar, C., Husak, J., Escallon, C., & Moore, I. T. 2012. Variation in testosterone and corticosterone in amphibians and reptiles: relationships with latitude, elevation, and breeding season length. *The American Naturalist*, 180, 642–654. DOI: 10.1086/667891



- Elsely, R. M., Joanen, T., McNease, L., & Lance, V. 1990a. Growth rate and plasma corticosterone levels in juvenile alligators maintained at different stocking densities. *Journal of Experimental Zoology*, 255, 30–36. DOI: <https://doi.org/10.1002/jez.1402550106>
- Elsely, R. M., Joanen, T., McNease, L., & Lance, V. 1990b. Stress and plasma corticosterone levels in the American alligator — relationships with stocking density and nesting success. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 95, 55–63. DOI: [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(90\)90009-H](https://doi.org/10.1016/0300-9629(90)90009-H)
- Elsely, R. M., Joanen, T., & McNease, L. 1994. Captive breeding of alligators and other crocodilians. In *Crocodyles. Proceedings of the 2nd Regional (Eastern Asia, Oceania, Australasia) meeting of the Crocodile Specialist Group, IUCN – The World Conservation Union* (pp. 1–27). Gland, Switzerland.
- Elsely, R. M., Lance, V., Joanen, T., & McNease, L. 1991. Acute stress suppresses plasma estradiol levels in female alligators (*Alligator mississippiensis*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 100, 649–651. DOI: [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(91\)90384-O](https://doi.org/10.1016/0300-9629(91)90384-O)
- Finger, J. W., Thomson, P. C., Adams, A. L., Benedict, S., Moran, C., & Isberg, S.R. 2015. Reference levels for corticosterone and immune function in farmed saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*) hatchlings using current Code of Practice guidelines. *General and Comparative Endocrinology*, 212, 63–72. DOI: [10.1016/j.ygcen.2015.01.023](https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2015.01.023)
- Franklin, C. E., Davis, B. M., Peucker, S. K. J., Stephenson, H., Mayer, R., Whittier, J., Lever, J., & Grigg, G. C. 2003. Comparison of stress induced by manual restraint and immobilisation in the estuarine crocodile *Crocodylus porosus*. *Journal of Experimental Zoology. Part A, Comparative Experimental Biology*, 298, 86–92. DOI: <https://doi.org/10.1002/jez.a.10233>



- Ganesh, C. B., & Yajurvedi, H.N. 2002. Stress inhibits seasonal and FSH-induced ovarian recrudescence in the lizard, *Mabuya carinata*. *Journal of Experimental Zoology*, 292, 640–648. DOI: 10.1002/jez.10103.
- Ganswindt, S. B., Myburgh, J. G., Cameron, E. Z., & Ganswindt, A. 2014. 'Non-invasive assessment of adrenocortical function in captive Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular and Integrative Physiology*, 177, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2014.07.013>
- Gregory, L. F., Gross, T. S., Bolten, A. B., Bjorndal, K. A., & Guillette, J. L. J. 1996. Plasma corticosterone concentrations associated with acute captivity stress in wild loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *General and Comparative Endocrinology*, 104, 312–320. DOI: 10.1006/gcen.1996.0176
- Guillette, L. J., Jr., Cree, A., & Rooney, A. A. 1995. Biology of stress: interactions with reproduction, immunology and intermediary metabolism. In C. Warwick, F. L. Frye, & J. B. Murphy (Eds.), *Health and welfare of captive reptiles* (pp. 32–81). London: Chapman and Hall.
- Guillette, L. J., Jr., Woodward, A. R., Crain, D. A., Masson, G. R., Palmer, B. D., Cox, M. C., You-Xiang, Q., & Orlando, E. F. 1997. The reproductive cycle of the female American alligator (*Alligator mississippiensis*). *General and Comparative Endocrinology*, 108, 87–101. DOI: <https://doi.org/10.1006/gcen.1997.6953>
- Harshman, L. G., & Zera, A. J. 2007. The cost of reproduction: the devil in the details. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 80–86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.10.008>
- Isberg, S. R. 2016. Farming dinosaur cousins: the unique welfare challenges of farming crocodiles. S. Hermes, & S. Dominik (Eds.), *Breeding Focus 2016 – Improving Welfare* (pp. 67–76). Armidale, NSW, Australia: Animal Genetics and Breeding Unit, University of New England.



- Isberg, S. R., & Shilton, C. M. 2013. Stress in farmed saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*): no difference between individually- and communally-housed animals. *SpringerPlus*, 2, 381. DOI: 10.1186/2193-1801-2-381
- Isberg, S. R., Nicholas, F. W., Thomson, P. C., Barker, S. G., Manolis, S. C., & Moran, C. 2003. Defining breeding objectives for saltwater crocodile genetic improvement programs. *Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, 15, 166–169.
- Jessop, T. S., Tucker, A. D., Limpus, C. J., & Whittier, J. M. 2003. Interactions between ecology, demography, capture stress, and profiles of corticosterone and glucose in a free-living population of Australian freshwater crocodiles. *General and Comparative Endocrinology*, 132, 161–170. DOI: 10.1016/s0016-6480(03)00078-9
- Johnstone, C. P., Reina, R. D., & Lill, A. 2012. Interpreting indices of physiological stress in free-living vertebrates. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 182, 861–879. DOI: 10.1007/s00360-012-0656-9
- Lance, V. A. 1989. Reproductive cycle of the American alligator. *American Zoologist*, 29, 999–1018.
- Lance, V. A. 1994. Life in the slow lane: hormones, stress and immune systems in reptiles. *Perspectives in Comparative Endocrinology*, 529–534.
- Lance, V. A., & Elsey, R. M. 1986. Stress-induced suppression of testosterone secretion in male alligators. *Journal of Experimental Zoology*, 239, 241–246. DOI: 10.1002/jez.1402390211
- Lance, V. A., & Elsey, R. M. 1999. Plasma catecholamines and plasma corticosterone following restraint stress in juvenile alligators. *Journal of Experimental Zoology*, 283, 559–565. DOI: 10.1002/(sici)1097-010x(19990501)283:6<559::aid-jez7>3.0.co;2-4



- Lance, V. A., & Lauren, D. 1984. Circadian variation in plasma corticosterone in the American alligator, *Alligator mississippiensis*, and the effects of ACTH injections. *General and Comparative Endocrinology*, 54, 1–7. DOI: 10.1016/0016-6480(84)90192-8.
- Mahmoud, I. Y., Vliet, K., Guillette, L. J. Jr., & Plude, J. L. 1996. Effect of stress and ACTH1-24 on hormonal levels in male alligators, *Alligator mississippiensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 115, 57–62. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(96\)00002-3](https://doi.org/10.1016/0300-9629(96)00002-3)
- Milnes, M. 2011. Hormones and reproductive cycles in crocodylians. Chapter 11. In D.O. Norris, & K.H. Lopez (Eds.), *Hormones and reproduction of vertebrates* (pp. 305-319), Vol. 3: Reptiles. First edition. USA: Academic Press, Elsevier.
- Moberg, G. P., & Mench, J. A. (Ed.). 2000. *The Biology of Animal Stress. Basic principles and implications for animal welfare*. New York: CABI Pub.
- Pooley, T. 1990. Basic crocodile farming/ranching methods in remote areas. In *Crocodyles. Proceedings of the 10th Working Meeting of the Crocodile Specialist Group* (pp. 123–165). IUCN – The World Conservation Union, Gland, Switzerland.
- Reeder, D. M., & Kramer, K. M. 2005. Stress in free-ranging mammals: integrating physiology, ecology, and natural history. *Journal of Mammalogy*, 86, 225–235. DOI: <https://doi.org/10.1644/BHE-003.1>
- Romero, L. M., & Reed, J. M. 2005. Collecting baseline corticosterone samples in the field: is under 3 min good enough? *Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 140, 73–79. DOI: 10.1016/j.cbpb.2004.11.004
- Romero, L. M. 2002. Seasonal changes in plasma glucocorticoid concentrations in free-living vertebrates. *General and Comparative Endocrinology*, 128, 1–24. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-6480\(02\)00064-3](https://doi.org/10.1016/S0016-6480(02)00064-3)



- Romero, L.M., Dickens, M.J., & Cyr, N.E. 2009 The reactive scope model – a new model integrating homeostasis, allostasis, and stress. *Hormones and Behavior*, 55, 375–389. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2008.12.009
- Rooney, A.A., Crain, A.D., Woodward, A.R., & Guillette, L.J. Jr. 2004. Seasonal variation in plasma sex steroid concentrations in juvenile American alligators. *General and Comparative Endocrinology*, 135, 25–34. DOI: 10.1016/j.ygcen.2003.08.008
- Sapolsky, R.M., Romero, L.M., & Munck, A.U. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21, 55–89. DOI: <https://doi.org/10.1210/edrv.21.1.0389>
- Sánchez-Herrera, O., López, S.G., García, N.O.H.A., & Benítez, D.H. 2011. Programa de Monitoreo del Cocodrilo de Pantano (*Crocodylus moreletii*) México-Belice-Guatemala. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Sheriff, M.J., Dantzer, B., Delehanty, B., Palme, R., & Boonstra, R. 2011. Measuring stress in wildlife: techniques for quantifying glucocorticoids. *Oecologia*, 166, 869–887. DOI: 10.1007/s00442-011-1943-
- Sopinka, N. M., Patterson, L. D., Redfern, J. C., Pleizier, N. K., Belanger, C. B., Midwood, J. D., Crossin, G. T., & Cooke, S. J. 2015. Manipulating glucocorticoids in wild animals: basic and applied perspectives. *Conservation Physiology*, 3, 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1093/conphys/cov031>
- Thorbjarnarson, J. B. 1994. Reproductive ecology of the spectacled caiman (*Caiman crocodilus*) in the Venezuelan Llanos. *Copeia*, 4, 907–919. DOI: <https://doi.org/10.2307/1446713>
- Tokarz, R. R., & Summers, C. H. 2011. Stress and reproduction in reptiles. In D. O. Norris, & K. H. Lopez (Eds.), *Hormones and Reproduction of Vertebrates, Vol. 3, Reptiles* (pp. 169–213). USA: Academic Press, Elsevier.



- Turner, A. I., Keating, C., & Tilbrook, A. J. 2012. Sex differences and the role of sex steroids in sympatho-adrenal medullary system the hypothalamo-pituitary adrenal axis responses to stress. In S. M. Kahn (Ed.), *Sex steroids* (pp. 115–136). Croatia: Tech Publishing.
- Tyrell, C. L., & Cree, A. 1998. Relationships between corticosterone concentration and season, time of day and confinement in a wild reptile (Tuatara, *Sphenodon punctatus*). *General and Comparative Endocrinology*. 110, 97–108. DOI: 10.1006/gcen.1997.7051
- Uribe, M. C., & Guillette, L. J., Jr. (2000). Oogenesis and ovarian histology of the American alligator *Alligator mississippiensis*. *Journal of Morphology*, 245, 225–240. DOI: 10.1002/1097-4687(200009)245:3<225::AID-JMOR4>3.0.CO;2-M
- Wingfield, J. C., Maney, D. L., Breuner, C. W, Jacobs, J. D, Lynn, S., Ramenofsky, M., & Richardson, R. D 1998. Ecological bases of hormone–behavior interactions: the “emergency life history stage”. *American Zoologist*, 38, 191–206. DOI: <https://doi.org/10.1093/icb/38.1.191>
- Wingfield, J. C., & Ramenofsky, M. 1999. Hormones and the behavioral ecology of stress. In P. H. M. Balm (Ed.), *Stress Physiology in Animals* (pp. 1–51). Sheffield, UK: Sheffield Academic Press.
- Wingfield, J. C., & Romero, L. M. 2001. Adrenocortical responses to stress and their modulation in free-living vertebrates. In B. S. McEwen, & H. M. Goodman (Eds.), *Handbook of Physiology; Section 7: The Endocrine System; Vol. IV: Coping with the Environment: Neural and Endocrine Mechanisms* (pp. 211–234). New York, USA: Oxford University Press.



PREPROCESAMIENTO DE DATOS ORIENTADO A LA CRIANZA DE TILAPIAS Y A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Alejandro Leyva Barrientos^{302*}, Diego Esteban Platas Rosado³⁰³, Virginia Lagunes Barradas³⁰², Irma Angélica García González³⁰² y José Gustavo Leyva Retureta³⁰⁴

Resumen

La acuicultura de tilapia en México está experimentando un crecimiento significativo, más del 10% anual en la última década y ofrece oportunidades para contribuir a satisfacer la demanda de alimentos y promover el desarrollo económico. Sin embargo, el consumo energético asociado a la aireación de los estanques acuícolas necesario para la producción intensiva de tilapia plantea desafíos en términos de sostenibilidad y costos operativos.

En este estudio, se propone la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático para optimizar el consumo energético en la cosecha de tilapia. Se recopilaron datos en tiempo real de variables clave, como oxígeno disuelto y temperatura, con el fin de desarrollar un algoritmo de optimización que gestione eficientemente los sistemas de aireación.

Para cumplir con dicho objetivo, se utiliza la metodología CRISP-DM, en este artículo se presentan los resultados obtenidos hasta ahora, que abarcan los primeros 3 pasos, haciendo uso de técnicas de preprocesamiento de datos para garantizar la calidad y confiabilidad de estos, tales como la limpieza de datos, la detección y manejo de valores atípicos, la interpolación de datos faltantes y la normalización de variables, logrando una base de datos sólida para el análisis y la toma de decisiones.

El experimento se realizó en la granja acuícola "Los Chapingos" en Paso de Ovejas Veracruz, donde fue implementado un sistema de sensores programados empleando la plataforma Arduino para recopilar datos en tiempo real en conjunto con el uso de la metodología CRISP-DM.

Este estudio tiene implicaciones importantes para la comunidad científica y los productores acuícolas al proporcionar una herramienta práctica y basada en datos para la toma de decisiones informada de

³⁰² TECNM/Instituto Tecnológico Superior de Xalapa, *217001385@itsx.edu.mx

³⁰³ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz

³⁰⁴ Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica Xalapa, UV.



cuándo prender y apagar los aireadores, debido a que la optimización de la producción y la reducción del impacto ambiental contribuyen al desarrollo sostenible del sector acuícola en México.

Palabras clave: acuicultura sostenible, optimización de recursos y gestión de datos

Introducción

La producción de tilapia, una de las especies acuícolas más relevantes en México y el mundo, ha alcanzado aproximadamente las 101,749 toneladas, situándolo como el noveno productor mundial de esta especie (SADER, 2022).

El cultivo de organismos acuáticos mediante intervención humana para aumentar la producción, denominado acuicultura, ha experimentado un rápido crecimiento en todo el mundo y se ha convertido en uno de los sectores de producción de alimentos de mayor importancia. La proteína de pescados y mariscos para consumo humano ha rebasado en cantidad a cualquier otra proteína animal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022) estima que actualmente la acuicultura representa más del 50% del pescado destinado al consumo alimenticio global. De manera específica, la crianza de tilapia en México ha demostrado ser una fuente importante de alimentos con alta calidad nutricional, al tiempo que ha brindado oportunidades de desarrollo e inversión para los productores mexicanos.

La crianza exitosa de esta especie requiere condiciones ambientales óptimas que garanticen su crecimiento adecuado, por ejemplo la temperatura menor a 20°C inhibe el crecimiento y la reproducción y a menos de 11°C resulta letal, por lo cual es crucial monitorear y controlar los parámetros físico-químicos del agua, como el amonio no ionizado, los nitritos, el dióxido de carbono, los nitratos, el pH y la alcalinidad, para mantener una calidad adecuada del agua durante todo el período de crecimiento de los peces (INAPESCA, 2018). Además, el monitoreo constante del oxígeno disuelto en el agua es fundamental para la vida de la tilapia (Marinho-Pereira, 2020).

El suministro de oxígeno disuelto involucra el uso de energía eléctrica, a través de la incorporación de los llamados sistemas de aireación. Éstos son utilizados para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua, representando una parte significativa de la demanda eléctrica en las granjas acuícolas, principalmente en la noche cuando las micro algas no producen oxígeno (Sánchez-Ramos,



2019) Según Torres Tadeo, (2021) el pago de la electricidad representa del 20 al 28% de los costos variables en la producción de tilapia, independientemente del tamaño del productor.

La eficiencia energética y un control adecuado de los sistemas de aireación son aspectos clave para optimizar la producción acuícola en México. Sánchez Ramos (2019), resalta que las deficiencias en las granjas acuícolas, como la falta de instalaciones adecuadas, el incorrecto uso de los equipos y la selección inadecuada de equipos eléctricos, son deficiencias que pueden tener un impacto negativo en el uso de energía de las granjas.

En respuesta a estos desafíos, se propone implementar un algoritmo que permita analizar y generar un patrón de utilización de los sistemas de aireación, asegurando condiciones adecuadas de oxigenación para los peces y logrando un consumo energético eficiente. Este algoritmo se basará en el análisis de variables clave, como el oxígeno disuelto, la temperatura y la radiación ultravioleta, y su impacto en el consumo de energía en las granjas acuícolas.

Para optimizar el uso de los sistemas de aireación y garantizar condiciones adecuadas de oxigenación para los peces, es fundamental contar con datos de entrada confiables y de calidad. Además de realizar tareas de preprocesamiento de datos que aseguren que éstos cumplan con las características idóneas para su análisis. El preprocesamiento incluye tareas tales como, la limpieza de datos, la detección y manejo de valores atípicos, la interpolación de datos faltantes y la normalización de variables, entre otros.

Con esto, se examina cómo estas tareas permitirán obtener datos preprocesados para ser utilizados posteriormente, en la implementación de algoritmos para una mejor gestión de los sistemas de aireación y un consumo energético más eficiente.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

Todos los experimentos fueron llevados a cabo en la granja acuícola "Los Chapingos", ubicada en la localidad de Caño Prieto, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz ($19^{\circ}17'36.3''N$ $96^{\circ}22'06.5''W$) de diciembre 2022 a abril de 2023. La ubicación precisa de la instalación puede ser apreciada en la Figura 1, la cual muestra una vista aérea obtenida directamente de Google Maps. Cabe destacar que esta denominación que se muestra en la imagen ya es empleada por todos los usuarios de la instalación, por



lo tanto, con el fin de evitar confusiones, se mantendrá para el presente proyecto. Cada estanque tiene un diámetro de 25 m y una forma cónica dando una profundidad mínima de 1.5 m en las orillas y 3 m en el centro.



Figura 1. Vista aérea de la granja acuicola “Los chapingos”. Fuente: Elaboración propia, Google Maps.

Metodología CRISP DM

El Proceso Estándar entre Industrias para la Minería de Datos (Cross-Industry Standard Process for Data Mining, CRISP-DM), es una metodología comprobada para guiar el trabajo de minería de datos, la cual incorpora un resumen de su ciclo de vida (Sosa, 2022) El diagrama de esta metodología se muestra en la Figura 2.

Durante la implementación del proyecto, se hizo uso de las tres primeras fases de la metodología CRISP-DM:

1. Comprensión del negocio.
2. Comprensión de los datos.
3. Preparación de los datos

Las tareas específicas realizadas por cada fase se muestran en la Figura 3.

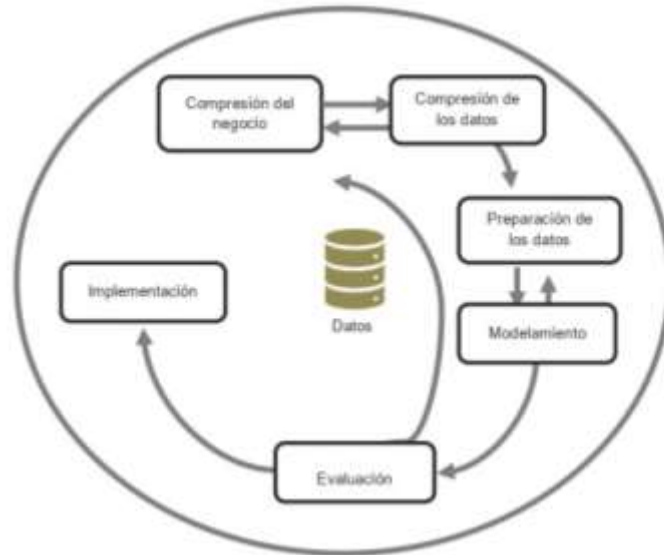


Figura 2 Diagrama de la Metodología CRISP-DM (Mancilla-Vela, 2020).

Comprensión del negocio

Se refiere al análisis detallado de la situación actual de una empresa. Permite planificar el proyecto con actividades y tareas basadas en los datos relevantes para el negocio. Su objetivo es obtener un entendimiento profundo y maximizar el éxito empresarial (Paneluisa, 2023).

Determinar objetivos del negocio: en primer lugar, se determinaron los objetivos del negocio, esto se logró a través de entrevistas con el propietario y trabajadores de la granja. Además, para comprender el fenómeno a estudiar, fue necesario adentrarse en el dominio del negocio, es decir, en el proceso de cultivo de tilapia, por lo que se acudió con el propietario y las personas que laboran en la granja, mediante las cuales se comprendieron las tareas involucradas en el proceso de crianza de tilapia, así como los horarios de aireación, las características y necesidades de los especímenes y el funcionamiento en general de las instalaciones.

Evaluar la situación: No se contaba con datos acerca del comportamiento real del oxígeno disuelto en los estanques durante las 24 horas, por lo que se tuvo que generar un equipo para su adquisición. El proyecto requirió un equipo multidisciplinario con experiencia en acuicultura, minería de datos y análisis de datos. En cuanto a los factores de riesgo, se identificaron posibles fallos en la recopilación de datos, errores en las mediciones, inconsistencias en los datos recopilados y problemas técnicos en los equipos de adquisición de datos, además de los eventos meteorológicos que puedan causar contratiempos en las mediciones.

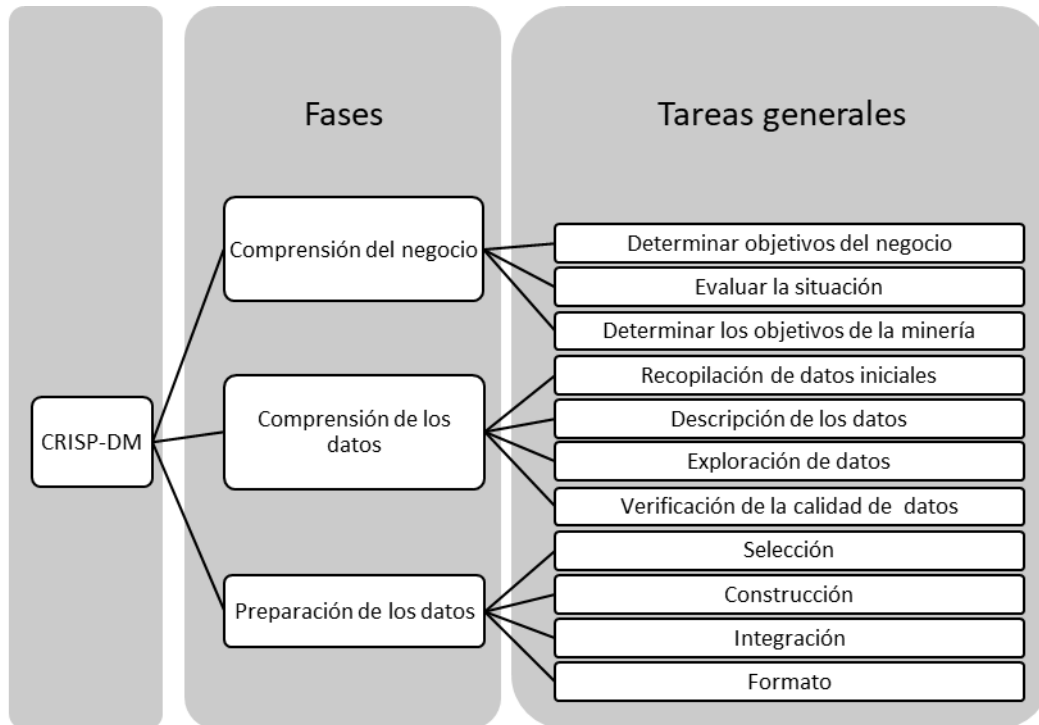


Figura 3. Fases de la metodología CRISP-DM. Elaboración propia.

Determinar los objetivos de la minería: identificar patrones de consumo energético en función de variables clave, como el oxígeno disuelto y la temperatura, crear modelos utilizando datos históricos para predecir el consumo energético futuro, estos objetivos nos permitirán tomar decisiones informadas y diseñar estrategias específicas para mejorar la eficiencia energética en las granjas acuícolas, contribuyendo así al logro del objetivo de reducir el consumo de energía.

Comprensión de los datos

Se refiere al proceso de análisis y exploración de las fuentes de información seleccionadas o recolectadas. En esta etapa, se emplea la estadística descriptiva y se representan los datos con el fin de comprender sus comportamientos. Este conocimiento permite la elección de modelos de aprendizaje de máquina adecuados como candidatos para el proyecto. (Baquero, 2023)

Para entender los datos implícitos en esta investigación, se comenzó por realizar el diseño experimental de las distintas tareas a realizar, definiendo las variables implícitas en cada parte del proceso. La Figura 4, muestra las características del diseño experimental, donde se puede apreciar que las variables de entrada son el nivel de oxígeno y la temperatura; las variables controladas, son el tipo de aireador y sus tiempos de encendido y apagado; las variables no controladas para este caso son la temperatura



atmosférica, la luz solar, el clima y el tiempo. Finalmente, la respuesta que se observará será el oxígeno disuelto, la temperatura y la energía eléctrica consumida en el sistema.

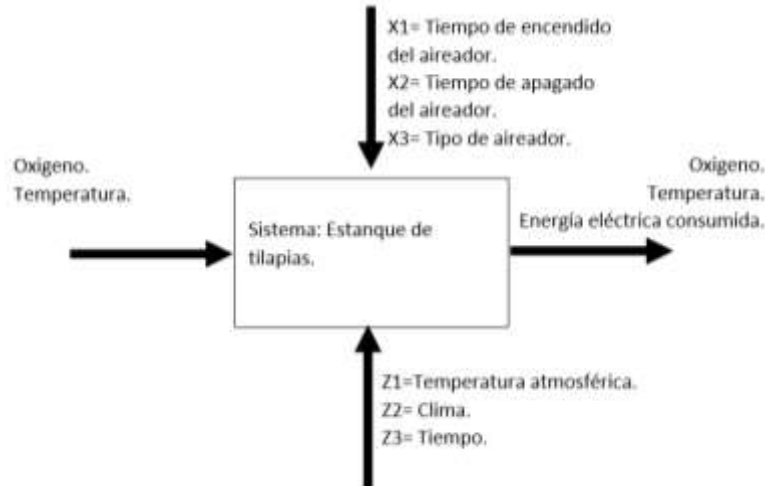


Figura 4 Diagrama del diseño experimental. Elaboración propia.

Recopilación de datos iniciales: Habiendo determinado las variables a medir, se generó un dispositivo que permitiera monitorear y registrar las variables en tiempo real. Por lo que mediante una sonda analógica de oxígeno disuelto de la marca DF-Robots, la cual es compatible con la plataforma Arduino. Este producto se utiliza para medir el oxígeno disuelto en el agua, para reflejar la calidad del agua. Además de la sonda de oxígeno disuelto, se agregó un sensor DS18B20, el cual se utiliza para medir la temperatura del estanque; ambas sondas, se ilustran en la Figura 5.



Figura 5 Sonda de oxígeno disuelto y temperatura.



Asimismo, se incorporó el módulo HR0104 para registrar los datos en una memoria micro SD, en conjunto con el módulo KNACRO IIC I2C TWI 1602 mediante el cual se visualizan los datos en tiempo real, para alimentar la placa se agregó un regulador de voltaje DC-DC LM2596 y para facilitar la hora de registro de las variables se utilizó el módulo RTC DS3231.

Descripción de los datos: para este caso sólo se contaba con 4 datos iniciales, el día de medición, la hora, el nivel de oxígeno disuelto y la temperatura. Las mediciones se realizaron en un muestreo ~~toma~~ por segundo, y hasta el momento se han realizado tres repeticiones de medición.

Exploración de datos: se generó una visualización del comportamiento de las variables, que permitió tener una perspectiva preliminar del fenómeno en cuestión, cómo se observa en la Figura 6, se tiene un registro de una de las primeras gráficas del comportamiento del oxígeno disuelto. En la escala horizontal se muestra el tiempo en que se tomó la medida el cual se compara en el eje vertical con la concentración del oxígeno disuelto en mg/L. Se infiere que durante los días 11 y 12 hubo un menor nivel de saturación de oxígeno debido a que disminuyó la radiación solar por la nubosidad (Pinares Gamarra, 2022).



Figura 6. Comportamiento del Oxígeno disuelto.

Con lo que se observó el comportamiento del oxígeno disuelto, además con esto se determinó el tipo de algoritmo que se propone resolverá de la mejor manera el comportamiento de las variables, preparando los datos para la aplicación del algoritmo. Verificación de la calidad de datos: para la revisión de la



calidad, se analizó junto al experto en el área de acuicultura el comportamiento del oxígeno disuelto, para cotejar si el comportamiento presentando era el esperado. A su vez, se corrigió parte del código para aumentar la exactitud de la medición.

Preparación de los datos

Se realizaron las siguientes actividades previo al análisis de los datos:

- a) Selección de datos: de primera instancia, se seleccionaron ambas variables medidas durante los periodos nocturnos;
- b) limpieza de datos: se llevaron a cabo acciones de limpieza para eliminar errores y valores atípicos que pudieran afectar la calidad de la información;
- c) Construcción de nuevos datos: se generaron variables adicionales o se derivaron características nuevas a partir de los datos existentes, con el objetivo de enriquecer el análisis y mejorar la precisión del modelo. Para ello, se estableció un sistema basado en reglas, según la información obtenida del INAPESCA (2018), donde se asignaron etiquetas para clasificar la calidad del oxígeno y la calidad de la temperatura a partir de determinados rangos (Cuadro 1 y Cuadro 2).

Cuadro 10. Evaluación del oxígeno disuelto.

Evaluación	Rango (mg/l)
Óptimo	$5 \leq \text{Oxígeno} \leq 15$
Mortal	$0 \leq \text{Oxígeno} < 3$
Tolerable	$3 \leq \text{Oxígeno} < 5$
Error, dato fuera de rango	$\text{Oxígeno} < 0$
Sobreoxigenado	$15 < \text{Oxígeno}$

Cuadro 11. Evaluación de la temperatura.

Evaluación	Rango (°C)
Baja temperatura	$\text{Temperatura} < 22^\circ$
Temperatura ideal	$24^\circ < \text{Temperatura} < 29^\circ$
Alta temperatura	$32^\circ < \text{Temperatura}$
Dentro de los límites ideales	$22^\circ = < \text{Temperatura} = < 24^\circ$
	$29^\circ = < \text{Temperatura} = < 32^\circ$



Con base en la asignación de etiquetas, se evalúan ambos parámetros y se crea una clasificación para la calidad del estanque, donde se determina si es ideal, si ambas etiquetas cumplen con ser óptimo e ideal, y de ahí parten diferentes clasificaciones, dependiendo el estado de ambos parámetros

d) Integración de datos: se combina el uso de etiquetas, así como los valores de las variables, para obtener una visión más completa y representativa de la acuicultura de tilapia. La figura 7, muestra el comportamiento del oxígeno disuelto durante un intervalo del 6 al 12 de marzo de 2023, además se visualiza el comportamiento de la variable, se muestra la clasificación de la calidad del estanque, donde el color rojo representa condiciones mortales para los especímenes, el verde óptimo, pero no ideal, lo que significa que aún se puede mejorar cualquiera de los parámetros, y en el caso de la sección azul, reporta que la temperatura fue mínimo superior a los 32°C.

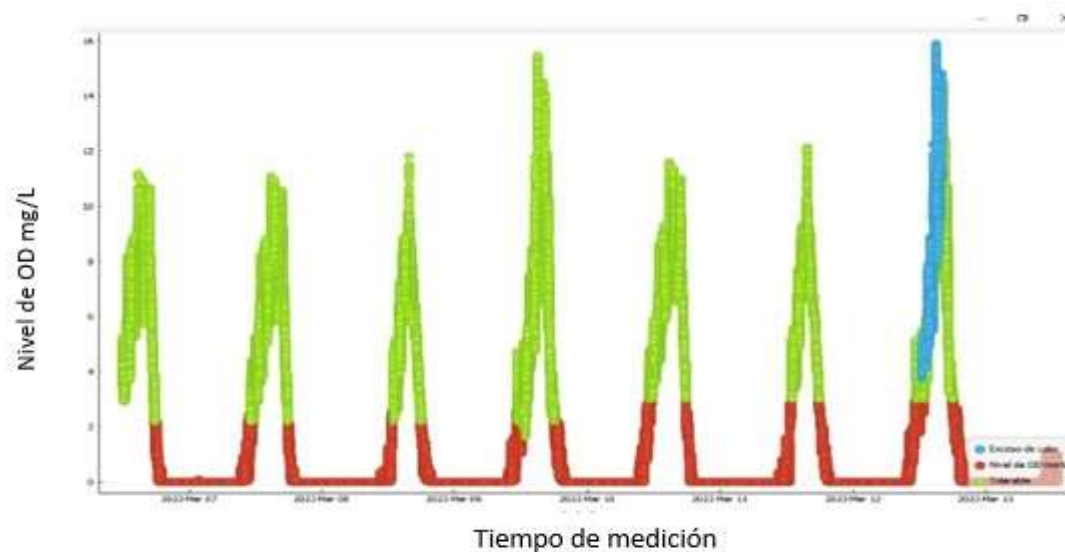


Figura 7. Histograma del comportamiento del oxígeno disuelto. Fuente: Elaboración propia.

e) Formateo de datos: se estandarizaron los datos y se les dio un formato coherente, asegurando su compatibilidad para el análisis subsiguiente. (Cuadro 3).



Cuadro 12. Tabla descriptiva de los datos.

Atributo	Descripción	Formato
Fecha	Fecha de registro de la medición	DD/MM/AAAA
Hora	Hora de registro de la medición	HH:MM:SS
OD	Oxígeno disuelto medido en el agua del estanque	mg/L
TEMP	Temperatura registrada en el estanque	°C
CAL-OD	Acorde a las necesidades de las tilapias, que tan bueno o malo es el oxígeno disuelto	Texto
CAL TEMP	Acorde a las necesidades de las tilapias, que tan bueno o malo es la temperatura	Texto
CAL FIN	Se evalúa el estado del Oxígeno y de la temperatura, para determinar si el estanque es ideal para la cosecha o no	Texto
FechaHora	Concatenación de la fecha y hora	DD/MM/AAAA HH:MM:SS

A pesar de todo el preprocesamiento realizado, fue necesario aumentar el volumen de los datos, para tener muestras representativas que permitieran predecir, de manera más efectiva, el comportamiento del oxígeno, por lo que una segunda etapa de recolección de datos fue crucial para la realización de dicha tarea.

A partir del comportamiento de los datos derivados de diseños experimentales subsecuentes, se procederá a calcular la energía eléctrica consumida para cada caso, y a entrenar el algoritmo, con la finalidad de determinar si los algoritmos generan una respuesta más eficiente a este tipo de problemas.

Resultados y Discusión

Se generó una base de datos, con el formato que se observa en el Cuadro 3, el cual integra las variables a estudiar y se considera el tiempo de registro; dicho formato permitió un registro adecuado del comportamiento de las variables.



A su vez, el análisis exploratorio permitió conocer datos de interés como: puntos máximo y mínimo de las variables y sobretodo conocer en qué momento se presentaban. También se analizaron los puntos de inflexión, en qué momento se llega a un pico y comienza a cambiar. Con el etiquetado, se determinó la relación horaria del comportamiento del oxígeno disuelto y la calidad del estanque en general.

Es importante destacar, que, teniendo esta visualización de datos, es posible que los productores comiencen a tomar decisiones no sólo basados en la experiencia, sino en el comportamiento de los datos. Sin embargo, aún es necesario procesarla para determinar un horario de encendido y apagado que pueda ser más eficiente que utilizado en la actualidad.

Para trabajos futuros, se enfocará en el modelamiento de los algoritmos predictivos o descriptivos mediante técnicas avanzadas, como redes neuronales y algoritmos de aprendizaje profundo, buscando *insights* para una toma de decisiones fundamentada. Además, se explorarán enfoques de evaluación más avanzados, como validación cruzada y análisis de robustez, para determinar la calidad y precisión de los modelos propuestos. Por último, se buscará implementar los modelos en entornos operativos, considerando la optimización, escalabilidad y desarrollo de interfaces interactivas para una implementación exitosa en sistemas empresariales o de tiempo real.

Conclusiones

1. En resumen, el preprocesamiento de datos desempeña un papel fundamental en la crianza de tilapias y en la búsqueda de la eficiencia energética en las granjas acuícolas, ya que ésta permite identificar y, por lo tanto, reducir los costos derivados de energía eléctrica por la aireación.
2. En este estudio, las técnicas de preprocesamiento para garantizar la calidad y confiabilidad de los datos, proporcionó una base sólida para su futuro análisis y la toma de decisiones.
3. La implementación de la metodología CRISP-DM brindó una estructura y guía para el trabajo de minería de datos, estableciendo objetivos de investigación, recopilando datos en tiempo real y llevando a cabo el preprocesamiento.
4. Las conclusiones obtenidas tienen implicaciones importantes tanto para la comunidad científica como para los productores acuícolas, ya que al optimizar la producción y reducir el impacto ambiental, se contribuye al desarrollo sostenible del sector acuícola en México.



Literatura Citada

- Baquero Tibocho, D. 2023. Implementación de un prototipo de software para predecir complicaciones en pacientes en unidad de cuidados intensivos pediátricos (UCIP), a través de modelos de aprendizaje automático. Universidad Nacional de Colombia. 103p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2022. *Acuicultura*. Obtenido de Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación: <https://www.fao.org/aquaculture/es/>
- INAPESCA (Instituto Nacional de Pesca). 2018. *Acuicultura Tilapia*. Obtenido de Instituto Nacional de Pesca: <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>
- Mancilla-Vela, G. L. G. O. S. 2020. Factors associated to student success in online learning: a data mining analysis. *Formacion Universitaria*, 13(6): 23-36.
- Marinho-Pereira, T. J. 2020. Tecnología biofloc: datos, estudios y experiencias para el desarrollo de la acuicultura latinoamericana. *Brazilian Journal of Development*, 6(2): 7847-7862.
- Paneluisa, H. J. T. 2023. Análisis de Alerta Temprana de la extinción de aves, usando Modelos de Machine Learnin. *Kalpa Publications in Computing* (15): 43–57.
- Pinares Gamarra, C. 2022. Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Perú. 225p
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2022. *Acuicultura en México*. Obtenido de Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-en-mexico>
- Sánchez-Ramos, C. A. R. R. V. 2019. Análisis de eficiencia energética en una granja de producción acuícola. *International Energy Conference*: 139-146



Sosa, D. T. 2022. Modelo de Inteligencia de Negocios para el análisis de la deserción estudiantil en las Instituciones de Educación Superior. *Memorias Sucre Review*, 2(1).

Torres Tadeo, C. M. 2021. Analysis of the Tilapia (*Oreochromis spp.*) Value Chain in the State of Veracruz Rural Aquaculture for the Small Producer. *Agro Productividad*, 14 (4): 113-118.



ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO SOBRE EL ESTADO ACTUAL DEL BIENESTAR ANIMAL DE LA ACUICULTURA ENFOCADO A *Oreochromis niloticus*

José Axel Solano Aguilera^{305*}, Alberto Asiain Hoyos³⁰⁵, Juan Lorenzo Reta Mendiola³⁰⁵, Alejandra Ramírez Martínez³⁰⁵, Verónica Lango Reynoso³⁰⁵ y Antonio Campos Mendoza³⁰⁶

Resumen

Al considerar el bienestar animal parte fundamental de los cultivos acuícolas, se agrega valor a los organismos destinados al consumo, esta diferenciación se identifica con aumentos en la calidad de la carne, el rendimiento del cultivo, y en el costo de venta, mediante alguna certificación, además de del efecto positivo en las especies en producción. Actualmente la tilapia (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies más cultivadas a nivel mundial y nacional, por sus beneficios económicos, productivos y alimenticios. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue conocer el estado actual del bienestar animal en los cultivos acuícolas de *Oreochromis niloticus* mediante un análisis bibliométrico, efectuado en la base de datos Dimensions, considerando criterios como fecha de publicación del año 2013 al año 2023, palabras clave como “*Oreochromis niloticus*” y “Welfare” en resumen y objetivo de los artículos, revistas de carácter internacional y disciplinas relacionadas con la cuestión del bienestar animal. Se obtuvieron 84 publicaciones, donde cuatro cumplieron con los criterios de búsqueda, adicionalmente se incluyeron 16 publicaciones del año 2021 y 15 del año 2022 por relacionarse con algún criterio. Se identificó que los trabajos no atienden directamente el bienestar animal en tilapia, por corresponder a disciplinas distintas no vinculadas con el tópico de interés. Se concluye que, en los trabajos analizados no se considera la dimensión social como relevante en la presencia de bienestar en como parte del manejo en los cultivos acuícolas

Palabras clave: estado del arte, producción acuícola, tilapia, buenas practicas

³⁰⁵ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *solano.axel@colpos.mx

³⁰⁶ Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.



Introducción

Los estudios sobre bienestar animal son clave en el proceso de generación de conocimiento, ya que diversos estudios plantean que este tema no ha permeado en la sociedad, generando un vacío de conocimiento, por lo que se considera un tema tabú. El bienestar de un individuo es su estado con respecto a sus intentos de hacer frente a su entorno. A veces se puede hacer frente con poco esfuerzo y gasto de recursos, en cuyo caso el bienestar del individuo es satisfactorio (Broom, 1986). Como plantea (Cordova *et al.*, 2009), el bienestar animal es un asunto de suma importancia, que debe considerarse en cualquier sistema que albergue especies tanto terrestres, voladoras o acuícolas. En la acuicultura existen diversas opiniones sobre la capacidad de reacción de los organismos, ya que se consideran poco inteligentes, sin embargo (Kristiansen & Bracke, 2020) mencionan que los peces responden a estrés mediante estímulos nerviosos y fisiológicos, por lo que es preciso incluir métodos de manejo y sacrificio éticos. El bienestar animal no solo beneficia a los organismos de producción, sino que también otorga a los productores ganancias en rendimiento. (Fernandes *et al.*, 2021) plantean que, si bien no siempre existen ganancias económicas, es importante considerar que, en la producción de proteína animal, incluyendo la acuícola, un bienestar animal deficiente a menudo tiene implicaciones en métricas de productividad, como fertilidad y condición corporal; factores clave para la rentabilidad de los sistemas de producción.

La Tilapia (*Oreochromis niloticus*) es una de las especies más cultivadas a nivel Mundial, incluyendo a México, es por ello la importancia de mantener a los peces en condiciones adecuadas para su desarrollo óptimo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2020), la tilapia se encuentra entre las especies más producidas mediante acuicultura a nivel mundial, con crecimiento anual de 7% en los últimos años, se estima que esta producción alcanzó los 6 millones de toneladas en 2020. Se determinó que algunas de las prácticas comunes en la acuicultura, como la clasificación de individuos por tamaños, renovación de agua, densidad de población e iluminación ambiental, influyen las interacciones sociales agresivas de la tilapia e impactan en su bienestar (Ornelas-Luna *et al.*, 2017)

La FAO (2019), expresa fehacientemente que el estado actual del conocimiento científico sobre el bienestar animal puede integrarse en las prácticas acuícolas, evitando problemas de salud en los organismos y alentando una mejor producción.



A nivel mundial, existen varias leyes, directrices y organizaciones intergubernamentales y de la sociedad civil que protegen a los animales del abuso y crueldad durante su producción y experimentación. La World Organization for Animal Health (WOAH), promueve iniciativas basadas en investigación científica que buscan participación de las partes interesadas para generar una visión holística de los sistemas de producción animal y acuícolas, al incluir la salud en interrelacionada entre animales, personas y ambiente.

La Unión Europea en 2016, convocó mediante una comisión a la participación de actores relacionados con bienestar animal destacando organizaciones empresariales y profesionales, organizaciones de la sociedad civil y expertos independientes procedentes de centros de investigación, así como agencias internacionales como la WOAH, la FAO y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).

En México, existe una problemática compleja para favorecer el bienestar animal, ya que este, junto con el maltrato y el abuso animal no están regulados (Heredia *et al.*, 2021). La Ley Federal de Sanidad Animal, es la encargada de procesos en materia de bienestar animal, en dicha ley se propone emplear los manuales de buenas prácticas de producción para cada especie, sin embargo, no cuenta con mecanismos que aseguren la correcta aplicación de las buenas prácticas en los animales en producción, ni exime a estos de enfermedades, estrés o sufrimiento. En adición, en nuestro país, el bienestar animal no se fomenta en las aulas y entre la población en general, perpetuando el sufrimiento de los organismos para consumo (Garcia & Garcia, 2017)

Por ello, el objetivo de este trabajo fue elaborar un análisis bibliométrico sobre el bienestar animal en el cultivo de tilapia, utilizando una plataforma digital de vanguardia, para obtener el panorama internacional actual sobre los trabajos de investigación relacionados con el tema.

Materiales y Métodos

Se realizó una búsqueda de literatura sobre estudios de bienestar animal en tilapia, utilizando la plataforma Dimensions (<https://www.dimensions.ai/>). Se utilizaron criterios de búsqueda en los resúmenes y títulos como: años recientes (2013 a 2023) y palabras clave “Welfare” y “*Oreochromis niloticus*”. Se utilizó la visualización que otorga Dimensions en conjunto con VOSviewer en línea, el cual es un software para el análisis bibliométrico para importar datos de las bases científicas y construir y visualizar mapas bibliométricos por año, número de publicaciones, citas y coautorías. El



programa ofrece un visor para examinar los mapas bibliométricos con todo detalle (Van & Waltman, 2010). Además, se analizaron los resúmenes de cada publicación e integraron en una base de datos para su posterior clasificación que incluye: título del trabajo, disciplina, aportación y fase de la cadena productiva.

Resultados y Discusión

Basado en los criterios de búsqueda antes mencionados, se encontraron 84 artículos relacionados con bienestar animal, de los cuales se descartaron 80 trabajos debido a que los objetivos de la investigación contemplan distintos enfoques disciplinarios. La Figura 1 muestra el número de publicaciones por año, destacando que el año 2017 fue cuando se realizó menor investigación con respecto a bienestar animal en tilapia, publicándose dos artículos, mientras que el año 2021 fue cuando se realizó el mayor número de publicaciones, encontrándose 16; no obstante, el incremento en la tendencia, en los dos últimos años se identificaron 10 artículos en el año 2023.

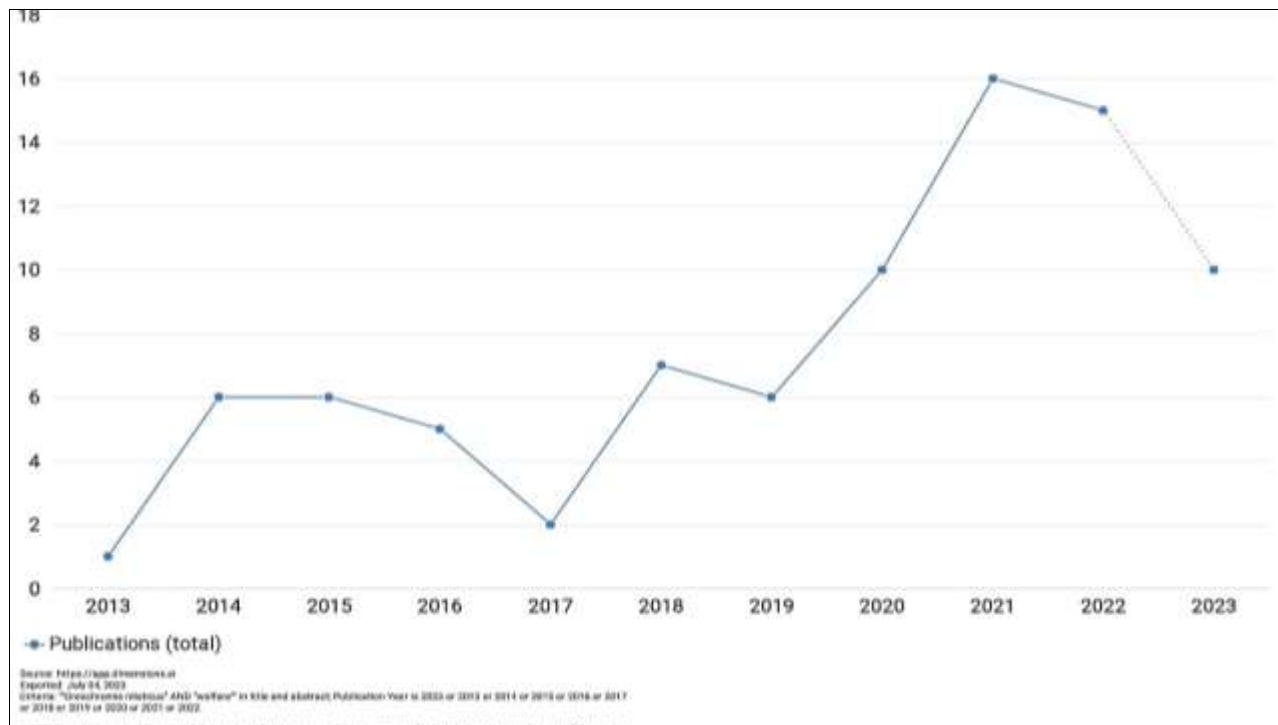


Figura 1. Número de publicaciones relacionadas con bienestar animal de *O. niloticus* por año.



Las revistas con mayor número de publicaciones son: Aquaculture (12), Aquaculture Research (4), Animals (3), Journal of Applied Animal Welfare Science (3), y Aquaculture Reports (3), entre otras, con uno o dos artículos. Los campos de investigación de estas revistas se encuentran principalmente en Ciencias agrícolas, veterinarias y alimentarias (ciencias pesqueras, producción animal) y Ciencias biológicas (zoología).

En la Figura 2 se muestran 10 investigadores, de un total de 51 con 231 enlaces de citación, 290 citas totales divididos en cuatro clústeres. Se distingue que, el autor más productivo es de origen egipcio, siendo Abdel-Tawwab Mohsen con ocho publicaciones hasta el momento, seguido de autores con cuatro trabajos publicados: Eliane Goncalves de Freitas y Percilia Cardoso Giaquinto. Posteriormente, con tres trabajos se encuentra Pablo A. Orozco-Terwengel.

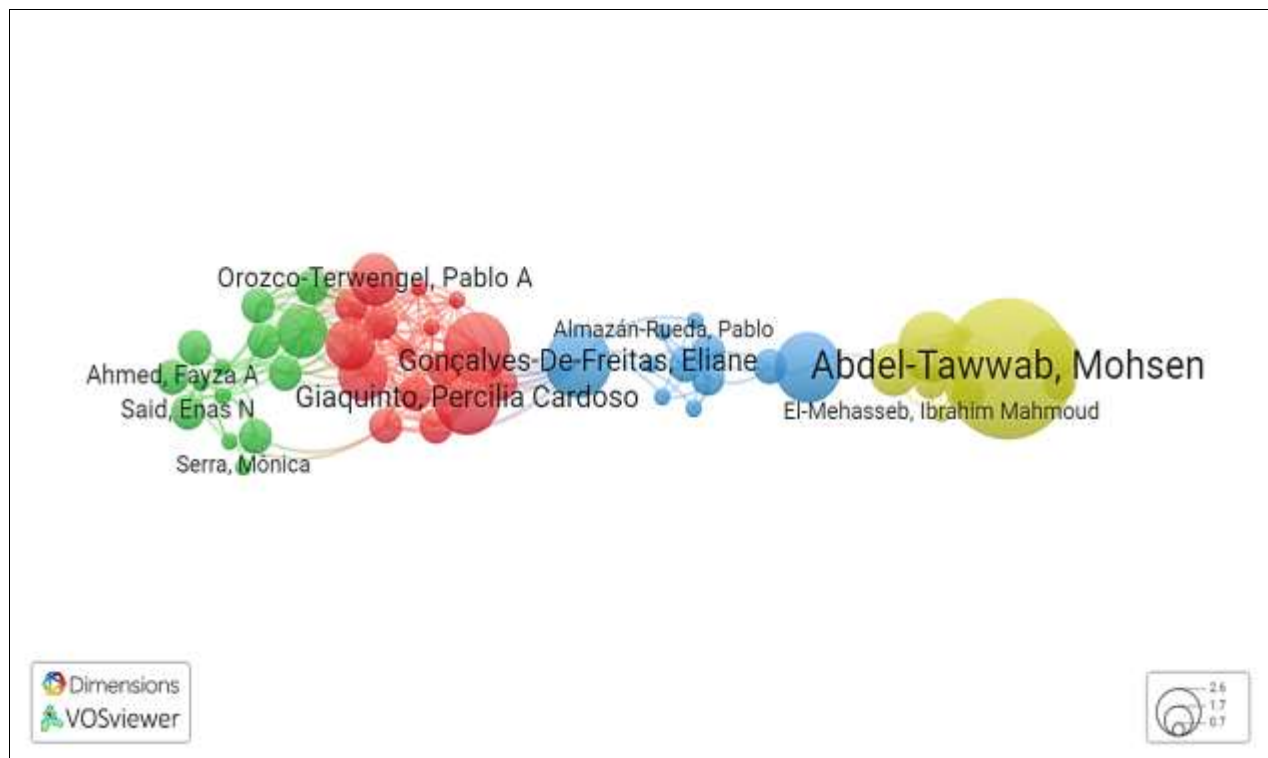


Figura 2. Mapa de las redes de citación de investigadores de bienestar animal en *O. niloticus*.

La Figura 3 muestra 19 investigadores resaltando al investigador Abdel-Tawwab, Mohsen con mayor número de artículos (8), seguido de Shukry, Mustafa (4) y Adeshina, Ibrahim (3) de los cuales existen 75 enlaces de coautorías de un total de 90 enlaces divididos en tres clústeres. La mayoría de los autores

corresponden a la Universidad Kafrelsheikh y al Centro de Investigación Agrícola en Egipto. Además, las líneas de investigación son especializadas en investigaciones de agricultura.

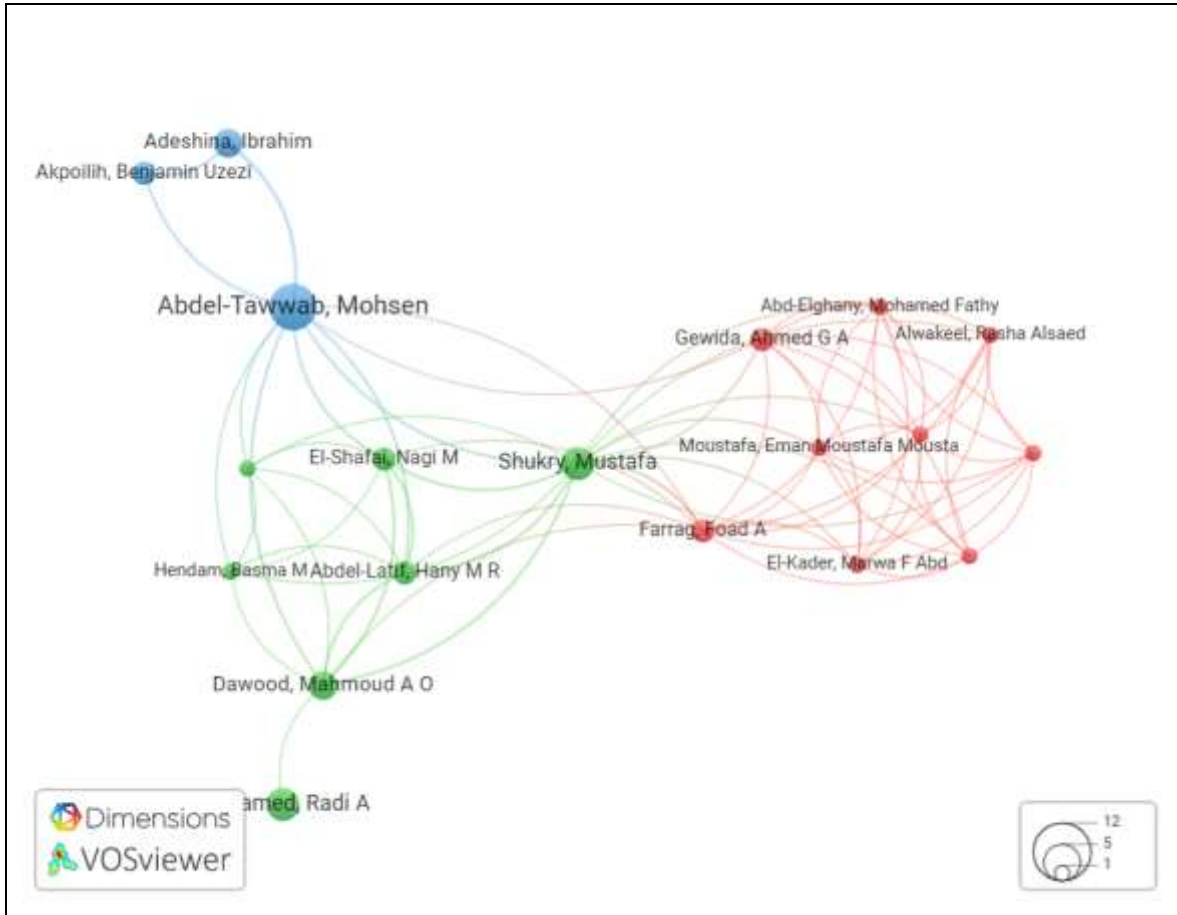


Figura 3. Mapa de las redes de coautorías de investigadores de bienestar animal en *O. niloticus*.

En el Cuadro 1 se observan cuatro trabajos sobre el estrés en *O. niloticus*, como un factor que debe evitarse, para considerar a un organismo con bienestar animal, además de tener una perfecta armonía con su entorno, tal como lo menciona Gamboa (2013). En dichos estudios se consideran distintas etapas en el cultivo de tilapia, realizados en unidades de producción acuícolas, fortaleciendo la necesidad de realizar investigación sobre bienestar animal en el eslabón de producción de la cadena de producción acuícola de tilapia. Un artículo trató el estrés pre-sacrificio y sacrificio, mostrando que existe poca sensibilización al respecto. El año 2022 fue el último periodo cuando se realizó la última publicación sobre bienestar animal en tilapia, según los filtros adecuados a esta metodología y el



buscador utilizado para este trabajo. Tres de los cuatro trabajos considerados son de instituciones de Brasil y una de Egipto.

Cuadro 1. Aportaciones al bienestar animal en el cultivo de *O. niloticus*.

Etapa de cultivo	Aportaciones	Año	Referencia
Cría, preengorda, engorda	Prueba de preferencia de sustrato en <i>O. niloticus</i> , demostró que prefiere los tipos de sustrato finos (arenas), más que los gravosos. Esto reduce el estrés del organismo en ambientes controlados.	2018	(Maia & Volpato, 2018)
Engorda	Canabidiol mezclado con alimento de peces, ha demostrado ser útil en la reducción de estrés.	2022	(Camargo-dos-Santos <i>et al.</i> , 2022)
Cosecha	La reducción lenta de la altura de la columna de agua durante la cosecha produce estrés por hacinamiento que altera el estado de salud y el bienestar de la tilapia.	2015	(Mohamed <i>et al.</i> , 2015)
Pre-sacrificio y sacrificio	Los tratamientos anestésicos para aminorar sensibilidad en sacrificio en <i>O. niloticus</i> han demostrado ser efectivos para reducir sufrimiento.	2021	(Camargo-dos-Santos <i>et al.</i> , 2021)

Conclusiones

1. Si bien los autores de origen egipcio son los que cuentan con mayor número de publicaciones a nivel internacional, no todos los trabajos son especializados en materia de bienestar animal en tilapia, sino que realizan experimentaciones en temas relacionados.



2. A pesar de los avances científicos y la difusión dada a los temas relacionados con maltrato y bienestar animal, existe una disminución en el número de publicaciones y trabajos de investigación realizados en los últimos años relacionados con el tema.
3. En la mayoría de los trabajos encontrados, el bienestar animal no es el objeto principal de estudio, sino más bien resultado de experimentaciones de otras disciplinas que derivan en factores para la mitigación de estrés en cultivos acuáticos, por ello, el reducido número de artículos seleccionados que cumplieron con los criterios de búsqueda.
4. Ninguna investigación de las señaladas en este trabajo, se centró en analizar o injerir en aspectos de tipo social, como factor de importancia en la percepción de bienestar animal en la acuicultura, pues los productores son quienes deciden sobre el manejo animal en sus sistemas de producción.

Literatura Citada

Broom, D. M. 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal*, 142(6): 524–526.

Camargo-dos-Santos, B., Bellot, M. S., Guermandi, I. I., Favero-Neto, J., da Silva Rodrigues, M., da Costa, *et al.* 2022. Cannabidiol improves Nile tilapia cichlid fish welfare. *Scientific Reports*, 12(1), 17650.

Camargo-dos-Santos, B., Carlos, C. L., Favero-Neto, J., Alves, N. P., Gonçalves, B. B., & Giaquinto, P. C. 2021. Welfare in Nile Tilapia Production: Dorsal Fin Erection as a Visual Indicator for Insensibility. In *Animals* 11 (10), 3007 <https://doi.org/10.3390/ani11103007>.

Cordova Izquierdo, A., Ruiz Lang, C. G., Saltijeral Oaxaca, J. A., Xolalpa Campos, V., Cortés Suárez, S., Méndez Mendoza, *et al.* 2009. Importancia del bienestar animal en las unidades de producción animal en México-Importance of animal welfare in units of animal production in México. *Redvet*.



- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2019. Welfare of fishes in aquaculture. European inland fisheries and aquaculture advisory commission (EIFAAC), 18.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2020. State of World Fisheries and Aquaculture. State of World Fisheries and Aquaculture, 244.
- Fernandes, J. N., Hemsworth, P. H., Coleman, G. J., & Tilbrook, A. J. 2021. Costs and benefits of improving farm animal welfare. *Agriculture*, 11(2), 104.
- Garcia, A. D. M., & Garcia, J. J. M. 2017. Bienestar animal y legislación; El reto de los animales destinados al consumo humano en México. *DA. Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, 8(3): 1-24.
- Heredia Antúnez, A. P., Vanda Cantón, B., & Santillán-Doherty, P. 2021. Retos de los comités de ética en investigación en animales. Experiencia de México. *Revista de Bioética y Derecho*, 51: 99-121.
- Kristiansen, T. S., & Bracke, M. B. 2020. A Brief Look into the Origins of Fish Welfare Science. *In: Kristiansen, T., Fernö, A., Pavlidis, M., van de Vis, H. (eds) The Welfare of Fish. Animal Welfare*, vol 20. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41675-1_1.
- Maia, C. M., & Volpato, G. L. (2018). Individuality matters for substrate-size preference in the Nile tilapia juveniles. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 21(4), 316–324.
- Mohamed, R., Abouelenien, F., Elsaidy, N., & Hamza, A. (2015). Impact of water column reduction rate at harvesting of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on skin injuries, hematological and biochemical parameters and bacterial load of fish and water: a field study. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 19(4), 9–22.



Ornelas-Luna, R., Aguilar-Palomino, B., Hernández-Díaz, A., Hinojosa-Larios, J. Á., & Godínez-Siordia, D. E. (2017). Un enfoque sustentable al cultivo de tilapia. *Acta Universitaria*, 27(5), 19–25.

Van Eck, N., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538.



EVALUACIÓN MULTICRITERIO APLICADA A SIG PARA EL CULTIVO DE LANGOSTINO (*Macrobrachium rosenbergii*) EN VERACRUZ, MÉXICO

Karla Teresa González Figueroa^{307*}, Juan Lorenzo Reta Mendiola³⁰⁷, Verónica Lango Reynoso³⁰⁷
y Felipe Gallardo López³⁰⁷

Resumen

El estado de Veracruz cuenta con las condiciones biológicas y climáticas para el cultivo de *Macrobrachium rosenbergii* sin embargo no se ha realizado un estudio que contenga esta información en este estado en particular, para incrementar su producción. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar sitios potenciales de cultivo de *Macrobrachium rosenbergii* en el Estado de Veracruz, México. Se realizó una evaluación multicriterio (EMC) mediante suma ponderada de acuerdo con literatura especializada. Los criterios que se eligieron fueron distancia a fuentes de agua, temperatura promedio anual, distancia a carreteras y caminos, y pendiente del terreno. Se generó un mapa de sitios potenciales de cultivo mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), en el cual se establecieron tres categorías: muy adecuado, moderadamente adecuado y poco adecuado. Los resultados mostraron las superficies estimadas para cada categoría: muy adecuado 37%, moderadamente adecuado 59% y poco adecuado 4%. El estudio concluye que el análisis multicriterio en conjunto con SIG permitió identificar sitios potenciales para el cultivo de *M. rosenbergii* en Veracruz, siendo de vital importancia para la economía del estado y pudiendo crear planes de acuicultura de esta especie y diversificar el cultivo con especies de valor comercial.

Palabras clave: sistemas de información geográfica, zonificación, territorio, acuicultura, langostino malayo

³⁰⁷ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *karla.gonzalez@colpos.mx



Introducción

El cultivo de *Macrobrachium rosenbergii* se introdujo al país en 1973 siendo Veracruz uno de los estados con centros acuícolas especializados para producir postlarva (Asiain-Hoyos *et al.*, 2020), actualmente quedan pocas unidades de producción y la demanda del insumo biológico es alta, aunado a que se importa la especie compitiendo con la producción nacional. Una manera de adaptar la acuicultura es con planes con enfoques de gestión espacial fundamentados en cuestiones relacionadas con el clima, la integración de consideraciones de equidad y derechos humanos, así como la inversión en innovación.

La Evaluación Multicriterio (EMC) son adecuadas para la planificación territorial, ya que permiten considerar diversas opiniones, establecer comparación entre diferentes escenarios y ponderaciones (Román, 2014). Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un modelo de la realidad que por medio de un conjunto de métodos y herramientas permite visualizar, capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y representar información espacialmente explícita, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión (Baldi y Jobbágy, 2014).

Los SIG y la EMC son herramientas que ayudan con la planeación territorial y ordenamiento acuícola, porque consideran varios factores identificando zonas adecuadas para realizar diversas actividades. Algunos autores han realizado estudios con estas herramientas para ordenamiento acuícola (Bandira *et al.*, 2021; Moisa *et al.*, 2022) y en particular para el cultivo de *M. rosenbergii* (Bwadi *et al.*, 2019; Hossain y Das, 2010; Mustafa y Bwadi, 2018; Nisansala *et al.*, 2016).

La selección de sitios acuícolas potenciales se puede identificar utilizando Sistemas de Información Geográfica, los cuales aportan el componente espacial para delimitar un área en específico. El Cuadro 1, muestra la lista de estudios relacionados con selección de sitios para el cultivo de *M. rosenbergii*. La mayoría de estos estudios han utilizado el enfoque de Evaluación Multicriterio (EMC) basado en SIG para identificar sitios adecuados para cultivos acuícolas.

Veracruz cuenta con las condiciones biológicas y climáticas para el cultivo de *M. rosenbergii* sin embargo no se ha realizado un estudio que contenga esta información en este estado en particular, para incrementar su producción. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar sitios potenciales de cultivo de *Macrobrachium rosenbergii* en el Estado de Veracruz, México.



Cuadro 1. Estudios previos de selección de sitios potenciales para el cultivo de *M. rosenbergii*.

Método usado	Criterios Usados	Referencia
Evaluación multicriterio basado en SIG	Temperatura del agua, pH agua, Nitrito, Fosfato, solidos disueltos totales, solidos disueltos suspendidos, textura del suelo, pendiente, pH suelo, materia orgánica, carbono orgánico, Nitrito suelo, Fosfato suelo, uso del suelo, distancia a carreteras, distancia a electricidad, distancia a un mercado local, distancia a unidad de producción de PL, disponibilidad de mano de obra.	(Hossain y Das, 2010)
SIG y Proceso de Jerarquía (AHP)	Elevación, calidad del agua (contenido de oxígeno, pH, temperatura, alcalinidad, dureza), Analítica precipitaciones, temperatura atmosférica, uso del suelo, proximidad a carreteras, proximidad a embalses, densidad de población y pobreza.	(Nisansala <i>et al.</i> , 2016)
Análisis de toma de decisiones multicriterio y SIG	Distancia a recursos de agua, temperatura del agua, distancia a fuente de contaminación, pH agua, salinidad del agua, textura del suelo, fitoplancton.	(Bwadi <i>et al.</i> , 2019)
Evaluación multicriterio basado en SIG	Distancia a fuentes de agua y contaminación, temperatura y pH del agua, textura del suelo, pendiente del terreno, elevación, tipo de uso de suelo, distancia a una carretera, electricidad, mercado y unidad de producción de PL.	(Mustafa y Bwadi, 2018)

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, con las coordenadas al norte 22°30'00", al sur 17°10'00" de latitud norte; al este 93°36'29", al oeste 98°40'54" de longitud oeste, colinda al norte con Tamaulipas y el Golfo de México; al este con el Golfo de México, Tabasco y Chiapas; al sur con Chiapas y Oaxaca; al oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí de acuerdo con



el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018). Cuenta con una superficie de 71 823.5 km² representando 3.7% del territorio nacional y está conformado por 212 municipios siendo Xalapa-Enríquez la capital (INEGI, 2021). El territorio veracruzano se divide en 10 regiones socioeconómicas que concentran la diversidad biológica y cultural del Estado: Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca, Nautla, Capital, Las Montañas, Sotavento, Papaloapan, Los Tuxtlas y Olmeca (Gobierno del estado de Veracruz, 2020). Tiene una disponibilidad de agua de 52 990 hm³/año en el 2020, cuenta con 18 acuíferos y 4 represas de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2022a). La temperatura media anual es de 23°C, la temperatura máxima promedio es de alrededor de 32°C y se presenta en los meses de abril y mayo; la temperatura mínima promedio es de 13°C y se presenta en el mes de enero (INEGI, 2023). La precipitación media estatal es de 1 502.9 mm anuales en el año 2022, las lluvias se presentaron con mayor aumento en verano en los meses de junio a octubre (CONAGUA, 2022b).

Los criterios que se eligieron para el análisis multicriterio se muestran en la Figura 1, los cuales se agrupan en agua, clima, infraestructura y suelo. Estos criterios se eligieron de acuerdo con literatura especializada en el tema (Cuadro 2), además se tomó en cuenta la opinión de investigadores que están trabajando con esta especie (*M. rosenbergii*) en Veracruz para descartar los factores que no aplican para la región. Una vez determinados los factores se realizó el análisis multicriterio mediante suma ponderada (Román, 2014), asignando un valor a cada criterio y estos en conjunto. Además, se realizó una estandarización de los criterios por medio de la transformación lineal de escalas utilizando el procedimiento de rangos, mediante la siguiente formula:

$$v_{ij} = \frac{X_{max} - X_{ij}}{X_{max} - X_{min}}$$

Donde: X_{min} es el valor mínimo para el j-ésimo criterio y $X_{max} - X_{min}$ es el rango de un criterio dado. Aplicando la fórmula anterior, los valores normalizados para cada criterio oscilan entre 0 y 1 (Román, 2014).

El procedimiento para realizar los mapas se realizó de acuerdo a Garza-Martínez *et al.* (2021). Los datos se colectaron de fuentes secundarias como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2007, 2022a, 2022b) y los datos de temperatura de Guevara y Arroyo-Cruz (2016).



Se realizó una evaluación multicriterio aplicada a SIG para evaluar factores físicos y biológicos del territorio, así como las condiciones socioeconómicas para su cultivo. Se generó un mapa con los sitios potenciales y se establecieron 3 categorías: muy adecuado, moderadamente adecuado y poco adecuado.

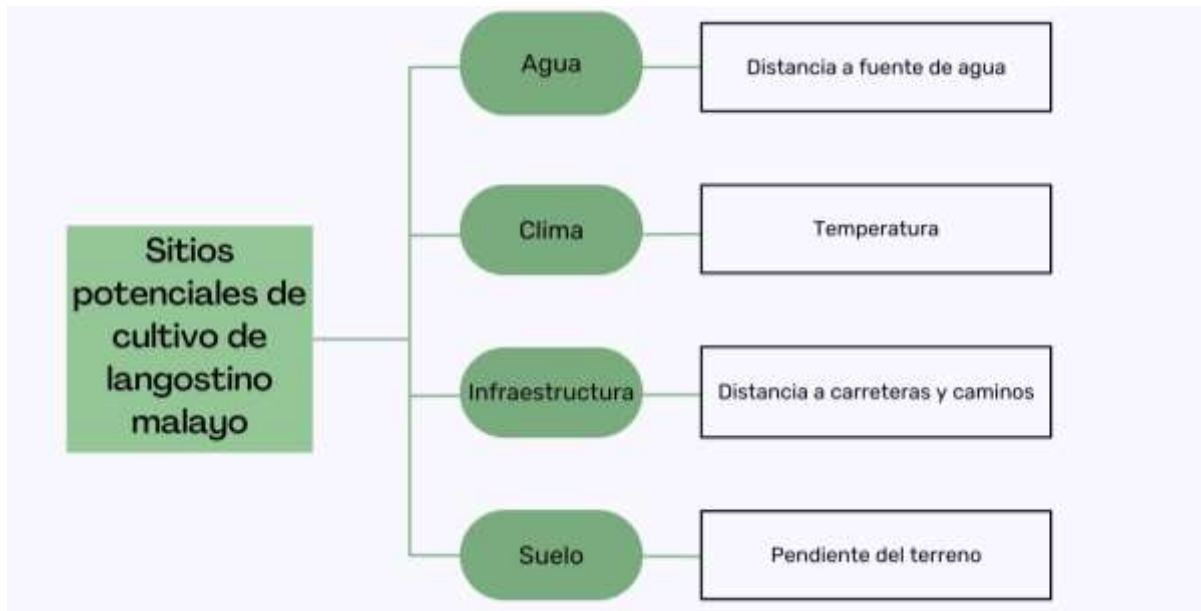


Figura 1. Criterios para la selección de sitios potenciales de cultivo de *M. rosenbergii* en Veracruz, México.

Cuadro 2. Criterios para identificar sitios potenciales de cultivo de *M. rosenbergii* en Veracruz, México.

Criterios	Muy adecuado (3)	Moderadamente adecuado (2)	Poco adecuado (1)	Referencias
Temperatura promedio anual (°C)	>25	20-25	<20	Sandamali <i>et al.</i> (2013)
Distancia a fuente de agua superficial y subterránea (km)	<1	2-4	>4	New (2002)
Distancia a carreteras y caminos (km)	<2	3-5	>5	Hossain y Das (2010)
Pendiente del terreno (%)	0-5	5-15	>15	Hossain <i>et al.</i> (2009)



Resultados y Discusión

Los criterios seleccionados y su ponderación se muestran en el Cuadro 3, considerando la distancia a fuentes de agua superficial y subterránea (35%) como uno de los más importantes para la engorda de esta especie. Bwadi *et al.* (2019) realizaron una evaluación de la calidad del agua en Malasia considerando la distancia al agua como uno de los criterios con mayor ponderación. De acuerdo con González-Vera y Brown (2017) uno de los requerimientos vitales para el cultivo de *M. rosenbergii* son la calidad de agua y cantidad. El segundo criterio con importancia es la temperatura (20%), este estudio no considero la temperatura del agua si no la temperatura ambiental, ya que no se cuenta con bases de datos de esta información. La temperatura del agua ideal para el cultivo de *M. rosenbergii* ronda entre los 25-30°C (New, 2002). La distancia a carreteras y caminos tiene 40% de la ponderación ya que también es importante considerar la distancia para la compra de equipo; las vías de comunicación para trasportar el insumo biológico que son las postlarvas, además de alimento y equipo. También para trasladar el producto cosechado a las localidades más cercanas, aunque también se maneja la compra directamente a pie de granja. Los terrenos planos o ligeramente inclinados son las más satisfactorios. El sitio ideal, es aquel que tiene pendientes cercanas al 2% (2 m en 100 m) (New, 2002). Los estanques para la acuicultura están ubicados principalmente en sitios planos, aunque la región central de Veracruz tiene una mayor elevación debido a que la superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Oriental, Llanura Costera del Golfo Norte, Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Llanura Costera del Golfo Sur, Sierra de Chiapas y Guatemala y Cordillera Centroamericana INEGI (2023).

Cuadro 3. Criterios y subcriterios para identificar sitios potenciales de *M. rosenbergii* en Veracruz, México.

Criterios	Subcriterios	Ponderación (%)
Agua	Distancia a fuente de agua superficial y subterránea (km)	35
Clima	Temperatura promedio anual (°C)	20
Infraestructura	Distancia a carreteras y caminos (km)	40
Suelo	Pendiente del terreno (%)	5

Se establecieron tres categorías de sitios potenciales de cultivo de acuerdo con literatura especializada: muy adecuado, moderadamente adecuado y poco adecuado. El mapa generado se muestra en la Figura

2. El 37% (26 675 km²) del estado de Veracruz se consideró con potencial de cultivo muy adecuado, seguido de moderadamente adecuado con 59% (42 223 km²) y poco adecuado 4% (2 926 km²). Los sitios considerados con potencial de cultivo muy adecuado, cuentan con las condiciones de acceso a fuentes de agua, temperatura mayor a 25°C, con accesos a carreteras, y cuentan con una pendiente del terreno escasa. Los sitios moderadamente adecuados, se encuentran cercanos a las zonas de clima templado ya que, aunque tienen disponibilidad al recurso agua, la temperatura es menor a diferencia de la zona sur.

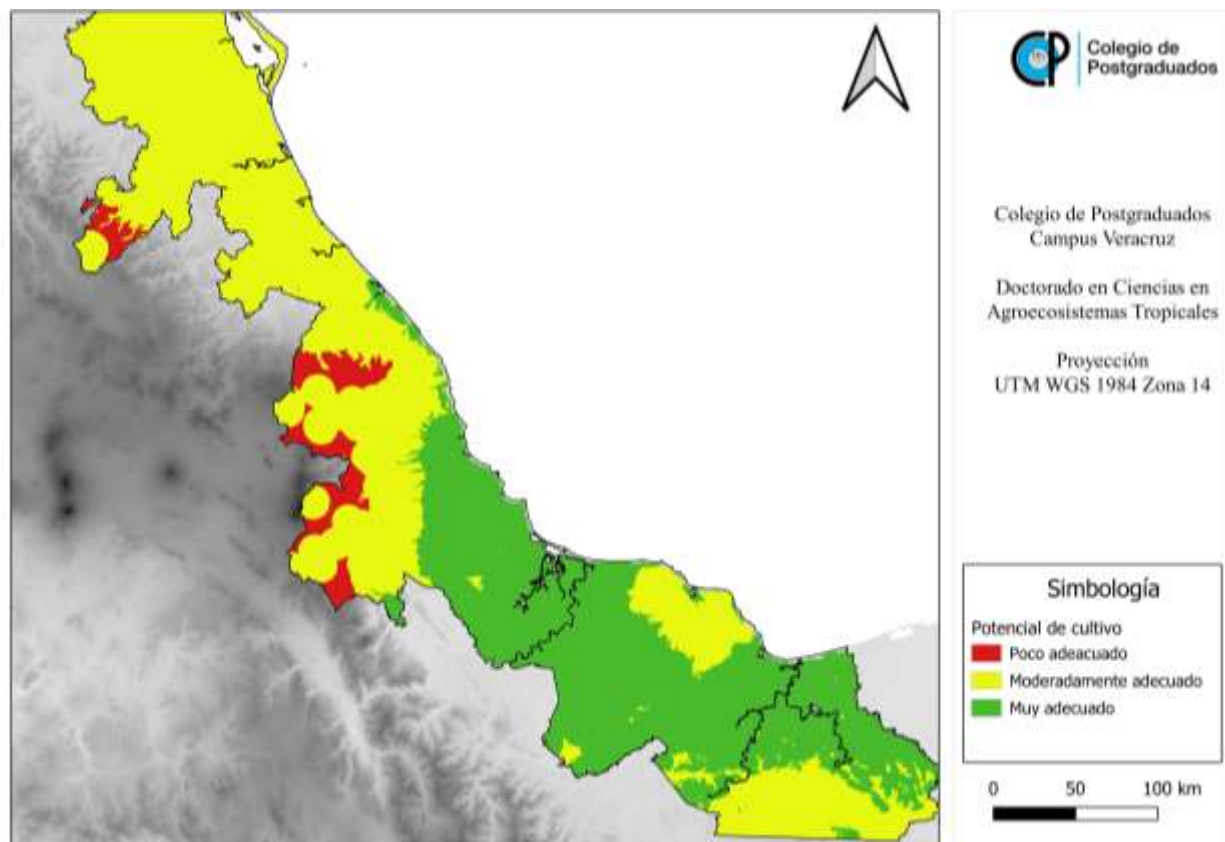


Figura 2. Mapa de sitios potenciales para el cultivo *M. rosenbergii* en el estado de Veracruz.

Conclusiones

Los sitios con mayor potencial para el cultivo de *M. rosenbergii* se encuentran principalmente al sur del estado, y los sitios poco adecuados se ubican en la zona centro del estado de Veracruz. Los sitios con



potencial moderadamente adecuado se localizan principalmente en el norte y en menor proporción en el sur. El análisis multicriterio en conjunto con SIG permitió identificar sitios potenciales para el cultivo de *M. rosenbergii* en Veracruz, siendo de vital importancia para la economía del estado y pudiendo crear planes de acuicultura de esta especie y diversificar el cultivo con especies de valor comercial.

Literatura Citada

- Asiain-Hoyos, A., Reta-Mendiola, J. L., García-Sánchez, A. I., y Domínguez-Mora, J. 2020. The Tilapia-Prawn Polyculture: Its Development in Mexico. *Agro Productividad*, 13(11): 31-36. <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i11.1808>
- Baldi, G., y Jobbágy, E. G. 2014. Diagnóstico del sistema territorial. p. 33-59. *In* A. Paruelo, J. M., Jobbágy, E. G., Laterra, P., Dieguez, H., Garcíá, M.A., Panizza (eds.), Ordenamiento territorial rural. Conceptos, métodos y experiencias. Universidad de Buenos Aires. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Bandira, P. N., Mahamud, M. A., Samat, N., Tan, M. L. y Chan, N. W. 2021. GIS-Based Multi-Criteria Evaluation for Potential Inland Aquaculture Site Selection in the George Town Conurbation, Malaysia. *Land*. 10 (11) 1174. <https://doi.org/10.3390/land10111174>
- Bwadi, B. E., Mustafa, F. B., Ali, M. L., y Bhassu, S. 2019. Spatial analysis of water quality and its suitability in farming giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in Negeri Sembilan region, Peninsular Malaysia. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 40(1): 71-91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/sjtg.12250>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2022a. Estadísticas del Agua en México 2021.



CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2022b. Precipitación (mm) por Entidad Federativa y Nacional 2022. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatología/Pronóstico climático/Temperatura y Lluvia/PREC/2022.pdf>

Garza-Martínez, M., Alonzo-Rojo, F., Valenzuela-García, A., Nava-Camberos, U., Salcido-Gameros, D., Estrada-Arellano, J, *et al.* 2021. Aptitud territorial para cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con tecnología biofloc en el estado de Durango, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8. <https://doi.org/10.19136/ea.a8n3.3049>

Gobierno del estado de Veracruz. 2020. Estudios regionales para la planeación. Edición 2020. Región Sotavento. 58 p.

González-Vera, C., y Brown, J. H. 2017. Effects of alkalinity and total hardness on growth and survival of postlarvae freshwater prawns, *Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879). *Aquaculture*, 473, 521-527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.016>

Guevara, M., Arroyo-Cruz, C. E. 2016. Modelo digital de elevaciones resolución 1km', escala: 1:4000000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/demgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no

Hossain, M. S., Chowdhury, S. R., Das, N. G., Sharifuzzaman, S. M., y Sultana, A. 2009. Integration of GIS and multicriteria decision analysis for urban aquaculture development in Bangladesh. *Landscape and Urban Planning*, 90(3): 119-133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.020>

Hossain, M. S., y Das, N. G. 2010. GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali, Bangladesh. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1): 172-186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.10.003>



INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2007. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Temperatura media anual.

INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) 2018. Marco Geoestadístico, febrero 2018.

INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2022a. Cuerpos de agua. Continuo Nacional Topográfico, escala 1:50 000 Serie III 2013-2018', escala: 1:50000. edición: 3.

INEGI. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2022b. Red Vial. Red Nacional de Caminos (RNC) INEGI. 2022, escala: 1:50000.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Panorama sociodemográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave: Censo de Población y Vivienda 2020.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2023. Cuentan de INEGI. Veracruz de Ignacio de la Llave. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/clima.aspx?tema=me&e=30>

Moisa, M. B., Tufa, C. A., Gabissa, B. T., Gurmessa, M. M., Wedajo, Y. N., Feyissa, M. E., y Gemed, D. O. 2022. Integration of geospatial technologies with multi-criteria decision analysis for aquaculture land suitability evaluation: The case of Fincha'a River Sub-basin, Western Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100448>

Mustafa, F. B., y Bwadi, B. E. 2018. Determination of Optimal Freshwater Prawn Farming Site Locations using GIS and Multicriteria Evaluation. *Journal of Coastal Research*, 41-54.

New, M. B. 2002. Farming freshwater prawns: a manual for the culture of the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). FAO Fisheries technical paper 428. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.



Nisansala, R. A. C., Rathnayake, C., Jayamanne, S., y Sanjeewa, K. D. 2016. Identification of the Potential Reservoirs for Giant Fresh Water Prawn (*Macrobrachium Rosenbergii*) Culture in Moneragala District A GIS Approach. *Journal of Remote Sensing Technology*, 4: 83-89. <https://doi.org/10.18005/JRST0401007>

Román, M. 2014. Metodologías Multicriterio para el Ordenamiento Territorial. p. 198-231. *In* A. Paruelo, J. M., Jobbágy, E. G., Laterra, P., Dieguez, H., Garcíá, M.A., Panizza (eds.). *Ordenamiento territorial rural. Conceptos, métodos y experiencias*. Universidad de Buenos Aires. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Sandamali, M., Rathnayake, C., Liyanage, N. P. P., y Jayamanne, S. 2013. Application of GIS to Identify Potential Areas for Aquaculture in Badulla District in Uva Province.



ANÁLISIS DE LOS INDICADORES PESQUEROS EN LA PESCA DE CAMARÓN EN CIUDAD DEL CARMEN CAMPECHE

Armando T. Wakida Kusunoki^{308*}, Rodolfo Castro Barbosa³⁰⁹ y Ana Gabriela Diaz Alvarez³⁰⁹

Resumen

Una de las actividades pesqueras más importantes en la zona sur de Campeche es la captura de camarón, la cual en los últimos años ha presentado una disminución en sus volúmenes. Para evaluar el estado de las poblaciones de camarón, es necesario conocer el comportamiento de indicadores pesqueros. Por lo anterior, para conocer el esfuerzo pesquero aplicado, se realizaron conteos semanales de embarcaciones que salían a pescar, de igual forma para los rendimientos pesqueros se efectuaron encuestas, donde se registró la captura obtenida por embarcación y por diferentes artes de pesca. Los resultados muestran que 1) El esfuerzo pesquero sobre el camarón se realiza durante todo el año, todo esto a pesar de existir un periodo de veda, 2) Los valores más altos de esfuerzo pesquero se registraron en abril y julio, los cuales coincidieron con eventos biológicos importantes de las especies de camarón, como lo son la reproducción y el reclutamiento. 3) En general, los mayores rendimientos pesqueros (kg/viaje) se dieron de agosto a diciembre para ambas especies y artes de pesca utilizada. Por todo lo anterior, es necesario que se implementen estrategias de inspección y vigilancia en la zona, que permitan reducir el esfuerzo pesquero y la utilización de artes de pesca no legalizada.

Palabras claves: pesca no reglamentada, camarón siete barbas, camarón blanco, pesca de arrastre

³⁰⁸ Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola Yucalpetén. *Correspondencia: armando.wakida@inapesca.gob.mx

³⁰⁹ Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Centro Regional de Investigación Pesquera y Acuícola Ciudad del Carmen.



Introducción

El camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* es un recurso pesquero importante en Campeche, ya que genera una derrama económica alrededor de los 27 millones de pesos y un número aproximado de 600 empleos directos (Wakida-Kusunoki y Núñez-Márquez, 2006).

En el periodo de 1994 a 1997, el INAPESCA llevo a cabo un proyecto de investigación por medio de un programa de pesca de fomento, su objetivo era conocer la posibilidad de establecer la pesca de arrastre de camarón siete barbas en la zona sur de Campeche y Tabasco. El estudio consistió en conocer aspectos biológicos pesqueros, tales como periodos de reproducción y reclutamiento, crecimiento y mortalidad, cambios en abundancia entre otros; aspectos ecológicos como la composición de la captura incidental y sus cambios temporales, aspectos económicos y sociales, como lo son: la cuasi - renta estimada por la captura de camarón siete barbas y del camarón blanco, las ganancias total del viaje y características demográficas de los pescadores y sus condiciones de la vivienda (Núñez y Wakida, 1997). Como resultado de este proyecto, la captura de camarón siete barbas se estableció como una actividad legal en 1997, donde se aprobó el uso de embarcaciones menores con motores fuera de borda y una red de arrastre especialmente diseñada para la pesca de camarón siete barbas y con fuertes restricciones, tales como un nivel de esfuerzo de 200 lanchas y un periodo de veda de seis meses, fundamentada en los aspectos antes mencionados.

Un aspecto importante de esta pesquería es la captura incidental del camarón blanco *Litopenaeus setiferus*, especie de alto valor económico, cuyo nivel poblacional se encuentra en un nivel muy bajo, por lo que se considera en deterioro (Wakida *et al.*, 2006). Por lo anterior, las medidas de manejo, como son los periodos de veda, deben de considerar los aspectos y eventos biológicos importantes del camarón blanco.

Asimismo, en esta zona se utilizan redes no autorizadas como lo son la red de arrastre “voladora” que fueron especialmente diseñada para la pesca de camarón blanco *Penaeus setiferus*, aunque incidentalmente captura camarón siete barbas. Así como, las redes de enmalle, que fueron adaptadas para la pesca del camarón blanco y se denominan redes filamenteras o red de filamento por estar construidas con hilo de monofilamento (Núñez, 2014).

En los últimos años, las capturas de camarón siete barbas y camarón blanco han sufrido un cambio debido a factores económicos, cambios en el uso de artes de pesca y ecosistémicos en la zona. Los cambios económicos han consistido en una disminución de los rendimientos económicos de la pesca de



camarón debido principalmente al aumento de los insumos como el combustible (Wakida *et al.*, 2006). El uso más generalizado de la red denominada voladora en vez de la red siete barbera, en comparación de cuando inicio la pesquería (Núñez, 2014), ha provocado cambios en los porcentajes de captura de camarón siete barbas con relación a la del camarón blanco y por último los posibles cambios ecosistémico debido a la actividad petrolera y otras actividades que pudieron haber provocado cambios en los eventos biológicos importantes de las poblaciones de camarón.

Por lo anterior, este estudio presenta el comportamiento de las principales variables pesqueras durante la temporada 2022, con la finalidad de determinar cambios de estrategias de pesca y recomendar modificaciones en las medidas de manejo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio abarca la zona costera de los estados de Campeche y Tabasco, desde Dos Bocas, Tabasco ($18^{\circ} 26.4646' N$, $93^{\circ} 11.1756'$) a Punta Real, Campeche ($18^{\circ} 46.8112' N$, $91^{\circ} 31.5581' W$) y en una franja de las cero a nueve metros de profundidad (denominada costa) y además de la zona de la laguna de Términos (denominada laguna).

La captura de camarón siete barbas se realiza en esta zona costera, pero la captura de camarón blanco se realiza tanto en la zona costera, como en la laguna de Términos.

De acuerdo con las características fisiográficas y sedimentarias de la zona, donde se realiza la pesca de camarón siete barbas se distinguen 2 provincias: bahía y banco de Campeche. La bahía de Campeche presenta una plataforma angosta con una pendiente abrupta que recibe un aporte importante de sedimentos terrígenos a través de los sistemas fluviales Grijalva-Usumacinta y de los ríos San Pedro y San Pablo. En el banco de Campeche la plataforma continental es amplia y tiene una pendiente suave, se caracteriza por presentar un gran banco carbonatado limitado al oeste por sedimento clástico proveniente de la cuenca Tabasco-Campeche y hacia el este por el estrecho de Yucatán; el borde este es una zona de transición entre sedimentos carbonatados y sedimentos terrígenos. En esta provincia los sedimentos carbonatados están compuestos principalmente de ooides (pterópodos y foraminíferos), fragmentos de esqueletos (moluscos, foraminíferos, algas, equinodermos, corales y briozoos), cúmulos



de heces y clastos carbonatados (arenas calcáreas y lodos carbonatados) (Figura 1) (Balsam y Beeson, 2003).

La frontera entre estas dos provincias esta aproximadamente en la parte media de la Isla del Carmen.

La captura de camarón siete barbas se realiza en la zona costera.

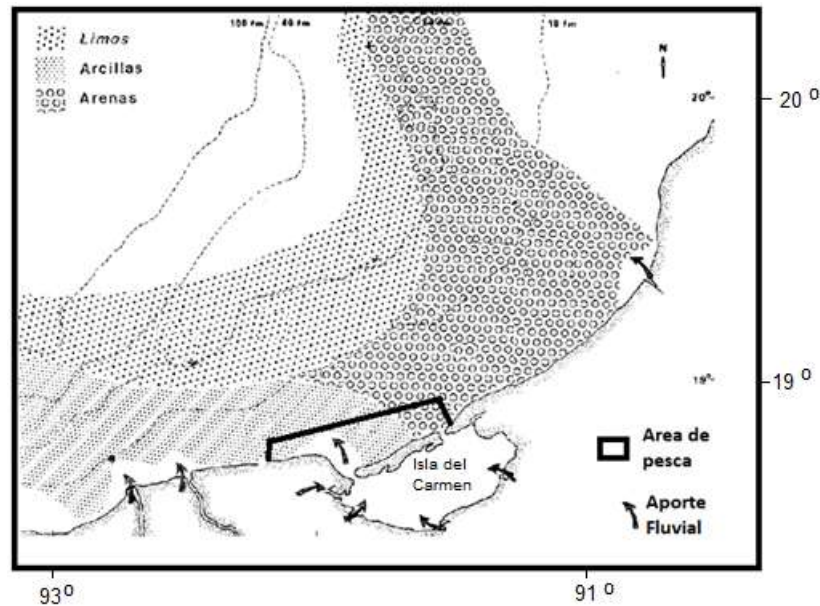


Figura 1. Área de pesca de la flota ribereña de camarón en la zona de Cd del Carmen, Campeche. Tomado y modificado de Sánchez-Gil *et al.*, (1981).

Monitoreo

De febrero a noviembre del 2022, se realizaron muestreos de los desembarcos realizados en el Arroyo Grande, donde se concentra alrededor del 80% de las lanchas camaroneras de Ciudad del Carmen (Nuñez, 2014). Trabajos anteriores, mencionan que la actividad de los pescadores presenta ciclos semanales, con valores bajos los fines de semana (Nuñez, 2014), por lo que para la programación de este trabajo se seleccionó uno o dos días de muestreo por semana, ambos elegidos de forma aleatoria entre lunes y viernes. En los días elegidos se tomaron básicamente los datos de rendimiento de pesca (kilogramos de camarón capturado por viaje de pesca), de tantas lanchas como sea posible. Con los datos se calculó el rendimiento de pesca promedio mensual. Los datos de captura total mensual en kilogramos se registraron de los avisos de arribo de CONAPESCA. Para la estimación del esfuerzo aplicado en las diferentes zonas (laguna y costa) y artes de pesca se realizó una vez por semana censos en horas matutinas (5 am a 10 am), toda esta actividad se realizó conforme el manual de procedimiento



(Galeana y Nuñez, 2016). La determinación del arte utilizada por los pescadores fue conforme a lo estipulado por Nuñez (2014), donde se menciona que las lanchas que va a utilizar redes de arrastre llevan a bordo una tabla, que les sirve para separar el camarón de la captura incidental. Esta puede ser detectada a simple vista. También el número de personas es un aspecto importante, ya que generalmente las embarcaciones que usan las redes filamenteras están compuestas por tres pescadores.

Análisis de la Información

Con la información obtenida se conoció el comportamiento temporal de los principales indicadores pesqueros como son: esfuerzo pesquero, rendimiento pesquero y captura.

La estimación de estas variables se realizó siguiendo lo propuesto por Núñez (2014).

Además, para determinar si hubo cambios en la especie objetivo. A partir del análisis de la información obtenida por los censos de embarcaciones de salida y entrevistas en el centro de recepción, se evaluó el promedio de número de embarcaciones por mes. Tomando en cuenta la zona de pesca (laguna y costa) y el porcentaje de uso de artes de pesca durante el periodo de estudio. Se utilizaron análisis de varianza para determinar si los valores de las diferentes variables pesqueras presentan diferencias temporales y si estas son significativamente diferentes (Zar, 1999).

Para determinar la importancia relativa del uso de las artes y zona de pesca, se realizó un análisis gráfico, donde se determinó de forma mensual el por ciento de cada una de estas variables.

Resultados y Discusión

Comportamiento estacional de esfuerzo y rendimientos

Los resultados nos muestran que se contabilizaron viajes de pesca durante todos los meses donde se realizaron los censos, tanto en la zona lagunar como en la zona costera. Los máximos valores fueron en abril y julio con valores promedios entre 120 y 160 lanchas (Fig. 2a).

A pesar que la pesca en la zona lagunar no esta permitida (DOF, 1996), se observaron embarcaciones que se dirigían hacia esa área durante todo el periodo estudiado, con mayores valores en marzo y julio, el esfuerzo fue llevado principalmente por embarcaciones con redes de arrastre (Fig. 2b).

En abril y julio se puede apreciar que se encuentran los valores más alto de esfuerzo para la zona costera, donde las lanchas con redes de filamento fueron la de mayor presencia, las redes de arrastre se detectaron con mayor presencia de septiembre a noviembre (Fig. 2c). Los valores mensuales de



embarcaciones con las diferentes de artes y zonas de pesca resultaron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

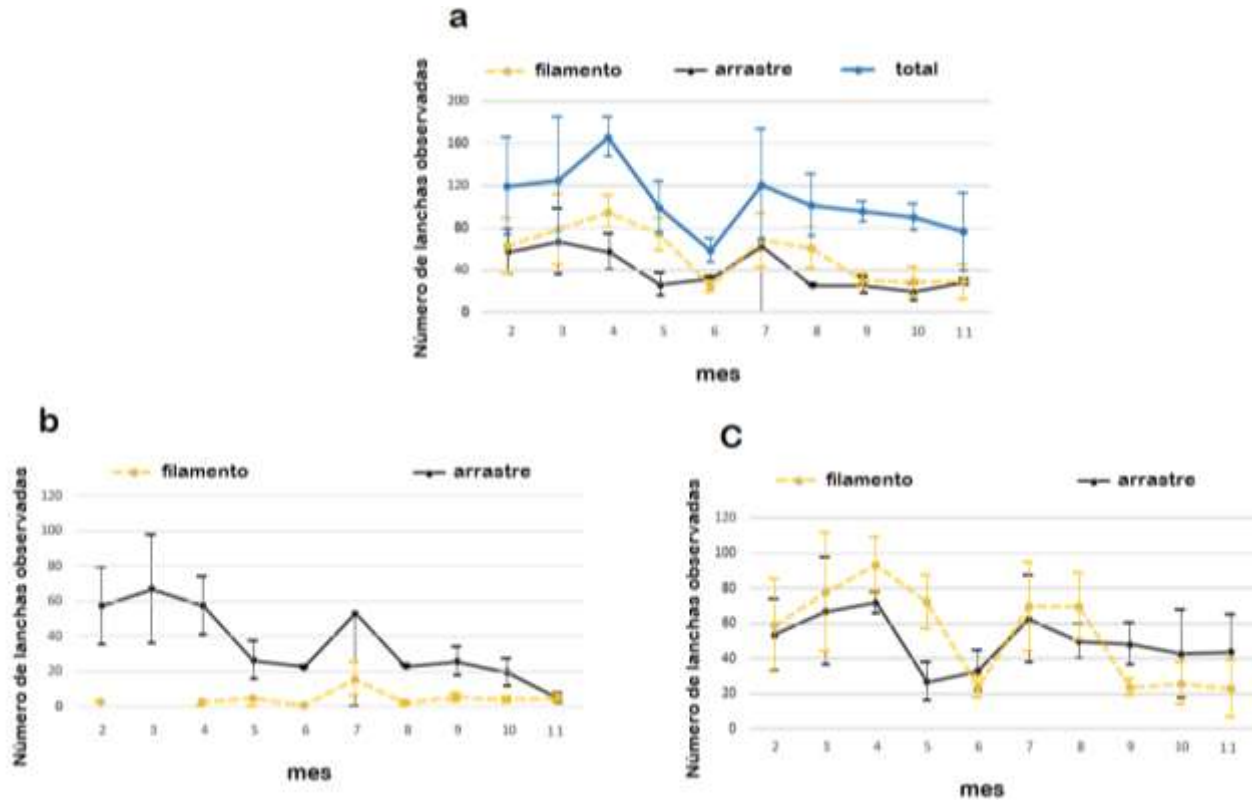


Figura 2. Comportamiento mensual del a) número total de lanchas promedio saliendo a pescar, b) número de lanchas promedio saliendo a pescar hacia la zona lagunar y c) número de lanchas promedio saliendo a pescar hacia la zona costera. Arrastre comprende a todas las lanchas que tenían las dos redes de arrastre, tanto siete barberas como voladora.

Las redes de arrastre fueron las más utilizadas durante los 10 meses analizados, excepto en abril y mayo. En mayo las redes de filamento superaron en un 50% a las de arrastre. A partir de septiembre, la pesca con arrastre fue del 70% (Fig. 3a). La región costera fue en la que mayor esfuerzo pesquero se aplicó con valores de entre el 60% y casi 100%, se observa que, a finales de año, el esfuerzo empieza a crecer hacia la laguna de Términos (Figura 3b).

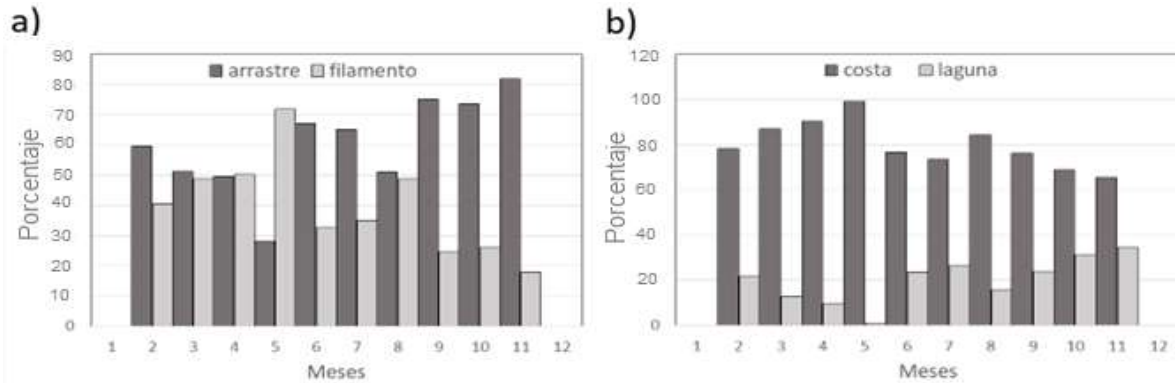


Figura 3. Distribución temporal y porcentaje relativo de: a) los viajes de lanchas con diferentes tipos de red y, b) hacia las dos áreas generales de pesca.

La implementación de periodos y zonas de veda en la zona de Cd del Carmen, Campeche se remonta alrededor de 30 años, la cual dio comienzo con: prohibición total de la pesca en aguas costeras interiores y en la franja costera marina de 0 a 15 millas (DOF, 1993), establecimiento de una veda del 30 de mayo al 1 de septiembre (Castro, 2000) y después una veda permanente para la pesca de camarón en la laguna de Términos (DOF, 1996).

A pesar de todas estas restricciones, se ha encontrado que existe una actividad pesquera que se realiza manera continua, tanto en la laguna de Términos, como en la zona costera durante el periodo de veda (Núñez, 2014). En este estudio, se contabilizó durante todo el año actividad pesquera tanto en la laguna de Términos, como en la zona costera durante la época de veda, además se detectó el uso de artes de pesca no legalizadas, como lo son la red voladora y la red filamentera. El comportamiento del esfuerzo registrado coincide con el periodo de reproducción y el reclutamiento de las especies de camarón, principalmente la del camarón blanco y posiblemente con el periodo de veda (Wakida-Kusunoki *et al.*, 2006). Las modas de esfuerzo aplicado que se observan principalmente en abril, julio y noviembre, coinciden con los periodos de reproducción y reclutamiento del camarón blanco (Wakida-Kusunoki *et al.*, 2006). Estos eventos biológicos aumentan la capturabilidad de estas especies, ya que propician un aumento en la concentración de organismos (Gracia, 1989; INP, 2003), lo cual los hace más susceptibles a ser capturados. Los comportamientos del esfuerzo estimado en este estudio coinciden con los reportados por Núñez (2014), aunque en el presente estudio se encontró un mayor número de lanchas saliendo a la pesca. El promedio de lanchas avistadas en cinco de los diez meses fue arriba de las 100 lanchas y en Núñez (2014), solo dos de los 10 meses estuvieron arriba de las 100. Esto se debe a un aumento del número de lanchas del 40% en la zona después de 14 años. El aumento de



embarcaciones posiblemente sea resultado del aumento del desempleo en la zona como resultado de la crisis económica provocada por la reforma energética del 2013 y que, junto con la pandemia de COVID, han resultado en un despido de empleados y la reducción de contratos asignados a otras empresas, que provocaron un efecto dominó que afectó a todos los sectores económicos del municipio (Pérez Fernández *et al.*, 2021).

Un aspecto importante que pudo haber afectado el comportamiento del esfuerzo pesquero fueron las actividades de inspección y vigilancia que se efectuaron durante el 2022, este efecto se observó durante el periodo de veda, ya que si se considera lo encontrado por Núñez (2014) como un patrón normal al no existir la vigilancia, donde conforme transcurre el periodo de veda, el esfuerzo pesquero aumentaba hasta llegar su máximo valor en julio, en nuestro conteos se observó que de mayo a junio el número de viajes disminuyó, coincidiendo en este mes, la presencia de acciones de vigilancia en la zona (Barbosa comm pers). Esta evidencia nos muestra la poca eficiencia de esas acciones de vigilancia, si se considera su efecto en el total del esfuerzo pesquero ejercido durante el periodo de veda.

El análisis de los rendimientos de camarón siete barbas obtenidas con la red siete barbera nos muestra que los valores de rendimiento fueron menores a 15 kilos de camarón entero, con modas en marzo, septiembre y diciembre (Fig. 4a). En cuanto a los rendimientos del camarón blanco con esa misma red, se encontraron valores de entre 5 y 15 kilos de camarón entero, con modas en mayo y octubre (Fig. 4b).

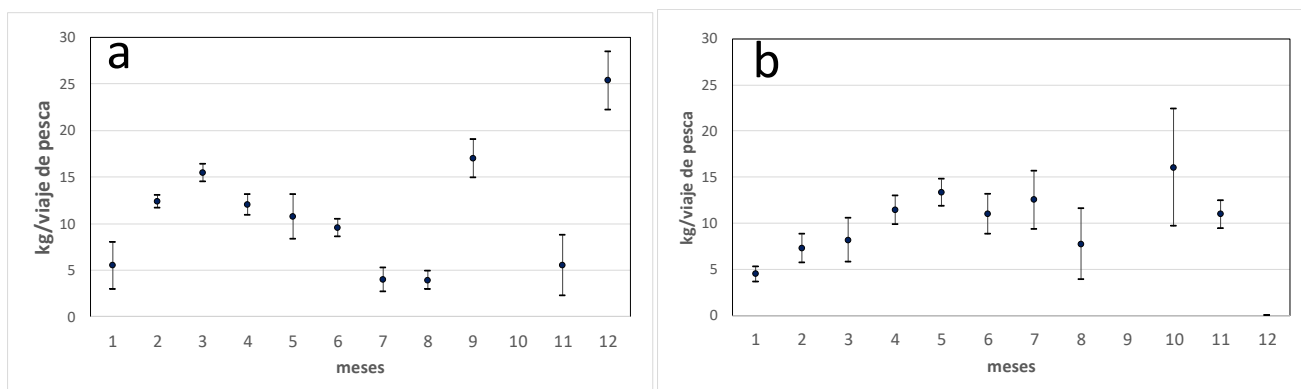


Figura 4. Rendimiento promedio diario de a) camarón siete barbas entero y b) camarón blanco obtenido con red siete barbera en la zona costera (enero-diciembre 2022).

En la Figura 5 se muestran los rendimientos de camarón blanco utilizando una red no autorizada denominada voladora, se aprecia que la captura en la laguna con esta red solo se presentó en el segundo



semestre de julio a noviembre (Fig. 5a). Para la costa, los mayores rendimientos de camarón blanco se presentan de mayo a noviembre (Fig. 5b).

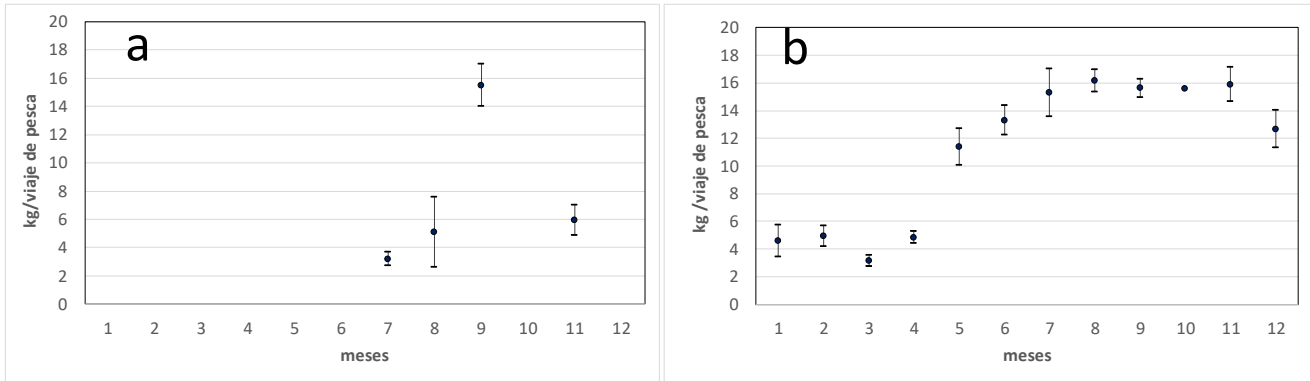


Figura 5. Rendimiento promedio mensual de camarón blanco entero obtenido con red voladora en a) la zona lagunar y b) la zona costera (enero-diciembre 2022).

En caso de la red filamentera o de filamento, que captura solo camarón blanco, presenta valores altos a comparación de las redes de arrastre. Estos valores se encuentran entre 20 y 60 kilos de camarón entero, solo se tienen registros a partir de junio (Fig. 6), esto a pesar de tener registros en los censos de su uso todo el año.

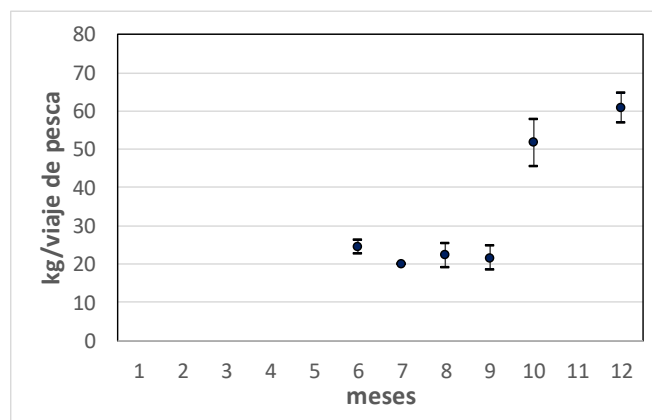


Figura 6. Rendimiento promedio diario de camarón blanco entero obtenido con red filamentera en la zona costera (enero-diciembre 2022).

Para la estimación de los rendimientos pesqueros de la pesca de camarón en la zona de Ciudad de Carmen, Campeche, es difícil separar los valores de los diferentes tipos de redes de arrastre, ya que



gran cantidad de las lanchas llevan los dos tipos, las siete barberas que esta legalizada y la voladora que no esta legalizada. El ejemplo más claro de esta situación son los rendimientos obtenidos de camarón blanco con las lanchas que salieron a pescar con la red siete barbera donde se muestran rendimientos muy altos de camarón blanco, este resultado es posiblemente por el uso de la red voladora en esos viajes de pesca.

Wakida-Kusunoki y Diaz-Álvarez (2022) encontraron con muestreos directos que la captura incidental de camarón blanco que se captura con la red siete barberos es de aproximadamente el 20% de la captura de camarón siete barbas y que la captura de camarón blanco con la red voladora es casi el doble a la captura de camarón siete barbas.

Por lo anterior, los valores de rendimiento encontrados para el camarón siete barbas y camarón blanco se tendrían que tomar con precaución y es necesario realizar muestreos independientes para conocer más sobre el estado de la población de camarón siete barbas.

Los valores más altos de rendimiento pesquero de camarón blanco fueron los obtenidos con la red de filamento, cuyos valores a final del año estuvieron alrededor del 55 kilo de camarón entero, Desafortunadamente no se tienen registros en los primeros meses del año, esto porque debido a que esta arte no está legalizada sus descargas no se realizan con frecuencia en la zona de desembarque, donde se ha realizado los monitoreos.

La estimación de la captura total de las diferentes especies por medio de la evaluación del esfuerzo y los rendimientos, no se pudo realizar debido a que no fue posible separar el esfuerzo de las redes de arrastre ni los rendimientos obtenidos por este tipo de redes, además de que no se obtuvo la información de rendimientos de pesca de camarón obtenidas con la red de filamento.

Conclusiones

1. El esfuerzo de pesca de camarón en la zona de Ciudad del Carmen se realiza durante todo el año.
2. Los valores más altos de esfuerzo pesquero se presentaron en abril y julio, coincidiendo con los eventos biológicos importantes del camarón blanco y camarón siete barbas. Reproducción: abril-mayo para el camarón blanco y julio-agosto, para el camarón siete barbas y reclutamiento: julio-agosto para el camarón blanco.



3. El esfuerzo de pesca tiene un aumento de aproximadamente de 40% en comparación de estimaciones que se hicieron en el 2008.
4. Los mayores rendimientos de camarón se obtuvieron de agosto a septiembre para ambas especies
5. Los resultados nos muestran que es necesario la implementación de estrategias de inspección y vigilancia que permitan reducir el esfuerzo pesquero y la utilización de artes de pesca no legalizada durante el periodo de veda.

Agradecimientos

A los pescadores de camarón de la zona de la Puntilla en Cd del Carmen, Campeche que proporcionaron la información para la elaboración de este trabajo. Se agradece también a los dos revisores anónimos por sus comentarios al escrito.

Literatura Citada

- Balsam, W. L. y J. P Beeson. 2003. Sea-floor sediment distribution in the Gulf of Mexico. *Deep Sea Research I* 50:1421-1444.
- Castro-Meléndez, R.G., L.E. Schultz-Ruiz, A. T. Wakida-Kusunoki, J. I. Fernández-Méndez, M. E. Sandoval-Sánchez, M. Medellín-Ávila, *et al.* 2000. Camarón del Golfo de México y Mar Caribe. 357-420 p. En: Aguilar Ibarra, A., P. Arenas-Fuentes, L. Beléndez-Moreno, I. Fernández-Méndez, L. López-González, I. Ortiz Fortuinat, *et al.* *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México; evaluación y Manejo*. Instituto Nacional de Pesca, SEMARNAP. Cd de México. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 1993. Norma Oficial Mexicana de emergencia por la que se establece veda para la captura de las especies de camarón en aguas marinas y de los sistemas lagunarios-estuarinos de jurisdicción federal del Golfo de México. 19 de mayo del 1993.



DOF (Diario Oficial de la Federación). 1996. Aviso por el que se establece veda por tiempo indefinido para la captura de todas las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de la laguna de Términos y sus bocas que la comunican con el mar, ubicada en el estado de Campeche. 11 de abril del 1996.

Galeana A. R. C, y G. Núñez Márquez. 2016. Manual para monitoreo de camarón siete barbas (*Xiphopenaeus kroyeri*). Documento interno INAPESCA. 51 pp.

Gracia G. A. 1989. Ecología y pesquería del camarón blanco *Penaeus setiferus* (Linnaeus 1767) en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX. 127 p.

INP. 2003. Fundamento técnico para el establecimiento de vedas para la pesca de camarón en el Golfo de México y Mar Caribe. Instituto Nacional de la Pesca. 54 p.

Núñez Márquez, G. 2014. Determinación del esfuerzo de pesca de la flota camaronera ribereña en Ciudad del Carmen, Campeche, mediante conteos visuales. *Cienc. Pesq.* 22 (2):3-17.

Núñez Márquez, G. y A.T. Wakida Kusunoki. 1997. Pesca de fomento del camarón siete barbas, *Xiphopenaeus kroyeri*, en Campeche y Tabasco, 1994-1997. CRIP Ciudad del Carmen. Informe Técnico del Instituto Nacional de la Pesca (inédito). Documento Interno Instituto Nacional de la Pesca. 35 p.

Pérez Fernández A, D. Martínez Luis, R. A. González Ascencio y A. Cano Alamilla. 2021. Efecto del COVID en la economía de los trabajadores en Ciudad del Carmen, Campeche. En: Caamal Cauich I; F Jerónimo Ascencio, V. G. Pat Fernández (Eds). *Memorias del Seminario Internacional de Economía y Desarrollo Problemas del Crecimiento Económico en América Latina y el Caribe*. Universidad Autónoma Chapingo.



Sánchez-Gil, P., A., Yáñez-Arancibia y F. Amezcua Linares, 1981. Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces remescales de la Sonda de Campeche (verano 1978). *An. Inst. Cienc. Del Mar. y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 8(1): 209-240.

Wakida-Kusunoki, A. T. y G. Nuñez-Marquez. 2006. Propuesta de Plan de Manejo para la pesquería de camarón siete barbas *Xiphopenaeus kroyeri* de Campeche y Tabasco. Documento Interno. Instituto Nacional de Pesca. 55 p.

Wakida-Kusunoki y Diaz-Álvarez. 2022. Abundancia de camarón blanco y captura incidental en la pesca de camarón siete barbas. 1352-1364 p. En: Zetina-Lezama, R., O. H. Toskoy-Valle, M. V. Vazquez-Hernández, A. L. Del Angel-Pérez, V. A. Esqueda-Esquivel y C. Perdomo-Molina. *Investigaciones Científicas y Tecnológicas para la seguridad alimentaria Veracruz*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Ciudad del México.

Wakida-Kusunoki, A. T., R. Solana-Sansores, M. E. Sandoval-Quintero, G. Núñez-Márquez, J. A. Uribe-Martínez, A. González-Cruz, M. Medellín-Ávila. 2006. Camarón del Golfo de México y mar Caribe. pp: 425–476. En: F. Arreguín-Sánchez, L. Beléndez-Moreno, I. Méndez-Gómez-Humaran, R. Solana-Sansores, C. Rangel-Dávalos (eds.). *Sustentabilidad y Pesca Responsable en México. Evaluación y Manejo*. Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA.

Zar, J. H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice-Hall, New Jersey. 662 pp. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie.



ELASMOBRANQUIOS ASOCIADOS AL ARRASTRE CAMARONERO EN TAMAULIPAS DE MAYO-AGOSTO DE 2019-2020

Jorge Luis Oviedo Pérez^{310*}, Guillermo Acosta Barbosa³¹⁰, Heber Zea de la Cruz³¹⁰, Luis Enrique Martínez Cruz³¹⁰
y Pánfilo Lagunes Rivera³¹¹

Resumen

Los elasmobranquios son capturados incidentalmente en la pesca de arrastre de camarón, lo que podría afectar poblaciones de especies con productividad biológica baja. Su conservación y la determinación de sus tasas de captura incidental son prioritarias. El objetivo del trabajo es determinar para la pesquería de arrastre de camarón en Tamaulipas durante 2019 y 2020, las tasas de captura incidental de elasmobranquios; su composición de especies, estructura de tallas, sexos y madurez sexual; así como sus Índices de Abundancia Relativa, Captura Incidental por Unidad de Esfuerzo (CIPUE) y Captura Incidental por Unidad de Área (CIPUA). La tasa de captura incidental de elasmobranquios se determinó en 1.5% y 1.9% de la captura global del arrastre camaronero para 2019 y 2020 respectivamente, a partir del análisis de 381 lances en 8 cruceros de investigación. Se identificaron 11 especies de elasmobranquios. Se registraron 1,184 organismos (1,468 kg) en 2019 y 924 (1,283 kg) en 2020. Las especies más abundantes fueron las rayas *Gymnura lessae*, *Hypanus americanus*, *Narcine bancroftii*, *Pseudobatos lentiginosus*, *Rostroraja texana* y el tiburón *Squatina dumeril*; aportaron 99% en número de organismos y 98% en peso de la captura de elasmobranquios; fueron capturadas en todos sus estadios de madurez, con excepción de *P. lentiginosus* que no registra neonatos. Durante 2019, se estimó CIPUE promedio=1.84 ± 2.20 kg/h de arrastre y de 1.22 ± 1.30 elasmobranquios/h de arrastre y CIPUA promedio=0.11 ± 0.14 kg/ha y 0.08 ± 0.08 elasmobranquios/ha. Durante 2020, la CIPUE promedio fue= 1.14 ± 1.09 kg/h de arrastre y 0.74 ± 0.62 elasmobranquios/h de arrastre y la CIPUA promedio fue= 0.08 ± 0.08 kg/ha y 0.05 ± 0.04 elasmobranquios/ha. Los resultados dimensionan la captura de elasmobranquios en el arrastre camaronero y son puntos de referencia para proponer modificaciones tecnológicas que disminuyan la captura incidental en la pesca de arrastre.

³¹⁰ Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. *Jorge.oviedo@inapesca.gob.mx

³¹¹ Instituto Tecnológico de Boca del Río



Palabras clave: tiburones, rayas, tasas de captura incidental, red de arrastre, litoral de Tamaulipas

Introducción

De acuerdo con el Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2021 (CONAPESCA, 2021), el camarón es uno de los recursos pesqueros más importante de México, por el valor de su producción se ubica en el primer lugar nacional con 23,777 millones de pesos, por el volumen de su captura se posiciona en el tercer lugar de la producción pesquera nacional con 249,959 t en peso vivo. Esta producción está constituida por 36,435 t capturadas en mar abierto, 31,414 t capturadas en esteros y bahías, así como por el cultivo de 182,110 t. El litoral del Golfo de México y Mar Caribe (GMMC) aporta 18,794 t de la producción nacional de camarón, correspondiendo 11,994 t en peso vivo a mar abierto. En la pesca de arrastre opera una flota pesquera de 299 embarcaciones camaroneras. La flota camaronera de mar abierto más importante es la del estado de Tamaulipas con 176 embarcaciones. Los principales volúmenes de producción en peso vivo se registran en Tamaulipas con 6,934 t, 58%. De acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Acuacultura y Pesca de 2018 a 2020 (CONAPESCA, 2018, 2019), en ese periodo, en el GMMC la producción de camarón de mar abierto en peso vivo tuvo un promedio anual de 9,377 t, mientras que la flota pesquera presentó un promedio anual de 315 barcos camaroneros.

Para el manejo sustentable del recurso y ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en México, a partir de 1993 se implementó la veda temporal de captura para proteger el reclutamiento y crecimiento de las especies de camarón en el GMMC; mientras que en 2013 se expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/PESC-2013, que entre otras disposiciones hace obligatorio el uso de Dispositivos Excluidores de Tortugas Marinas (DET) y Dispositivos Excluidores de Peces (DEP) en las redes de arrastre y prohíbe el arrastre en profundidades menores a 9.1 m (DOF, 2013).

Los elasmobranquios son susceptibles de captura en las redes de arrastre durante las operaciones de la flota camaronera. El Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones y Rayas y Especies Afines en México (PANMCT) (CONAPESCA-INP, 2004), señala que se desconoce el volumen de las capturas incidentales de elasmobranquios en el arrastre camaronero, asimismo señala que los tiburones representan uno de los recursos pesqueros más vulnerables debido a sus estrategias de historia de vida que los hacen especialmente susceptibles a una sobreexplotación e impiden una recuperación rápida de sus poblaciones, resultando prioritaria una línea de investigación sobre la



captura incidental de elasmobranquios en las operaciones de pesca de arrastre de camarón. El Plan de Manejo Pesquero de Tiburones y Rayas del Golfo de México y Mar Caribe (PMPTR) señala que los tiburones y rayas son capturados en el arrastre camaronero y describe las profundidades y zonas de captura incidental (DOF, 2022).

El impacto de la veda de captura en la región es estudiado por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA) por conducto de su Dirección de Investigación Pesquera en el Atlántico (DIPA) y sus Centros Regionales de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP), mediante cruceros de investigación pesquera para evaluar las poblaciones de camarón de importancia comercial durante la temporada de veda. El esfuerzo institucional de investigación del INAPESCA desarrollado durante los últimos 20 años para evaluar la veda de camarón y determinar la captura incidental asociada al arrastre camaronero, permite contar con valores de las tasas de captura incidental de elasmobranquios, teleósteos, moluscos, crustáceos, así como del descarte en el arrastre camaronero, que deberán ser confirmados mediante una campaña con cruceros de investigación mensuales o estacionales en un ciclo anual. Para optimizar los recursos institucionales, la estrategia ha sido realizar cruceros de investigación, para evaluar simultáneamente la veda de camarón y la captura incidental de tiburones y rayas en el arrastre camaronero. De 2004 a 2011 la investigación se realizó durante la temporada de veda, en junio y julio de cada año en el litoral veracruzano; determinándose la tasa de captura incidental promedio de elasmobranquios en 6.5% de la captura total del arrastre camaronero. De 2013 a 2015 el estudio adquirió carácter regional y estacional en el Golfo de México, abarcando las temporadas de captura comercial y de veda de capturas, se determinó para Tamaulipas una tasa de captura incidental promedio de 2.5% de la captura total. De 2016 a 2018 se regresó al esquema de evaluación durante la temporada de veda, ahora en los litorales de Tamaulipas y Veracruz; se determinó para Tamaulipas una captura incidental de elasmobranquios promedio de 1.7%. Durante 2019 y 2020 la campaña se realizó en Tamaulipas durante la temporada de veda. Durante las campañas de investigación 2013-2018 se reportan anualmente 5 especies de rayas *G. lessae*, *H. americanus*, *N. bancroftii*, *P. lentiginosus*, *R. texana* y 1 de tiburón *S. dumeril* que representan más del 90% de la captura de elasmobranquios. (Oviedo *et al.* 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019).

Los resultados de las campañas de investigación han sido difundidos por diferentes medios y ahora se presentan los resultados de la campaña 2019-2020 en el estado de Tamaulipas. Los objetivos de la investigación fueron determinar para la pesca de arrastre de camarón en Tamaulipas la composición global de la captura; la captura incidental de elasmobranquios; su composición de especies, estructura



de tallas y sexos; así como los índices de abundancia relativa Captura Incidental por Unidad de Esfuerzo (CIPUE) y Captura Incidental por Unidad de Área (CIPUA). Esta información permitirá actualizar la evaluación del impacto de la pesca de arrastre sobre las poblaciones de elasmobranquios y sustentará recomendaciones orientadas a disminuir la captura incidental en la pesca de arrastre.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio está localizada sobre la plataforma continental de la parte mexicana del Golfo de México. La zona del litoral de Tamaulipas se ubica entre los 22° y 26° N y los 96° y 97° W. (Figura 1).

Plataforma de muestreo

Los muestreos se realizaron a bordo de embarcaciones camaroneras del sector productivo, que cuentan con 4 redes aparejadas en un sistema de arrastre por banda con redes gemelas; presentan cascos de acero con eslora de 22.8 a 25.4 m, manga de 6.32 a 6.75 m, puntal de 2.24 a 3.4 m, equipado con motor principal Caterpillar. Las redes de arrastre cuentan con relinga superior de 45-52 ft de longitud, con luz de malla en el cuerpo de 1 ¾ in y de 1 ½ in en el bolso, con Dispositivos Excluidores de Tortugas Marinas tipo Super Shooter. Las puertas de arrastre son entre 7 ft por 40 in y 9 ft por 44 in.

Muestreo biológico pesquero a bordo y composición global de la captura

Al inicio y final de cada lance se registraron los datos de la operación de los equipos de pesca como: fecha, hora, posición geográfica, profundidad, velocidad, rumbo y distancia recorrida. Con el apoyo de las tripulaciones y de acuerdo con la forma en que se maneja a bordo la producción, la captura se clasificó en 6 grupos de especies: 1) camarón, 2) moluscos retenidos a bordo con valor comercial, 3) otros crustáceos retenidos a bordo con valor comercial, 4) peces óseos retenidos a bordo con valor comercial, 5) elasmobranquios y 6) descarte o fauna regresada al mar, cuantificándose la biomasa en kg para cada uno de estos seis grupos de especies. La composición global de la captura fue expresada en peso y por grupos de especies en porcentajes de contribución a la captura total. En cada lance se separaron todos los elasmobranquios capturados. Se identificaron a bordo al nivel de especie usando las claves taxonómicas de Castro-Aguirre y Espinosa-Pérez (1996), Compagno (2002) y McEachran (2002). Se registraron el número de individuos, el sexo para cada uno de ellos y la biomasa en kg para cada especie. Se registraron datos biométricos de cuando menos 10 ejemplares de cada especie. Se

tomó la longitud total LT, medida desde la punta del hocico hasta la parte posterior de la aleta caudal, para todos los tiburones y para las rayas de las familias Narcinidae, Rajidae y Rhinobatidae). Se midió el ancho de disco AD, medido en la parte más ancha de las puntas de las aletas pectorales, en rayas de las familias Aetobatidae, Dasyatidae y Gymnuridae. (Figura 2).

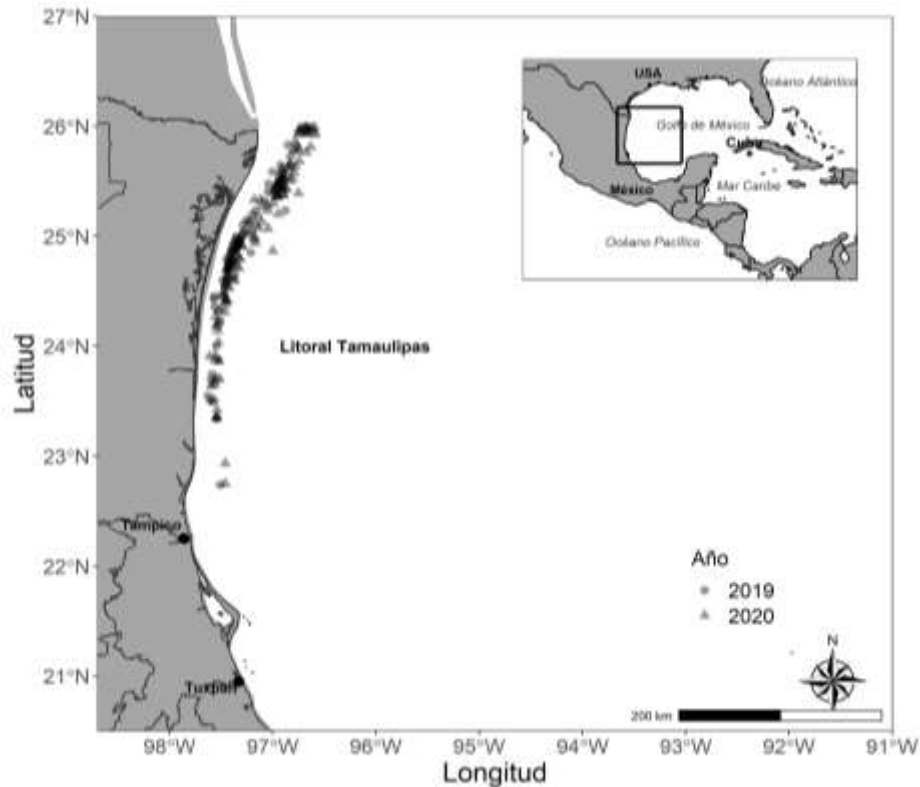


Figura 1. Litoral de Tamaulipas y localización de los lances de pesca de arrastre de camarón.

Captura incidental de elasmobranquios

La incidentalidad de elasmobranquios fue expresada como el porcentaje de captura en kilogramos y fue

estimada bajo la siguiente ecuación.

$$CI = \frac{\sum C_{elasma}}{\sum C_{tot}} \times 100$$

Donde: CI es la captura incidental de elasmobranquios, C_{elasma} es la captura de todas las especies de elasmobranquios en kilogramos, C_{tot} es la captura total del sistema de arrastre.



Figura 2. Medidas morfométricas de tiburones y rayas registradas en la captura del arrastre camaronero en Tamaulipas. Longitud total (LT), Ancho de disco (AD).

Composición específica de elasmobranquios

Se identificaron las especies de tiburones y rayas capturados, determinándose la participación en la captura de cada especie en número de organismos y en peso en kg.

Estructura de tallas de tiburones y rayas

La estructura de tallas de elasmobranquios se analizó por especie y por sexos. El intervalo de tallas se estableció en cada 5 cm de LT para las especies de tiburones, mientras que para las especies de rayas se analizó de la siguiente manera: en intervalo de 2 cm de LT para las rayas de la familia Rajidae (*R. texana*, *P. lentiginosus*, *N. bancroftii*) y en intervalo de 5 cm de AD para las rayas de la familia Dasyatidae y Gymnuridae (*G. micrura*, *H. americanus*).

Proporción sexual, talla de nacimiento y madurez sexual

La proporción sexual para todas las especies fue presentada como la relación entre el número de hembras y el número de machos. Las tallas de nacimiento y madurez sexual para las principales especies de tiburones y rayas fueron determinadas con base en la bibliografía disponible y fueron comparadas con la estructura de tallas de las especies para determinar la presencia de organismos neonatos, juveniles y adultos. En el Cuadro 1 se indican los valores que serán utilizados.

Cuadro 1. Talla de nacimiento y de madurez sexual de las principales especies de elasmobranquios.

Especie	Tipo de longitud	Sexo	Talla de nacimiento	Talla madurez	Autor
<i>R. texana</i>	LT	H	11.5	63.0	Sulikowski <i>et al.</i> , 2007
		M	11.5	49.5	
<i>G. lessae</i>	AD	H	20	56.8	Cu-Salazar <i>et al.</i> , 2014



Especie	Tipo de longitud	Sexo	Talla de nacimiento	Talla madurez	Autor
		M	20	42.0	
<i>N. bancroftii</i>	LT	H	9.5	32.2	McEachran, 2002
		M	9.5	23.0	
<i>P. lentiginosus</i>	LT	H	20	40.5	Hensley <i>et al.</i> , 1998
		M	20	50.0	
<i>S. dumeril</i>	LT	H	25	85.8	Baremore, 2010
		M	25	92.0	
<i>H. americanus</i>	AD	H	25–34	67.3	Ramirez-Mosqueda <i>et al.</i> , 2012
		M	25–34	62.0	

Índices de captura incidental de elasmobranquios por unidad de esfuerzo y por unidad de área

El índice de captura incidental de elasmobranquios por unidad de esfuerzo (CIPUE) se expresó en kg/h de arrastre para cada lance i (CIPUE $_i$) bajo la siguiente ecuación:

$$\text{CIPUE}_i = \frac{C_i}{f_i}$$

Donde: C_i es la captura total de todas las especies de elasmobranquios en el lance i en kilogramos; f_i es el esfuerzo en horas de arrastre del lance i .

El índice de captura incidental de elasmobranquios por unidad de área (CIPUA) expresado en kg/ha para cada lance i (CIPUA $_i$) se estimó con la siguiente ecuación:

$$\text{CIPUA}_i = \frac{C_i}{Ab_i}$$

Donde: C_i es la captura en número de organismos y kg del lance i y Ab_i es el área barrida del lance i . El Ab_i se estableció bajo la ecuación $Ab_i = t_i v_i a h_i$, donde: t_i y v_i son el tiempo efectivo y la velocidad de arrastre respectivamente, y $a h_i$ es la abertura operacional de la red, considerada como el tamaño de la relinga superior de la red por el factor operacional 0.6, que es la fracción de la relinga superior que representa el ancho de la superficie barrida por la red de arrastre, de acuerdo con (Klima 1976, en Sparre y Venema 1997).

Resultados y Discusión

Composición global de la captura y Tasas de captura incidental de elasmobranquios

Durante 2019, se monitorearon 4 viajes de pesca de fomento de camarón con 166 lances de pesca de arrastre. Para determinar la tasa de captura incidental de elasmobranquios se analizaron 83 lances. Se registró una captura total de 37.9 t y un esfuerzo pesquero de 321 h de arrastre, aplicado en un área barrida de 4,972 ha y profundidad de operación de 14.5 a 82 m. La captura total estuvo compuesta por 42.6% (16,141 kg) de camarón; 2.3% (868 kg), 0.01% (2.3) y 1.2% (452 kg) respectivamente, de moluscos, otros crustáceos y peces óseos con valor comercial retenidos a bordo; 1.5% (574 kg) de elasmobranquios y 52.4% (19,886) de descarte regresado al mar (Figura 3).

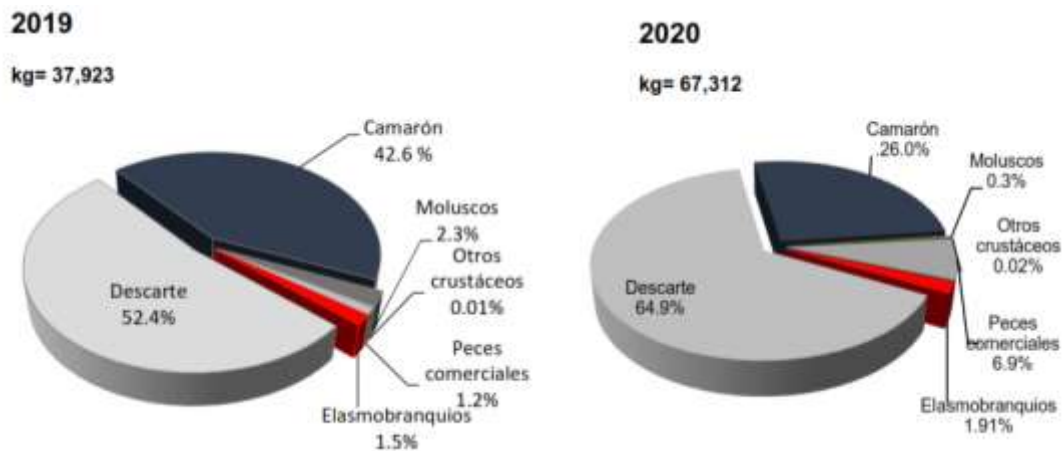


Figura 3. Composición de captura global del arrastre camaronero por grupos de especies en 2019-2020.

Durante 2020, se monitorearon 4 viajes de Pesca de Fomento de camarón con 215 lances de pesca, una captura global de 67.3 t y un esfuerzo pesquero de 713.3 horas de arrastre en un área barrida de 11,255 ha y profundidad de operación de 14.5 a 82 m. La composición de la captura global del sistema de arrastre en grupos de especies fue de 26% (17,504 kg) de camarón; 0.30% (200.5 kg), 0.02% (14.9 kg) y 6.9% (4,640.8 kg) respectivamente, de moluscos, otros crustáceos y peces óseos con valor comercial retenidos a bordo; 1.91% (1,288.3 kg) de elasmobranquios y 64.87% (43,664 kg) de descarte regresado al mar (Figura 3). La tasa de captura incidental de elasmobranquios fue determinada para 2019 en 1.5% y para 2020 en 1.91% de la captura global del sistema de arrastre camaronero. (Figura 3).



Composición específica de elasmobranquios en número de organismos y peso en kg

Estructura de tallas y sexos de rayas y tiburones

Durante 2019 se registraron 1,184 elasmobranquios con un peso total de 1,466 kg que corresponden a 1,149 rayas (97%) con un peso de 1,376 kg (94%) y 35 tiburones (3%) con un peso de 90 kg (6%); se identificaron 5 especies de rayas: *G. lessae*, *H. americanus*, *N. bancroftii*, *P. lentiginosus* y *R. texana* y 4 especies de tiburones: *Mustelus canis*, *Mustelus norrisi*, *S. dumeril* y *Sphyrna tiburo*. (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de especies en número de organismos, peso, sexo y longitudes AD y LT.

Especie	Medida	Sexo	2019				2020			
			n	Longitud	Intervalo	Peso	n	Longitud	Intervalo	Peso
				promedio cm	Longitud cm	total kg		promedio cm	Longitud cm	Total kg
<i>G. lessae</i>	AD	H	305	62.3	25-92	1074	234	65.2	32-89	817
		M	434	42.1	25-61		212	43.3	26-69	
<i>H. americanus</i>	AD	H	29	35.8	22-71	68	34	36.8	17-72	164
		M	10	32.9	17-62		50	35.2	15-53	
<i>M. canis</i>	LT	H	1	-	86.0	2	6	82.3	62-97	26
		M	-	-	-		6	74.5	55-96	
<i>M. norrisi</i>	LT	H	2	95.0	84-106	11	-	-	-	1
		M	-	-	-		1	-	103	
<i>N. bancroftii</i>	LT	H	46	34.5	20-51	51	51	36.6	15-55	58
		M	59	30.7	24-41		52	30.5	14-55	
<i>P. lentiginosus</i>	LT	H	22	65.1	31-76	46	13	67.7	48-79	25
		M	28	61.25	52-75		20	58.8	53-63	
<i>R. texana</i>	LT	H	128	50.2	21-63	137	174	52.2	25-64	162
		M	88	42.7	14-62		61	43.3	22-59	
<i>S. dumeril</i>	LT	H	23	63.4	27-86	76	5	59.6	36-102	20
		M	8	67.1	61-70		2	61.7	48-76	
<i>S. tiburo</i>	LT	H	1	-	67	1	-	-	-	4
		M	-	-	-		1	-	99	
<i>C. acronotus</i>	LT	H	-	-	-		1	-	84	2
<i>R. terraenovae</i>	LT	M	-	-	-		1	-	103	4
Totales			1,184			1,468	924			1,283



Durante 2020 se registraron 924 elasmobranquios con un peso total de 1,283 kg, que corresponden a 901 rayas (97.5%) con peso de 1,226 kg (95.6%) y 23 tiburones (2.5%) con peso de 57 kg (4.4%); se identificaron 5 rayas *G. lessae*, *H. americanus*, *N. bancroftii*, *P. lentiginosus* y *R. texana* y 6 tiburones: *M. canis*, *M. norrisi*, *S. dumeril*, *S. tiburo*, *Carcharhinus acronotus* y *Rhizoprionodon terraenovae*.

En la Tabla 2 se indican para cada especie y campaña de investigación, el número de organismos, género, longitudes promedio, intervalo de tallas y peso.

En la Figura 4 se presenta la estructura de longitud de *R. texana*, *G. lessae*, *N. bancroftii* y *S. dumeril*, por ser en orden de importancia las rayas y tiburones más abundantes y por una cuestión de diseño y espacio para las gráficas.

Madurez sexual

Para determinar la participación en las capturas de organismos representativos de los diferentes estadios de desarrollo de las principales especies, se construyó el Cuadro 3 con la moda y los intervalos de longitudes de AD y LT de estas especies; las tallas de nacimiento y madurez reportadas en la literatura científica. Confrontando los intervalos de longitud con las tallas de nacimiento y madurez, se determinó la presencia de neonatos, juveniles y adultos en la captura. Asimismo, comparando estos valores con la moda de AD y LT, se determinó sobre que segmento de la población está impactando la captura incidental del arrastre camaronero en las principales especies de elasmobranquios.

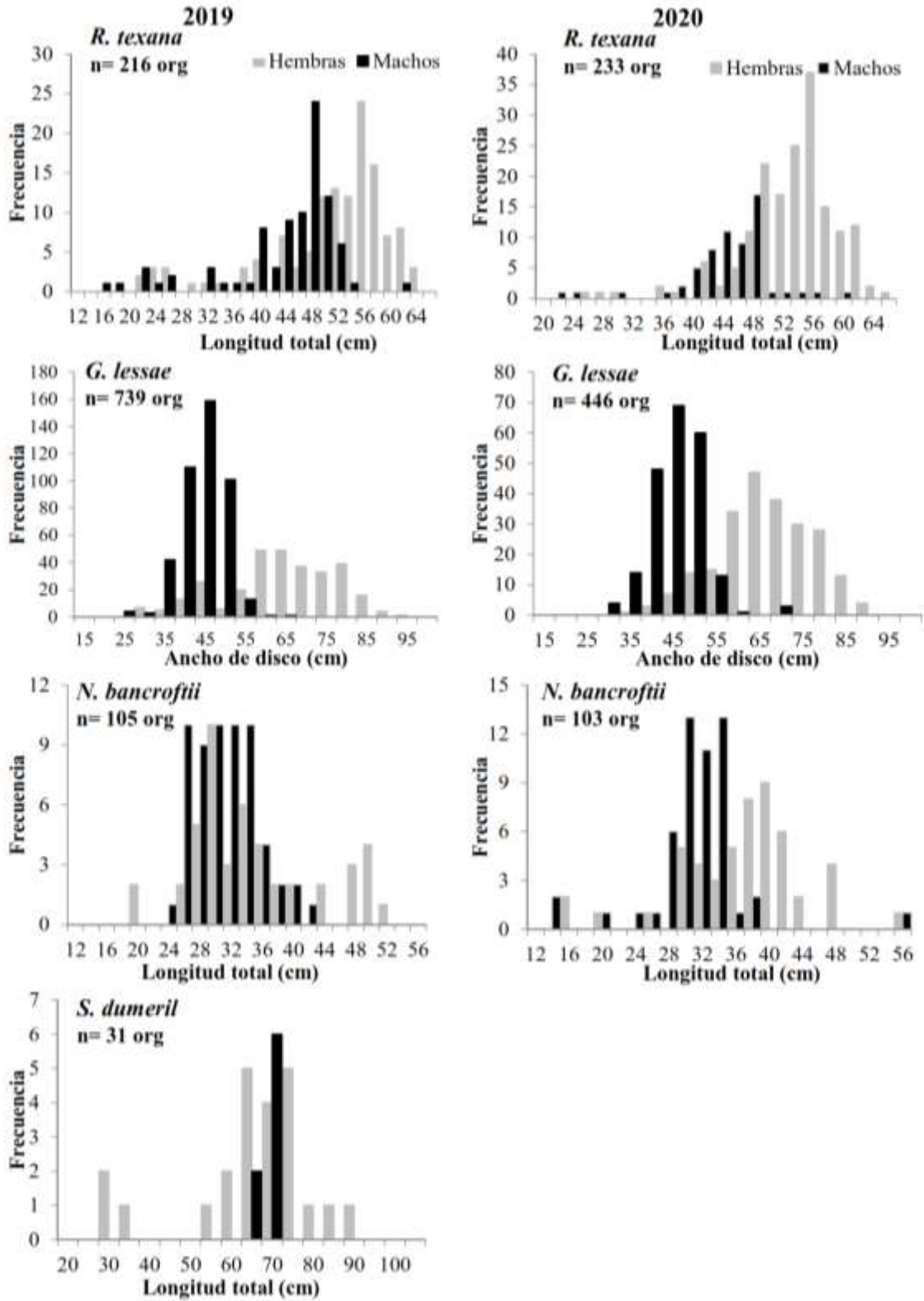


Figura 4. Estructura de longitud de *R. texana*, *G. lessae*, *N. bancroftii* y *S. dumeril* de 2019 y 2020.



Cuadro 3. Participación de neonatos, juveniles y adultos, por sexo, de las principales especies de elasmobranquios en la captura del arrastre camaronero.

Especie	Sexo	2019		2019		Neonato	Madurez	Neonato	Juvenil	Adulto
		Moda	Intervalo	Moda	Intervalo					
		cm	cm	cm	cm					
<i>G. lessae</i>	AD H	64	25-92/32-89	20	56.8	X	X	X		
	M	45	25-61/26-69	20	42	X	X	X		
<i>H. americanus</i>	AD H	33-35	22-71/17-72	25-34	67.3	X	X	X		
	M	-	17-62/15-53	25-34	62	X	X	-		
<i>N. bancroftii</i>	LT H	30-38	20-51/15-55	9.5	32.2	-	X	X		
	M	26-33	24-41/14-55	9.5	23	X	X	X		
<i>P. lentiginosus</i>	LT H	63-72	31-76/48-79	20	40	-	X	X		
	M	63-58	52-75/53-63	20	50.5	-	X	X		
<i>R. texana</i>	LT H	54.2	21-63/25-64	11.5	63	X	X	X		
	M	47-48	14-62/22-59	11.5	49.5	X	X	X		
<i>S. dumeril</i>	LT H	74	27-86/36-102	25	85.8	X	X	X		
	M	70	61-70/48-76	25	92	-	X	X		

Índices de abundancia relativa CIPUE y CIPUA

Cuadro. Índices de abundancia relativa promedio de elasmobranquios asociados al arrastre camaronero en Tamaulipas durante 2019 y 2020.

Campaña de investigación	CIPUE		CIPUA	
	kg / h de arrastre	Org / h de arrastre	kg / ha	Org / ha
2019	1.84 ± 2.2	1.22 ± 1.3	0.11 ± 0.14	0.08 ± 0.08
2020	1.14 ± 1.09	0.74 ± 0.62	0.08 ± 0.08	0.05 ± 0.04



La tasa de captura incidental de elasmobranquios en 2019 fue 1.5% y en 2020 fue 1.91% de la captura total del sistema de arrastre camaronero. En 2019 se registraron 9 especies de elasmobranquios y las especies de tiburones y rayas más abundantes fueron *G. lessae*, *R. texana*, *P. lentiginosus*, *N. bancroftii*, *H. americanus* y *S. dumeril*, que aportaron el 99.4% en número de organismos y 98.9% en peso de la captura total de elasmobranquios. En 2020 se registraron 11 especies de elasmobranquios y las especies más abundantes fueron *G. lessae*, *R. texana*, *P. lentiginosus*, *N. bancroftii*, *H. americanus*, y *S. dumeril*, que aportaron el 98% en número de organismos y 97% en peso. Las seis especies son de hábitos demersales y han sido reportadas anualmente como las más abundantes representando más del 90% de la captura de elasmobranquios asociada al arrastre camaronero en Tamaulipas durante las campañas de investigación de 2013 a 2018.

Este trabajo ratifica este comportamiento y señala a esta tendencia en la composición de la captura de elasmobranquios como un elemento a considerar en la evaluación de la pesquería porque indica que la composición global de la captura del arrastre camaronero y la composición de la captura de elasmobranquios se han mantenido estables durante los últimos 10 años. Las tasas de captura incidental de elasmobranquios de 2019 de 1.5% y de 2020 de 1.91%, son similares a las determinadas en Tamaulipas por el INAPESCA en 2015, 2017 y 2018 de 0.08%, 2.1% y 1.3%, respectivamente. Asimismo, son similares a los promedios anuales de 2.5% y 1.7%. calculados para las campañas 2013-2015 y 2016-2018, respectivamente. El número de especies registradas y su participación individual en la captura de elasmobranquios de 2019 y 2020, son similares a las determinadas en Tamaulipas por el INAPESCA en 2015, 2017 y 2018 de 15, 13 y 9 especies, respectivamente, además de que las seis mencionadas como más abundantes, representan consistentemente la gran mayoría de la captura de elasmobranquios (Oviedo-Pérez *et al.* 2016, 2018, 2019).

Para *G. lessae*, en ambas temporadas las longitudes mínimas de AD registradas para machos y hembras son cercanas a la talla de nacimiento de 22 cm AD, por lo que se asume que son reclutadas a la pesca incidental desde su nacimiento. Con base en la longitud media de madurez sexual de 56.8 cm AD para hembras y 42 cm AD para machos (Cu- Salazar, et al. 2014), en 2019 el 71.4% de hembras y el 58.5% de machos correspondieron a organismos sexualmente maduros; mientras que en 2020 el 77.3% de hembras y el 63.7% de machos fueron maduros. En ambas temporadas se registraron todos los estadios de desarrollo de esta especie. Para *R. texana*, los valores mínimos de LT registrados de 14.5 cm corresponden a organismos neonatos, mientras que los valores máximos de LT de 63 cm corresponden a organismos adultos; por lo que se asume que esta especie es reclutada a la pesca incidental desde su



nacimiento y se registran todos sus estadios de desarrollo. Para *S. dumeril*, con base en la longitud media de madurez sexual para hembras de 85.8 cm LT (Baremore, 2010), en este estudio una hembra fue sexualmente madura y en el caso de los machos que es de 92.9 cm LT, ninguno de los machos encontrados fue maduro.

Los valores de las variables que describen el comportamiento de la captura incidental de elasmobranquios en la pesquería de arrastre de camarón, se muestran generalmente estables y con pocas variaciones durante las diferentes campañas de investigación realizadas en la zona de Tamaulipas de 2015 a 2020. Estas variables se refieren, entre otros, a temas como la composición global de la captura del sistema de arrastre considerando seis diferentes grupos de especies; la tasa de captura incidental del grupo de elasmobranquios; el número de especies de tiburones y rayas que componen la captura de elasmobranquios; las especies de tiburones y rayas más abundantes en la captura incidental de elasmobranquios; la participación porcentual de las especies más abundantes de tiburones y rayas en número de organismos y peso en kilogramos; las estructuras de tallas de las especies más abundantes; la proporción de sexos; la captura de organismos representativos de todos los estadios de desarrollo de las especies más abundantes. La estabilidad en el comportamiento de estas variables puede ser un indicador de que la pesquería de arrastre de camarón en el GMMC no está impactando negativamente a los elasmobranquios asociados a la pesca de arrastre, como siempre se ha supuesto, por ser especies no objetivo y con baja productividad biológica.

De acuerdo con el ejercicio de la Tabla 3, *P. lentiginosus* es la única especie que no registra neonatos. Las otras 5 especies registran organismos representativos de todos los estadios de desarrollo, para ambos sexos o bien para uno de ellos. La moda de la longitud de *G. lessae*, *N. bancroftii* y *P. Lentiginosus* sugiere que su captura incidental está formada principalmente por organismos maduros sexualmente. La moda de *H. americanus* sugiere que su captura está conformada principalmente por neonatos y juveniles. La moda de *R. texana* y *S. dumeril* sugiere que su captura está compuesta principalmente por juveniles con longitudes cercanas a la madurez sexual, pero el intervalo de longitudes de *R. texana* sugiere que también se capturan organismos maduros y neonatos de esta especie.



Conclusiones

La tasa de captura incidental de elasmobranquios en 2019 fue de 1.5% y en 2020 fue de 1.91% de la captura total del sistema de arrastre camaronero. En 2019 se registraron 9 especies de elasmobranquios, mientras que para 2020 se registraron 11 especies de elasmobranquios en la captura incidental.

De manera conjunta en 2019 y 2020 se identificaron 5 especies de rayas, *H. americanus*, *G. lessae*, *N. bancroftii*, *R. texana* y *P. lentiginosus*, así como 4 especies de tiburones, *M. canis*, *M. norrisi*, *S. dumeril* y *S. tiburo*. Adicionalmente en 2020 se registraron 2 tiburones, *C. acronotus* y *R. terraenovae*, que no fueron observados en 2019.

Las especies de tiburones y rayas más abundantes fueron *G. lessae*, *R. texana*, *P. lentiginosus*, *N. bancroftii*, *H. americanus* y *S. dumeril*, que aportaron el 99.4% en número de organismos y 98.9% en peso de la captura total de elasmobranquios en 2019 y en 2020 aportaron el 98% en número de organismos y 97% en peso. Las seis especies son de hábitos demersales y consistentemente en campañas anteriores, de 2015 a 2018, han sido reportadas como las más abundantes en la captura de elasmobranquios asociada al arrastre camaronero.

Durante la campaña 2019 se estimó un Índice de Abundancia relativa de Captura Incidental por Unidad de Esfuerzo (CIPUE) promedio de 1.84 kg/h de arrastre y de 1.22 elasmobranquios/h de arrastre. El Índice de Abundancia relativa de Captura Incidental por Unidad de Área (CIPUA) promedio se estimó en 0.11 kg/ha de arrastre y en 0.08 elasmobranquios/ha.

Durante la campaña de 2020 se estimó un Índice de Abundancia Relativa de Captura Incidental por Unidad de Esfuerzo (CIPUE) promedio de 1.14 kg/hr de arrastre y de 0.74 elasmobranquios/hr de arrastre. La Captura Incidental por Unidad de Área (CIPUA) promedio en peso fue de 0.08 kg/ha y en número de organismos fue de 0.05 elasmobranquios/ha

La composición global de la captura del sistema de arrastre. La tasa de captura incidental del grupo de elasmobranquios. El número de especies de tiburones y rayas que componen la captura de elasmobranquios. Las especies de tiburones y rayas más abundantes en la captura incidental de elasmobranquios. La composición de la captura incidental de elasmobranquios en especies y en número de organismos y peso por especie. Las estructuras de tallas de las especies más abundantes. La proporción de sexos. La captura de organismos representativos de todos los estadios de desarrollo en 5 de las especies más abundantes. La predominancia de organismos maduros en la captura de 3 de las principales especies. La predominancia de la captura de juveniles y adultos en las capturas de 2 de las



principales especies. La predominancia de juveniles en la captura de una especie principal. Todos los factores mencionados son algunas de las variables que nos ayudan a describir y entender la captura incidental de elasmobranquios en el arrastre camaronero. Todos ellos se muestran estables a partir de campañas de investigación anteriores y esa estabilidad nos demuestra que en Tamaulipas la pesquería de arrastre de camarón no está teniendo un efecto pernicioso sobre las poblaciones de elasmobranquios asociados a la pesca de arrastre, ya que no hay síntomas de afectaciones graves que deban ser atendidas con medidas de manejo alternativas para garantizar la conservación de las poblaciones de elasmobranquios asociados a la pesca de arrastre.

Literatura Citada

- Baremore I.E. 2010. Reproductive aspects of the Atlantic angel shark *Squatina dumeril*. *Journal of Fish Biology*. 76(7):1682-95. doi:10.1111/j.1095-8649.2010.02608.x.
- Castro-Aguirre, J.L. y H. Espinosa-Pérez. 1996. Catálogo sistemático de las rayas y especies afines de México: Chondrichthyes: Elasmobranchii: Rajiformes: Batoideomorpha. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, México. 75p.
- Compagno, L.J.V. 2002. Shark, in: Carpenter, K.E. (Ed.), *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, Molluscs, Crustaceans, Hagfishes, Sharks, Batoid Fishes, and Chimaeras*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5, Roma. Pp. 357–505.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2018. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2018*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Agricultura. México. 297 p.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2019. *Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2019*. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Agricultura. México. 290 p.



CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2020. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2020. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Agricultura. México. 291 p.

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2021. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2021. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. Agricultura. México. 292 p.

CONAPESCA-INP (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca-Instituto Nacional de la Pesca). 2004. Plan de Acción Nacional para el Manejo y Conservación de Tiburones y Rayas y Especies Afines en México. Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca e Instituto Nacional de Pesca. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Mazatlán, México.

Cu-Salazar N.H., J.C. Pérez-Jiménez, I. Méndez-Loeza y M. Mendoza-Carranza. 2014. Parámetros reproductivos de las hembras de la raya mariposa *Gymnura micrura* (Elasmobranchii) en el sur del Golfo de México. *Hidrobiológica* 24(2): 109–117.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2013. Norma Oficial Mexicana NOM-002-SAG/PESC-2013, Para ordenar el aprovechamiento de las especies de camarón en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Prim. Sección. 11/07/2013. SAGARPA.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. ACUERDO por el que se da a conocer el Plan de Manejo Pesquero de Tiburones y Rayas del Golfo de México y Mar Caribe. Diario Oficial de la Federación. México. 9 de junio de 2022.

Hensley, R.A., M.J. McCoid and C.A Luer. 1998. Litter Variation in the Atlantic Guitarfish (Rhinobatidae: *Rhinobatos lentiginosus*) with Comments on Distribution in the Gulf of Mexico. *Southwest. Nat.* 43, 501–504.

Klima E.F. 1976. An assessment of the fish stocks and fisheries of the Campeche Bank. *wecaf Studies* 5: 24p.



McEachran, J. 2002. Batoid fishes, in: Carpenter, K.E. (Ed.), *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Volume 1: Introduction, Molluscs, Crustaceans, Hagfishes, Sharks, Batoid Fishes, and Chimaeras*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5., Roma, pp. 507–590.

Oviedo-Pérez, J., H. Zea-de la Cruz y L. Martínez-Cruz. 2014. Incidentalidad de elasmobranquios en el arrastre camaronero durante 2013. Informe Técnico (Documento interno). Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de la Pesca. 31 p.

Oviedo Pérez J.L., H. Zea de la Cruz, G. Acosta Barbosa, J. Balderas Telles, L.A. Balderas Ramírez, L.E. Martínez Cruz. et. al. 2015. Incidentalidad de elasmobranquios asociada al arrastre camaronero en el golfo de México durante 2014. Informe Técnico (Documento interno). Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de la Pesca. 30 p.

Oviedo Pérez J.L., H. Zea de la Cruz, J. Balderas Telles, L.A. Balderas Ramírez, G. Acosta Barbosa, A. López Salazar, et. al. 2016. Incidentalidad de elasmobranquios asociada al arrastre camaronero en el golfo de México durante 2015. Informe Técnico (Documento interno). Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de la Pesca. 28 p.

Oviedo-Pérez, J., H. Zea-de la Cruz, L. Martínez-Cruz y L. González-Ocaranza. 2017. Presencia de tiburones y rayas en el arrastre de camarón en el norte del litoral veracruzano durante 2016, in: Amador-del Ángel, L.E., López-Contreras, J.E., Endañu-Huerta, E., Laffon-Leal, S.M. (Eds.), *Memorias Del IV Congreso Sobre Los Recursos Acuaticos Del Golfo de México y Mar Caribe*. Universidad Autónoma del Carmen, Campeche, pp. 23–24.

Oviedo-Pérez, J., H. Zea-de la Cruz y L. Martínez-Cruz. 2018. Índices de captura incidental de tiburones y rayas en las pesquerías de camarón con red de arrastre y de atún con palangre de deriva en el golfo de México durante 2017. Informe Técnico. Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de la Pesca. 30 p.



Oviedo Pérez J.L., H. Zea de la Cruz, G. Acosta Barbosa, J. Balderas Telles, L.A. Balderas Ramírez y L.E. Martínez Cruz. 2019. Índices de captura incidental de tiburones y rayas en la pesquería de camarón con red de arrastre en el Golfo de México durante 2019. Informe Técnico. Dirección General de Investigación Pesquera en el Atlántico. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. 30 p.

Ramírez-Mosqueda, E., Pérez-Jiménez, J.C., Mendoza-Carranza, M., 2012. Reproductive parameters of the southern stingray *Dasyatis americana* in southern gulf of Mexico. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 40, 335–344.

Sparre, P., Venema, S.C. 1997. Introducción a la evaluación de los recursos pesqueros tropicales. Parte 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper. No. 306. Rome. 420 p.

Sulikowski, J.A., S.B. Irvine, K.C. DeValerio and J.K. Carlson. 2007. Age, growth and maturity of the roundel skate, *Raja texana*, from the Gulf of Mexico, USA. *Mar. Freshw. Res.* 58, 41–53.



DESARROLLO RURAL





INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE COMPOSTAJE PARA MEJORAR LOS SUELOS DE LA AGRICULTURA FAMILIAR, VALLE DE TEOTIHUACÁN, ESTADO DE MÉXICO

Aníbal Quispe Limaylla^{312*}, Enriqueta Tello García³¹² y Hortencia Guarneros Manoatl³¹²

Resumen

El mundo y particularmente los países en desarrollo requieren de alimentos suficientes, sanos y nutritivos y que sean producidos sin afectar a los recursos naturales, la ecología y la biodiversidad. Este reto en buena medida ha sido atendido por la agricultura en pequeña escala o agricultura familiar, además de ser la base de la seguridad alimentaria en muchos países, como es el caso de México. Los productores de pequeña escala producen el 70% de los alimentos que consumimos, sin embargo, las condiciones de vida en las que viven en su mayoría son marginales. Para apoyar a este tipo de agricultura, uno de los aspectos muy importante es la producción de fertilizantes orgánicos a partir de los residuos sólidos orgánicos (RSO) existentes, tanto en las áreas rurales como urbanas. Para ello se, requiere de tecnologías apropiadas muy acordes a las realidades de la agricultura familiar. La investigación que estamos realizando tiene como objetivo crear y afinar tecnologías de compostaje con participación directa de las personas. Esta se realiza en la comunidad rural Santa María Palapa, municipio de San Martín de las Pirámides, Estado de México. Los trabajos de investigación se realizan en el predio “Parque Ecoturístico Paraíso Tlaloc”, de un grupo de habitantes de la comunidad. La metodología que se usa está basada en la Investigación- Acción-Participativa y la experimentación. Los resultados presentados corresponden a la fase inicial de la investigación: a) capacitación sobre compostaje a más de 50 participantes, b) construcción de la infraestructura para el acopio de residuos sólidos orgánicos (RSO) y el proceso de compostaje, previamente diseñada y c) el precompostaje en recipientes apropiados para acelerar el proceso de putrefacción de los RSO, antes de verterlos en las composteras o camas. A dos meses de iniciada la investigación, percibimos una gran expectativa de las personas de la comunidad y entidades educativas y gubernamentales locales. En cuanto al proceso de la

³¹² Posgrado en Estudios del Desarrollo Rural, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. *anibalq@colpos.mx



investigación, la infraestructura construida, garantizará los procesos de compostaje, la obtención de los productos (composta y lixiviado), la comprobación de la calidad nutritiva de ambos productos y el aprendizaje los grupos participantes.

Palabras clave: manejo de residuos sólidos, participación comunitaria y alimentos saludables

Introducción

Uno de los mayores desafíos de la humanidad está relacionado con lograr diseñar y manejar sistemas de producción de alimentos saludables, en abundancia y manteniendo la calidad de los recursos, los bienes comunes, para esta y las futuras generaciones (Sarandón y Flores, 2014). Parte de este reto se ha venido dando, en cierta medida, por las unidades de producción de pequeña escala. Sin embargo, por múltiples razones, es necesario atender a este sector mayoritario del mundo y particularmente de México. Mejorar la situación de los agricultores familiares es de imperiosa necesidad. Son ellos quienes producen el 70% de los alimentos que consumimos, pero viven en condiciones deplorables (Bruil, 2014).

Los datos históricos indican que la agricultura en pequeña escala, llámese agricultura familiar, huerto familiar, agricultura de traspatio, agricultura de subsistencia, constituye la base de la seguridad alimentaria en muchos países, como es el caso de México, por tanto, debe ser respaldada por políticas e inversiones públicas, para que pueda contribuir de manera más efectiva, a la seguridad y soberanía alimentaria y de forma sustancial y significativa, al desarrollo del país. Los beneficios de la agricultura familiar son multidimensionales, y hablando de los suelos, cobra mucha relevancia, pues se ha demostrado que las tierras en manos de productores a pequeña escala aportan: seguridad alimentaria, ayudan a mejorar su calidad por la incorporación de nutrientes, generan un ingreso económico, obtienen alimentos nutritivos de acuerdo a cada nicho ecológico.

Desafortunadamente, estos beneficios se han ido perdiendo con el paso del tiempo por diversos factores, entre ellos, la influencia del sistema convencional de producción agroalimentaria, especialmente por la llamada revolución verde, el débil apoyo de las políticas y programas gubernamentales, entre otros.



La agricultura familiar es un sector clave para lograr la erradicación del hambre y el cambio hacia sistemas agrícolas sostenibles en América Latina, el Caribe y el mundo (FAO, 2014). De acuerdo con esta fuente, los agricultores de pequeña escala son aliados de la seguridad alimentaria y actores protagónicos en el esfuerzo de los países por lograr un futuro sin hambre. En nuestra región, el 80% de las explotaciones pertenecen a este tipo de agricultura, incluyendo a más de 60 millones de personas, convirtiéndose en la principal fuente de empleo agrícola y rural. Además, no sólo producen la mayor parte de los alimentos para el consumo interno de los países de la región, sino que habitualmente desarrollan actividades agrícolas diversificadas, que les otorgan un papel fundamental a la hora de garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y la conservación de la biodiversidad.

En el caso de México, del total de unidades económicas rurales (UER), son aproximadamente a 5.3 millones, el 73.0% practica la agricultura familiar que se encuentran dentro de la agricultura de subsistencia (50.6% con acceso al mercado y 22.4% sin acceso al mercado) (Urquía, 2014). A pesar del valor potencial productivo de la agricultura familiar en México, por varias razones, no ha tenido el éxito esperado. Este tipo de agricultura se caracteriza por tener acceso limitado a recursos de tierra, tecnología apropiada y escaso capital económico, y es practicado preponderante por la fuerza de trabajo familiar.

El municipio de San Martín de las Pirámides, estado de México, donde estamos realizando la investigación, forma parte de los municipios en donde la agricultura se ha visto limitada por pertenecer a una región en donde los suelos son delgados, pobres en disponibilidad de materia orgánica, es una zona seca, la vegetación predominante son las cactáceas, magueyes, nopales; el clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una precipitación anual de 500–700 mm. Los suelos del valle son de tipo Fluvisol, Feozem, Cambisol, Leptosol y Vertisol (López, 2014). En cuanto a la capa arable, en promedio es de 0.30 m con características arena arcillosas de color café claro que puede indicar escasa materia orgánica (Pérez, 2007). Las principales actividades económicas que destacan en el municipio de San Martín de las Pirámides y de la localidad de Santa María Palapa, son la agricultura, la artesanía, servicios para el turismo local y el comercio.

En el área se encuentra la zona arqueológica de Teotihuacán, por lo que parte de las actividades laborales se centran en el turismo. La información demográfica de la zona muestra que el 61.0% son una población económicamente activa, con una distribución de 60.8% son hombres y 39.2% mujeres. En 2015, el 46.6% de la población del municipio se encontraba en situación de pobreza moderada y poco menos del 3% se encontraba en situación de pobreza extrema. La población vulnerable por



carencias sociales alcanzó un 34.9% y 4.75% por falta de ingresos (INEGI, 2020). De acuerdo con esta fuente, el municipio presenta una pobreza multidimensional moderada y un índice de rezago social bajo. Sin embargo, es importante impulsar iniciativas que detonen la actividad económica dentro del área. Para hacer frente a la problemática de la agricultura familiar, como lo es en San Martín de las Pirámides, sobre todo en la parte productiva, es conveniente aplicar conocimientos y experiencias y explicación teórica de la mini granja biointensiva u otros enfoques alternativos basados en la Agroecología (Altieri y Nichols, 2012). Se afirma que, ahora con las tecnologías apropiadas, en superficies pequeñas, se pueden obtener rendimientos de alimentos de dos a cuatro veces más que cuando son producidos bajo un sistema convencional (Bueno, 2004). Estos sistemas alternativos de producción en pequeña escala tienen su fundamento en los principios agroecológicos. No se utilizan los pesticidas sintéticos ni los fertilizantes comerciales. Su carácter orgánico significa menos contaminación ambiental y sistemas agroecológicos más estables.

Teóricamente, en estos sistemas de producción agropecuarios, en vez de usar fertilizantes químicos son empleados los abonos orgánicos, como la composta. En estos sistemas, denominados agroecosistemas, se requieren de menos insumos agrícolas y los que se utilizan, provienen generalmente de los propios sistemas y hay una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía; por lo que casi nada se desperdicia. Los nutrientes requeridos se reciclan mediante la elaboración de las compostas con o sin lombrices, a partir de los rastrojos, desperdicios agrícolas y de cocina y estiércoles (Altieri y Toledo, 2011). Si bien esta propuesta teórica es importante y necesaria, su aplicación es todavía escasa. La gran mayoría de los que practican la agricultura en pequeña escala, siguen usando prioritariamente los agroquímicos, aun siendo costosos estos insumos.

Una de las razones importantes por las cuales los agricultores en pequeña escala siguen usando los agroquímicos, como los fertilizantes químicos, es su escaso conocimiento de las formas de cómo convertir los materiales orgánicos putrescibles en abono y humus para que las raíces de las plantas puedan absorberlos con facilidad y tener efectos favorables en el crecimiento y producción de los cultivos. Para este proceso de conversión de los residuos orgánicos a abono utilizable se requiere de un proceso tecnológico apropiado, que es aún poco desarrollado y usado por los productores de pequeña escala. El material orgánico para ser convertido en abono es abundante tanto en el ámbito urbano y rural, sin embargo, escasamente son utilizados. De acuerdo con Quispe (2015), en nuestro entorno urbano y rural, existen enormes cantidades de residuos orgánicos que pueden ser convertidos en compost mediante procedimientos apropiados. Sin embargo, muy poco se ha hecho para que esos



recursos se conviertan en fertilizantes orgánicos para la agricultura. Necesitamos de tecnologías de compostaje apropiados para que la gente la usen, especialmente los agricultores de pequeña escala (Quispe, 2021).

Si bien, desde hace casi veinte años, hemos venido trabajando sobre la generación de tecnologías de compostaje para apoyar a la agricultura, especialmente de pequeña escala, los trabajos han sido de tipo empírico, aunque con resultados importantes, pero que requiere afinarse y hacerlo directamente en los espacios de los productores y con ellos. Sobre el particular, de acuerdo con Soto y Muñoz (2002), la agroecología enfatiza la capacidad de las comunidades locales para experimentar, evaluar y ampliar su aptitud de innovación mediante la investigación de agricultor a agricultor y utilizando herramientas del extensionismo horizontal. Su enfoque tecnológico tiene sus bases en la diversidad, la sinergia, el reciclaje y la integración, así como en aquellos procesos sociales basados en la participación de la comunidad. Dicho autor señala que el desarrollo de los recursos humanos es la piedra angular de cualquier estrategia dirigida a aumentar las opciones de la población rural y, especialmente, de los campesinos de escasos recursos. También atiende las necesidades alimenticias a partir del fomento de la autosuficiencia. Es un enfoque que privilegia mucho lo local al estar encaminado al abastecimiento de los mercados locales que acortan los circuitos de producción y el consumo de alimentos, evitando con ello el dispendio de energía que implicaría el traslado de éstos desde lugares distantes.

La investigación en proceso tiene como propósito contribuir a mejorar los suelos de las parcelas familiares, utilizando técnicas de innovación tecnológica para el manejo de residuos orgánicos. Consideramos que, con la tecnología generada, es posible hacer una restauración paulatina de suelos degradados o bien mejorar sus condiciones de fertilidad para la producción de alimentos. Para lo anterior es necesario hacerlo en los espacios disponibles de los propios productores, con la finalidad de documentar los procesos y resultados, y ellas y ellos lo incorporen a sus actividades productivas.

La investigación que se realiza avizora una gran oportunidad para verificar los planteamientos teóricos y prácticos ya expuestos, pues son numerosas las preguntas que requieren ser respondidas y corroboradas, para que las tecnologías de compostaje generadas sean apropiadas y aceptadas por los productores para su uso. Las preguntas que nos formulamos para realizar la investigación fueron las siguientes.

Respecto a las composteras: ¿Cómo deben ser las composteras? ¿Qué materiales se deben usar para su construcción? ¿De qué forma y dimensiones deben ser? ¿Qué orientación y ubicación deben tener para facilitar su uso?



En cuanto al acopio y almacenamiento del material a ser composteado: ¿De qué material y qué características debe tener el espacio para el acopio y almacenamiento del material a ser composteado?

Sobre el proceso de compostaje: ¿Qué características físicas deben tener los materiales a ser composteadas? ¿Qué volumen de material debe tener al inicio del proceso? ¿Qué debe hacerse para facilitar el proceso de putrefacción del material en descomposición? ¿En qué tiempo debe lograrse el producto terminado? ¿Qué características físicas debe tener el producto terminado? ¿Qué debe hacerse para disponer el producto terminado (compost)?

Sobre el producto terminado: ¿cuál es el valor nutritivo del compost obtenido, en términos del contenido de macro y microelementos y biológico? ¿Cómo y cuáles son las respuestas de las plantas al ser usado el compost para su crecimiento y producción?

Los productos por generar como resultado de la investigación serán básicamente los conocimientos y experiencias de cómo realizar el proceso de compostaje de forma apropiada para obtener fertilizantes orgánicos para la agricultura de pequeña escala. Para responder las preguntas, la investigación se lleva a cabo en los espacios de un grupo de productores de la comunidad Santa María Palapa, denominado Parque ecoturístico Tlaloc. Parte de las preguntas ya están siendo respondidas, sobre todo, las primeras.

Materiales y Métodos

La investigación se basa en dos métodos generales: el experimental, de las ciencias biológicas (Fernández, 2010) como y la sistematización de experiencias, de las ciencias sociales (Mera, 2019), se trabaja desde la investigación-Acción-Participativa (Zapata y Rondan, 2016) para la participación social, con un apoyo importante del método experimental, especialmente para el manejo de los cultivos.

La investigación comprende las siguientes fases:

Diseño y construcción de la infraestructura para el acopio y traslado de los residuos orgánicos disponible

En la primera fase, se determinaron los espacios, ubicación, tipo de materiales de construcción, dimensiones y funcionamiento de la infraestructura. Además de fomentarse talleres participativos sobre la clasificación de los residuos con la finalidad de favorecer el proceso de acopio y transporte de los residuos colectados en la localidad.



Diseño y construcción de las composteras o camas para el proceso de compostaje

En la segunda fase se programó construir los tipos y calidad de los materiales de construcción, las dimensiones de los espacios y la funcionalidad de las composteras.

Manejo de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje hasta obtener el compost

En la tercera fase se valorarán varios parámetros, como el volumen de materia orgánica a ser composteada; la temperatura, color y humedad, grado de descomposición, al inicio, a la mitad y al final del proceso de compostaje. En esta fase también se determinará el tipo de manejo a realizar para favorecer el proceso de descomposición. Los datos se compararán con los existentes en el material bibliográfico existente. Finalmente, como parte de los trabajos de investigación en esta tercera fase, se determinará el tiempo que dura el proceso de descomposición.

Manejo del producto terminado

En la cuarta fase, una vez logrado la madurez del proceso de compostaje, se definirán los pasos a seguir para obtener el producto final, incluyendo su extracción de las composteras, su secado y tamizado. También se determinarán la humedad, pH y volumen.

Análisis físico, químico y biológico del compost

La quinta fase consiste en la determinación de las características físicas, químicas y biológicas del compost obtenido. Para determinar el contenido químico y biológico del compost, se acudirá a un laboratorio donde harán los análisis de micro y macroelementos y la predominancia microbiológica (Cuadro 1)

Cuadro 1. Parámetros a evaluar para el análisis físico, químico y biológico del compost.

Metodología	Parámetros a evaluar	Objetivo
Análisis fisicoquímicos de la lombricomposta	Humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica total, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, cinc, sodio.	Garantizar la calidad nutrimental y la ausencia de residuos perjudiciales al medio ambiente
Análisis de fertilidad de suelos	Parámetros basados en la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, apartado de fertilidad de suelos.	Determinar los cambios a nivel de fertilidad de los suelos sometidos a tratamiento con el abono orgánico generado.



Prueba de la calidad de abonos orgánicos para el crecimiento y producción de cultivos

La sexta fase consiste en probar el valor nutritivo del compost, para lo cual se utilizarán plantas de lechuga que, para su nacencia, crecimiento y producción, se usarán diferentes dosis de compost como sustrato. Para la comparación, se usará, como testigo, plantas nacidas y desarrolladas sólo en arena con agua. Como parte del experimento, se medirán, porcentaje de nacencia, altitud, magnitud y color de follaje y resistencia a plagas y enfermedades y tiempo del ciclo biológico. Los datos numéricos obtenidos de cada fase serán analizados estadísticamente usando el paquete SAS o SPSSx.

En todo el proceso de la investigación, desde su inicio, la participación de los integrantes del grupo Parque Tlaloc, es fundamental, además de que se han sumado hombres y mujeres, de otros grupos e integrantes de diferentes comunidades del Valle de Teotihuacán, especialmente del ámbito de influencia de la Diócesis de Teotihuacán, Pastoral Social Cáritas, A. C.

Resultados y Discusión

La investigación se inició en mayo del presente año, por lo que los datos que presentamos corresponden a las tres primeras fases de la investigación, complementado con algunos resultados de previos experimentos realizados en Texcoco, Estado de México. Los avances de la investigación son los siguientes.

1) Capacitación de los productores.

De acuerdo con lo planeado y mencionado en la sección de materiales y métodos, para lograr una participación de las personas, especialmente del grupo con quienes se está trabajando, se capacitó a un poco más de 50 personas sobre las diferentes fases del proceso de compostaje. La convocatoria y realización de la capacitación se realizó con el apoyo de la Pastoral Social Cáritas de Teotihuacán.

2) Diseño y construcción de la infraestructura para acopiar los materiales a compostear y realizar el proceso de compostaje

Con el propósito de garantizar el buen manejo del proceso de compostaje y la calidad del producto, después del diseño, se construyeron las infraestructuras para el acopio de los residuos orgánicos putrescibles y las composteras o camas para el proceso de compostaje. La primera tiene por dimensiones: 5 m de largo por 4 m de ancho por 3 m de alto, semiabierto con techo de lámina metálica. Los muros están contruidos con bloques y cemento y el piso con cemento y arena con superficie



semilisa. Este espacio es necesario para recibir los residuos a compostear y de este lugar trasladarlos a las composteras, poco a poco, de acuerdo con las necesidades. Este espacio está ubicado en la parte contigua al área de compostaje. Los residuos son trasladados a las composteras con carretillas.

En cuanto a las composteras, en total son 16, construidas con bloques, cemento y arena. Cada compostera tiene las siguientes dimensiones: 4 m de largo por 1 m de ancho y 0.35 m de alto. Para facilitar el traslado de los materiales pre y post compostaje, las composteras están, ubicadas en dos filas, con un pasillo de 1.5 m que las divide. En cada fila se ubican 8 composteras, dos de las cuales están pegadas y separadas de las otras dos con un pasillo de 1 m para facilitar el llenado con residuos, su manejo en el proceso de compostaje y la extracción de la composta, una vez concluido el proceso. A las dos composteras pegadas entre sí, las llamamos “gemelas”. Todas las composteras están revestidas con cemento y arena fina. La superficie de las composteras posee una inclinación de 1% hacia el pasillo principal, para facilitar el drenaje en caso de exceso de agua, especialmente en época de lluvia. Con el fin de acopiar el líquido que drena de las composteras, al final de cada una de las cuales, está construido un canalito que desemboca al final de cada fila de las composteras, en una especie de recipiente de 0.8 m de profundidad y 0.5 m de diámetro. Este tiene el propósito de acopiar el líquido que escurre de las composteras, llamado lixiviado, que viene a ser otro producto que tiene un valor nutritivo para las plantas.

Toda el área de las composteras está cubierta con malla sombra para evitar el calentamiento por exceso de los rayos de sol y por lo tanto la resequedad del material en proceso de descomposición.

3) El precompostaje.

El proceso de precompostaje tiene por finalidad, por un lado, acelerar el proceso de descomposición y por otro, evitar que animales depredadores, como los roedores (ratas y ratones), pájaros y otros animales puedan ingresar a las camas en busca de comida y afectar al proceso normal de putrefacción. Esta afectación puede darse cuando los residuos orgánicos, como desperdicios de frutas, verduras granos e incluso comida preparada, no tienen un proceso de descomposición avanzada por lo que, los depredadores al percibir el olor a comida tratan de ingresar y escarbar los residuos.

El precompostaje se realiza en recipientes de plástico de 20 L de capacidad, en donde los residuos orgánicos entran a un proceso de putrefacción acelerado. El precompostaje puede durar hasta un mes y medio en los recipientes antes de ser trasladarlos a las composteras. En este lapso, el material sufrió un proceso de putrefacción importante, en el que, después de que la temperatura haya llegado entre 60 a 70°C, desciende hasta la temperatura normal ambiental (12 a 16°C). Este descenso de la temperatura



ayuda cuando se quiere aplicar lombrices en un proceso de lombricompostaje (Figura 1). De no hacer el precompostaje puede afectar a las lombrices produciendo la muerte por la alta temperatura que se genera en el proceso de putrefacción.

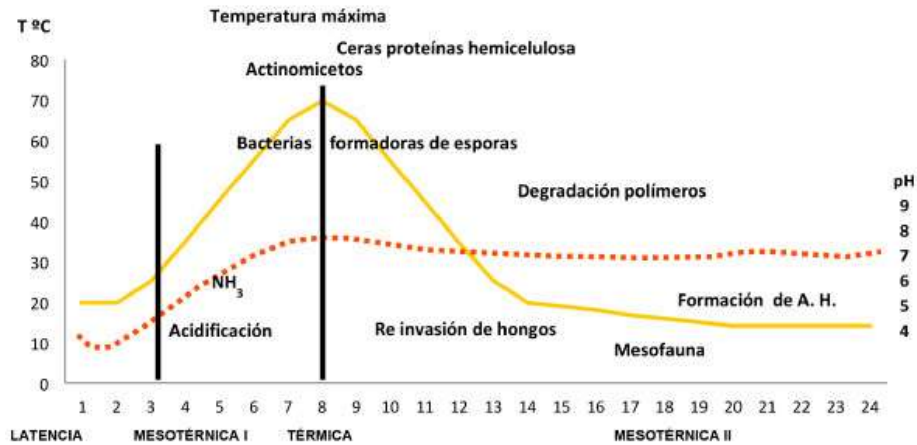


Figura 1. El comportamiento de la temperatura y el pH en el proceso de putrefacción de la materia orgánica putrescible y la prevalencia de los microorganismos.

Después de un período de 1.5 meses de precompostaje, los materiales en proceso de putrefacción avanzado, se verterán en las camas o composteras hasta su proceso final de 2.5 meses en promedio. En la investigación que estamos realizando, esta fase aún no se ha iniciado porque los materiales de precompostaje están en su inicio. En el experimento de esta fase, observamos que no sólo la temperatura de los materiales en descomposición empieza a elevarse, sino también el color cambia de uno normal a pardo oscuro y de olor putrefacto. Además, la consistencia no es sólida sino tiende a ser húmeda. Estos son indicios de un proceso normal de putrefacción favorable.

Conclusiones

En esta primera fase de la investigación estamos percibiendo que la infraestructura diseñada y construida tiene una funcionalidad de acuerdo a lo deseado. La capacidad del área de acopio de residuos orgánicos parece ser suficiente para recibir lo que hasta el momento se ha obtenido y utilizado para el precompostaje. El proceso de precompostaje se va realizando con normalidad, que, a menos de



un mes de iniciado, el proceso de putrefacción es dentro de lo normal. Lo más importante de la investigación, el grupo de participantes ha mostrado bastante interés y expectativa de lo que se viene realizando. El interés por conocer estos procesos se ha ampliado a estudiantes y maestras de escuelas de secundaria que se encuentran en lugares cercanas al Parque Ecológico Tlaloc, donde se realiza la experimentación.

Estos hechos nos muestran el gran interés de la gente en conocer y aprender de lo que se puede aprovechar de los residuos orgánicos que, en gran medida no son utilizados de forma adecuada. En unos meses, la gente que participa se percatará que, mediante procesos apropiados de manejo de los residuos sólidos orgánicos, se puede convertir en algo útil (abono) para los cultivos, especialmente de los huertos familiares y escolares.

Literatura Citada

Altieri, M. y. Toledo, V.M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. *The Journal of Peasant Studies* 38(3): 587–612.

Altieri, M. y Nicholls, C. 2012. Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)*, 21 p.

Bueno, M. 2004. La importancia del huerto familiar ecológico. *Discovery DSalud*. http://www.dsalud.com/casasana_numero14.htm. [consultado el 23 de febrero 2023].

Bruil, J. 2014. Hacia fincas familiares más fuertes. *Leisa revista de agroecología* 30(4).

FAO (Food and Agriculture Organisation). 2014. El Año de la Agricultura Familiar desde El Campo. En: Salcedo, S. Ed. *Boletín de Agricultura Familiar* 24-27.



Fernández, R., *et al.* 2010. Experimentación en Agricultura. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación, España, 350 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Censo de Población y Vivienda 2020 Datos sociodemográficos de San Martín de las Pirámides. Mecanografiado.

López, J.I. 2014. Monografía político-administrativa del municipio de San Martín de las Pirámides, Estado de México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco. Edo. de Méx., México.

Mera, K. 2019. La sistematización de experiencias como método de investigación para la producción del conocimiento. *Revistas UTM*. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Rehuso/article/view/1886>. [consultado el 8 de enero de 2023].

Pérez, J. 2007. Agricultura en terrazas en el cerro San Lucas, Valle de Teotihuacán, UNAM, Manuscrito. <http://www.famsi.org/reports/05028es/05028esPerezPerez01>. [consultado el 18 de febrero de 2023]

Quispe, L. A. 2015. El valor potencial de los residuos sólidos orgánicos, rurales y urbanos para la sostenibilidad de la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(1): 83-95.

Quispe, L. A. 2021. Agroecological Applications in the Home Garden: Achievements and Opportunities. *Modern Agricultural Science and Technology* 7(7-12): 13-19.

Sarandón, S.J. y Flores, C.C. 2014. La insustentabilidad del modelo agrícola actual. *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/37280>. [consultado el 19 de mayo de 2023].

Soto, G. y Muñoz, C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *En manejo Integrado de Plagas y Agroecología* 65: 123-129.



Urquía, N. 2014. La seguridad alimentaria en México, *Salud Pública de México* 56(1): 92-98.

Zapata y Rondán. 2016. *La Investigación Acción Participativa: Guía conceptual y metodológica del Instituto de Montaña*. Lima: Instituto de Montaña.



PROBLEMÁTICAS EN LA PRODUCCIÓN DE HULE (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) EN EL MUNICIPIO DE TEZONAPA, VERACRUZ: UN ANÁLISIS DE REDES SOCIALES

Juan Pablo Quevedo Rodríguez³¹³, Susana Isabel Castillo Martínez^{313*}, Carlos Humberto Dimas García³¹³ y María Edith Quezada Fadanelli³¹³

Resumen

México cuenta con las condiciones necesarias para el cultivo del Hule (*Hevea brasiliensis*), mayormente en el sureste mexicano, en la región denominada el trópico húmedo; Veracruz, un estado que se encuentra en esta región, mantiene la mayor participación en el cultivo y producción de hule a nivel nacional. El látex, materia prima que se deriva de esta especie, es la principal fuente de hule natural, con un potencial y creciente demanda a nivel internacional, destinado a distintos usos, lo que ha provocado que la expansión de las plantaciones para su aprovechamiento se incremente en el territorio, además de desempeñar un rol socioeconómico importante en las regiones productoras, sin embargo, los productores agrícolas enfrentan diversos obstáculos para incrementar la rentabilidad de la actividad productiva. Por consiguiente en el presente estudio se analizaron las problemáticas que se perciben en los productores de hule en el municipio de Tezonapa, Veracruz, a través de un recolección de datos mediante un cuestionario a una muestra de 296 productores, para abordar un análisis de redes sociales, y a partir de ello se construyó una red bipartita para conocer las interrelaciones entre las variables de problemática y solución que se estudiaron, para la interpretación del comportamiento de la estructura de la red de información de los productores. Los resultados obtenidos demuestran que los productores encuentran problemas del valor comercial del producto dentro de la cadena de valor del hule, provocando falta de integración dentro del sistema productivo, ya que las necesidades económicas son las que más repercuten; consideran que es necesario mejorar las formas en las que se comercializa el producto, trayendo consigo una mejor manera de poder producir, para una mejor comercialización, directamente su estabilidad económica los mantendría motivados y así se adaptarían a mejores técnicas en la producción para poder aprovechar de manera sustentable la producción de hule.

³¹³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. *susana_castillo@zongolica.tecnm.mx



Palabras clave: redes sociales, hule, producción

Introducción

El árbol del hule, *Hevea brasiliensis*, es la especie de mayor importancia económica del género *Hevea*, de la cual se obtiene 99% de la producción mundial de hule natural (Pérez *et al.*, 2021), se considera un producto prácticamente imposible de sustituir por los derivados del petróleo y los sintéticos en la actualidad (Vargas *et al.*, 2016). El sureste mexicano goza de condiciones naturales excelentes para el desarrollo de plantaciones de hule, situación que se favorece al conjuntar sus condiciones naturales óptimas con las económicas (Vargas *et al.*, 2019), ya que se importa casi el 90% de los requerimientos en materia prima que demanda la industria hulera nacional de países asiáticos (González *et al.*, 2019), además que se tiene la cercanía relativa con el mayor centro de consumo mundial, conformado por Estados Unidos y Canadá, lo que representa una ventaja comercial (Rojo *et al.*, 2011).

Es así, como bajo un sistema productivo agroforestal, se ha convertido como referente, implica la necesidad de implementar técnicas, esquemas productivos y el recurso humano dentro de su entorno productivo (Castro, 2011), es considerado como una gran alternativa para el desarrollo socioeconómico de los habitantes en las regiones del trópico húmedo en nuestro país donde se explota (Moctezuma, 2019), ya que las condiciones climáticas y geográficas son las óptimas para la producción de esta especie. Para el caso de México, según datos del sistema de información agrícola y pecuaria (SIAP), durante el 2019 se registró una producción total de 79,979 toneladas obtenidas de 30,335 ha en cinco estados: Chiapas, Tabasco, Oaxaca, Veracruz y Puebla. De ellos, Veracruz ocupa el primer lugar con 65% de la producción total. De manera general, la industria hulera en México es prácticamente inexistente y la existente es obsoleta y se encuentra abandonada (Vargas *et al.*, 2019).

A nivel local el estado de Veracruz, siendo el principal productor y que mayor cantidad de plantaciones de hule, de acuerdo con Vargas *et al.* (2019), ha tenido un debilitamiento en cuanto a los niveles de especialización y competitividad, requiere mejorar el manejo agronómico, la recolección y procesamiento del hule, sin embargo, sigue siendo una actividad generadora de empleos y de ingresos económicos para los productores (Izquierdo *et al.*, 2011). Veracruz aporta un 48.7% de la superficie sembrada y 50,229 toneladas concentradas en los municipios de Uxpanapa.



Las Choapas, Hidalgotitlán y Tezonapa, que en conjunto representan 66% de la producción total nacional (SIAP, 2018). En tal sentido, la presente investigación tiene como finalidad analizar la situación en la que viven los productores que se dedican a la extracción de látex; que son clave de la cadena de productividad, con ello se contextualiza una visión de referencia y de acuerdo a ello, conocer los problemas con los que interactúan y con las repercusiones que les genera en el desarrollo de su actividad a sí como en los aspectos socioeconómicos de una realidad microsociedad.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La realización del estudio se aplica en el municipio de Tezonapa, se encuentra ubicado en la zona centro del estado de Veracruz en la región llamada de las Altas Montañas. Tiene una extensión territorial de 524,104 kilómetros. La población total del municipio es 54,537 habitantes según el censo de población y vivienda del 2010. El asentamiento de un 82% de la población se encuentra en las comunidades rurales del municipio (INEGI, 2021), tiene una población que se encuentra dentro de las actividades agrícola, pecuarias, silvícolas, entre otras, todas dentro del sector primario; es uno de los 11 municipios productores de hule de la entidad de Veracruz, siendo el municipio número cuatro con la mayor producción, antecedido por los municipios de Uxpanapa, Las Choapas e Hidalgotitlán (SIAP, 2019), en el periodo de 2021-2022.

Tezonapa produce el 30% de la producción total del estado de Veracruz (SIAP, 2018), a partir de esta actividad se genera una importante cantidad de empleos para la región (Díaz *et al.*, 2013) debido a que de ella se derivan empleos como jornaleros dedicados a la pica del árbol, hasta los que participan en la fábrica industrializadora, siendo la única captadora de látex de la región. Como bien se ha mencionado el municipio de Tezonapa es uno de los principales productores de la entidad.

La producción de látex para la región representaba hasta hace unos años un negocio suficientemente rentable, no obstante, la caída del precio del hule a fines de 2013 provocó retrocesos en la adopción de innovaciones, lo que evidenció la fragilidad en la industria (González *et al.*, 2019). Los factores económicos principalmente, han sido un factor importante debido a las variaciones que ha tenido el precio del hule en el mercado tanto nacional, como internacional, esto trae como repercusión a nivel



local una recesión en las condiciones del productor donde solo trabaja para cubrir sus necesidades fundamentales (Aguilar *et al.*, 2012).

Diseño estadístico

Se manejó la estadística descriptiva, para puntualizar las características en la población que se está estudiando, siendo características fundamentales de conjuntos, utilizando criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio (Guevara *et al.*, 2020). Además, con un enfoque etnográfico, convertido en un soporte fundamental por la vía de recolección para poder profundizar en el tema de las respuestas que fueron proporcionadas, de acuerdo con la variable de estudio, como componente es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras variables vinculadas (Hernández *et al.*, 2014).

Con la finalidad de analizar las variables con las que se enfrentan los productores de hule en cuanto al conocimiento de las problemáticas que enfrentan en el sistema de producción de hule, se realizó un muestreo aleatorio simple con 95% de nivel de confianza a 296 productores, dato obtenido de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N(Z_{\alpha})^2 pq}{e^2(N - 1) + (Z_{\alpha})^2 pq}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra (296 productores).

N = Tamaño de la población (1,278 productores en la región de Tezonapa, Veracruz).

Z_{α} = Valor correspondiente a la distribución normal para un nivel de confianza del 95% (1.96).

p = Probabilidad de certeza en el proyecto (0.5).

q = Probabilidad de certeza de fallo en el proyecto (0.5).

e = Error máximo aceptado en el muestreo de la investigación (0.05).

Para la recolección de datos en campo, se diseñó un cuestionario, en el que se buscaba información sobre la perspectiva del productor sobre su producción, para ello se basó en los estudios de Díaz *et al.*, (2013) y Aguilar *et al.*, (2012); se contempló una entrevista semi-estructurada, la que se dividió en tres secciones; en la primera se recogieron datos generales del productor; como edad, género, escolaridad; en la segunda sección se le preguntó al productor sobre datos técnicos referentes a su plantación de hule, sobre cantidad de superficie plantada, edad de la plantación, cosecha de la plantación, cuidados etc; y por último, se le preguntó acerca de las problemáticas con las que se enfrenta en relación con el



cultivo, cosecha y comercialización de su plantación, y a su vez qué soluciones él podría otorgar teniendo en cuenta lo que piensa que podría ser benéfico para el sistema productivo del municipio.

Se utilizaron tres programas para la modelación y creación de los datos en redes sociales, en Atlas.Ti v9 (Muhr, 2022) se codificaron las respuestas de los encuestados, buscando obtener una palabra que funcionara como un código de interpretación para poder realizar la red, para ello la variable utilizada fue la problemática y la solución que el productor deduce que ocurre dentro del sistema productivo, para la construcción de la primera red se utilizó el programa Ucinet v6 (Borgatti *et al.*, 2002). Por último, para hacer el prediseño de la red y encontrar los primeros valores estadísticos de centralidad, grados de entrada y salida, se utilizó el programa Gephi v o.9. (Bastian *et al.*, 2009) Para poder tener un análisis de los problemas que afectan a los productores y las repercusiones que ellos tienen y si hay en un plazo a futuro mejores herramientas e innovaciones para contener estos factores y tener un mejor control.

Resultados y Discusión

Con el uso del análisis de las redes sociales se logra un énfasis acerca de la utilidad para analizar los patrones de interacción entre productores, lo que permite entender los procesos de conocimiento para comprender su entorno (Jordano y Vázquez, 2009). Al momento de estudiar los procesos de intercambio de información, a lo anterior en la siguiente visualización de la red bipartita generada en nuestro estudio, en la figura 1 se describen las relaciones directas que existen entre los actores (las problemáticas que se presentaron en la encuesta aplicada), y las acciones, mecanismos e intereses particulares (que son las soluciones que se pueden generar de acuerdo con el productor), de las relaciones que surgen.

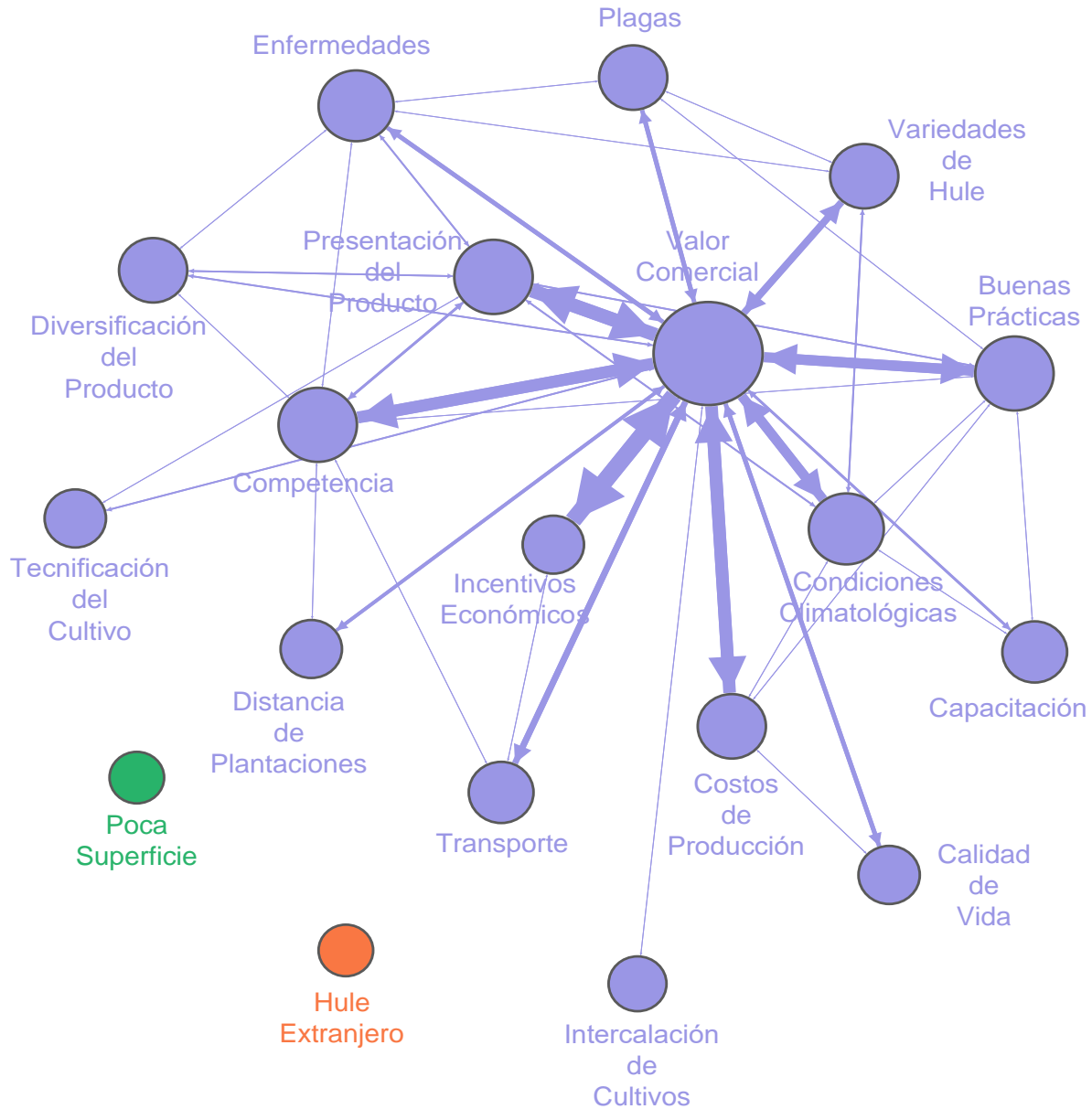


Figura 1. Red bipartita: Problemáticas y soluciones de la producción de hule en Tezonapa.

La dinámica que se encuentra conformada dentro de los análisis cuantitativos de la red social (cuadro 1), muestra los vínculos que se interrelacionan de forma compacta, dentro de los actores que se encuentran en este proceso de producción, teniendo en cuenta los patrones de interacción, como se muestra en la figura 1, de la red de información, como propiedad del sistema, de manera no intencional, entre los actores, los mecanismos e intereses generales, la acción articular que tiene una marcada relevancia en la red de conocimiento es la comercialización.



Cuadro 1. Valores descriptivos de la red bipartita.

Indicadores	Valores
Valor Promedio	1.489
Desviación Estándar	1.706
Peso Promedio	1.489
Grado Promedio	4.211
h-Index	6
Centralización	0.732
Densidad	0.234
Componentes	3
Relaciones de Componentes	0.111
Conexión	0.795
Fragmentación	0.205
Cierre	0.401
Distancia Promedio	1.706
Distancia	0.456
Diámetro	2
Amplitud	0.485
Compacidad	0.515

La red queda conformada a partir de 19 nodos y 42 enlaces dirigidos, simbolizando una estrella, debido al bajo valor obtenido en la centralidad y en la densidad, como se aprecia en el cuadro 1, de esta manera el nodo de valor comercial es el que mayor integración tiene dentro del diámetro de la red, con un grado entrada y salida de 128, demostrado en el cuadro 2. De esta percepción, el productor considera que el valor comercial forma parte del eslabón dentro de la red que propicia el fallo dentro del sistema de producción. Por consiguiente, este nodo está redirigido a otros (presentación del producto, competencia, buenas prácticas, y condiciones climatológicas), que comparten un nivel de centralidad dentro de la red (cuadro 3), lo que valora que están en una relación constante, en consecuencia, se argumenta que para detonar la comercialización se deben promover estrategias de resiliencia para incrementar los niveles de eficiencia dentro de la red social.



Cuadro 2. Grados de los nodos de la red bipartita.

Etiqueta	Grado	Grado de Entrada	Grado de Salida	Grado con Pesos	Grado con Pesos de Entrada	Grado con pesos de salida
Buenas Practicas	14	7	7	38	19	19
INCalidad de Vida	4	2	2	12	6	6
Capacitación	6	3	3	10	5	5
Competencia	14	7	7	44	22	22
Condiciones Climatológicas	12	6	6	36	18	18
Costos de Producción	8	4	4	34	17	17
Distancia de Plantaciones	4	2	2	10	5	5
Diversificación del Producto	8	4	4	12	6	6
Enfermedades	12	6	6	22	11	11
Hule Extranjero	0	0	0	0	0	0
Incentivos Económicos	4	2	2	40	20	20
Intercalación de Cultivos	2	1	1	2	1	1
Plagas	8	4	4	16	8	8
Poca Superficie	0	0	0	0	0	0
Presentación del Producto	14	7	7	56	28	28
Tecnificación del Cultivo	4	2	2	6	3	3
Transporte	6	3	3	18	9	9
Valor Comercial	32	16	16	256	128	128
Variedades de Hule	8	4	4	24	12	12

Todas las demás problemáticas conllevan una gran relación entre sí, la cantidad de centralidad (cuadro 3) o peso que tiene en la red (cuadro 2), como, están directamente proporcionadas a la percepción de valor que han reflejado los productores en sus comentarios, sin embargo, cada una de ellas mantiene una función diferente en cuanto a su pertenencia dentro de la estructura de la red, todo esto basado a las condiciones del contexto que hay en el municipio, en cómo es llevado el sistema de productivo y la cadena de valor en la producción de hule.



Cuadro 3. Valor de centralidad de los nodos.

Etiquetas	Centralidad de cercanía	Centralidad Valorada	Centralidad Intermedia
Buenas Practicas	0.64	0.71875	8.666667
Calidad de Vida	0.533333	0.5625	0
capacitación	0.551724	0.59375	0
Competencia	0.64	0.71875	10.166667
Condiciones climatológicas	0.615385	0.6875	5.333333
Costos de producción	0.571429	0.625	2
Distancia de Plantaciones	0.533333	0.5625	0
diversificación del Producto	0.571429	0.625	0
Enfermedades	0.615385	0.6875	5
Hule Extranjero	0	0	0
Incentivos económicos	0.533333	0.5625	0
intercalación de Cultivos	0.516129	0.53125	0
Plagas	0.571429	0.625	1.166667
Poca Superficie	0	0	0
presentación del Producto	0.64	0.71875	8.5
tecnificación del Cultivo	0.533333	0.5625	0
Transporte	0.551724	0.59375	1
Valor Comercial	1	1	148.833333
Variedades de Hule	0.571429	0.625	1.333333

La producción de hule que se concentra en el municipio, donde las condiciones ambientales son ideales para el cultivo, lo que le confiere a una posición adecuada respecto con las demás regiones productoras, sin embargo, hay muchas oportunidades de mejora dentro del sistema productivo. Como lo menciona Vargas-Canales *et al.* (2019) en sus estudio de especialización y competitividad del hule natural, la transformación de la estructura productiva se relaciona con las condiciones naturales de las regiones, la demanda insatisfecha del mercado y el desarrollo tecnológico, por lo que el resultado presentado en la imagen 1, la dinámica que se encuentra de acuerdo con los problemas que se presentan en el sistema



productivo del hule, hay una tendencia marcada para la comercialización del producto por parte de los productores de hule, que complica la función de cada una de las partes dentro del sistema productivo. Se esperaría que el sistema de producción de hule se circule de forma teórica para poder tener un mejor manejo de la actividad, así de esa manera la cadena de valor obtenga lo que se requiere para poder cumplir con las necesidades económicas, principalmente de los productores. Contrastando con Díaz-José *et al.* (2013), el estudio de las redes complejas de interacción proporciona herramientas analíticas y conceptuales para afrontar la complejidad de interacciones que se pueden observar dentro del sistema productivo de hule, por tal motivo orientar a los productores a seguir políticas agrícolas en la toma de decisiones en lo técnico-económico de sus cultivos y así promover estrategias de utilidad para especializar la cadena productiva, ya que la principal oportunidad de comercialización del látex, es en función de la demanda interna que el país requiere.

Conclusiones

Mediante este mecanismo de interacción se logra que todos los productores formen parte de un mismo sistema circulado a deliberar e interactuar. La comercialización es la problemática que más los preocupa, debido a que contribuye directamente al ingreso que se percibe por esta actividad, consiguiendo privar de seguir obteniendo dinero para poder seguir operando su plantación de forma sostenible, en un futuro próximo. Lo anterior es posible si se promueve estrategias de especialización inteligente para facilitar y orientar a los responsables de las políticas agrícolas en la toma de decisiones

Agradecimientos

Agradecimientos a los productores de cada una de las comunidades donde se realizaron los cuestionarios por la información brindada en el tema de estudio.



Literatura Citada

- Aguilar, J., Galmiche, A. y Domínguez, M. 2012. El contexto de vulnerabilidad de familias productoras de hule (heveacultoras): estudios de caso en el municipio de Huimanguillo, Tabasco. *Estudios sociales*. 20(39): 209-233.
- Muhr., T. 2022. ATLAS.ti Scientific Software Development GmbH (ATLAS.ti 22 Windows). USA.
- Bastian M., Heymann S. and Jacomy M. 2009. Gephi: an open-source software for exploring and manipulating networks. *International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., and Freeman, L. C. 2002. *Ucinet 6 for Windows: software for social network analysis*. Harvard, EE. UU.: Analytic Technologies.
- Castro, O. 2011. Caracterización de los pato sistemas foliares de importancia económica en caucho (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg) en la Altillanura estructural plana del Meta. Tesis de maestría. Universidad nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 56 p.
- Díaz, J., Rendon, R., Aguilar, J. y Muñoz, M. 2013. Análisis dinámico de redes en la difusión de innovaciones agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(7):1095-1102.
- González, M., Santoyo, V., Aguilar, J. y Aguilar, N. 2019. Desarrollo de proveedores de hule en la cuenca del del rio Papaloapan, México; avances y limitaciones. *Ciencia y tecnología agropecuaria*. 20(2). 256-276.
- Guevara, G., Verdesoto, A., y Castro, N. 2020. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO* 4(3), 163-173.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. 2014. *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL / Interamericana Editores. Ciudad de México, México. 634 p.



INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Censo de población y vivienda 2020. (consultado el 21 de agosto de 2021).

Izquierdo, H., Domínguez, M., Martínez, P., *et al.* 2011. Problemática en los procesos de producción de las plantaciones de hule *Hevea brasiliensis* Muell arg. en Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2011): 513 – 524

Jordano, P. y Vázquez, D. 2009. Redes complejas de interacciones planta-animal. CYTED.

Moctezuma, G. 2019. Evaluación financiera y de potencial productivo del paquete tecnológico para el establecimiento de *hevea brasiliensis* (willd. ex a. juss) müll. arg. en tabasco. *Revista de Agronegocios* 1(44):128- 137.

Pérez, I. M., Ayala, V., Ortiz, E., *et al.* 2021. *Schizophyllum commune* Fr. asociado a *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. en México. *Revista mexicana de ciencias forestales* 12(68): 181-198.

Rojo, G, E., Martínez, R. y Jasso, J. 2011. El cultivo del hule en México. Universidad Autónoma Indígena de México, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México. México. 334 p

SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2019. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de producción Agrícola 2018. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 25 de julio de 2021].

SIAP. (servicio de informacionm agropecuaria y pesquera). 2018. Anuario de produccion agrícola. <https://www.gob.mx/siap/articulos/hule-hevea-productor-de-latex?idiom=es>. [consultado el 7 de febrero de 2018].

Vargas, J. M, Camacho, J. H., Pineda, J., *et al.* 2019. Especialización y competitividad de la producción de hule en México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 25(3): 425-439.



Vargas, J. M., Palacios, M. I., Acevedo, A. I., and Leos, J. A. 2016. Profitability analysis for natural rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) production in Oaxaca, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22(1):45–58.



CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMIDOR FINAL DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS LOCALES EN LA ZONA CONURBADA VERACRUZ-BOCA DEL RÍO

Gabriela Macip Hernández³¹⁴, Carmen Aridai Hernández Estrada^{315*} y Patricia Devezé Murillo³¹⁴

Resumen

En los últimos años los paradigmas en torno a la seguridad alimentaria y los sistemas alimentarios muestran cambios importantes, se ha tratado de rescatar el papel social y ambiental que la agricultura tiene, revalorizando la preconcepción de ser sólo una actividad por la encuesta a 100 personas proveedoras de alimentos, y considerarse un elemento fundamental en el desarrollo local y regional. Adicionalmente, se da importancia a las relaciones entre los actores del sistema alimentario, haciendo énfasis en la existente entre productor y consumidor; además el estado de Veracruz es reconocido por su importancia en el sector agropecuario y pesquero; por ello el objetivo fue caracterizar al consumidor final de productos agropecuarios locales en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río a través de describir el perfil socioeconómico del consumidor final de productos agropecuarios locales; así como identificar los productos agropecuarios de mayor demanda mencionados.

La metodología para este trabajo retoma el muestreo probabilístico con la aplicación de 100 encuestas se realizó un trabajo descriptivo a partir de la información obtenida de la encuesta realizada en el periodo del 1 al 10 de junio del 2023. Los resultados obtenidos para cuatro colonias o sitios de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río donde la población encuestada tiene un grado de estudio universitario, con ingresos de más de 15 mil pesos al mes; manifiestan su gusto por los productos agropecuarios locales reconociendo su frescura; además de la cercanía de los lugares donde los adquieren, prefieren los productos procesados artesanalmente por su sabor casero aunque tengan un precio más elevado a los productos procesados que encuentran en el super mercado, se destacan las

³¹⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana.

³¹⁵ Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agricultura y la Agroindustria Mundial. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo. *carmenaridaihernandez@gmail.com



opiniones a favor del poco o nulo uso de agroquímicos y conservadores en el caso de las frutas y verduras tanto como en los productos procesados artesanalmente.

Palabras claves: demanda, consumidores, nicho de mercado, productos locales, artesanales

Introducción

El estado de Veracruz es reconocido por su importancia en el sector agropecuario y pesquero, (SIAP, 2021) enlistan los productos del sector primario producidos en el estado de Veracruz, de los cuales los más importantes por categoría son, frutas (caña de azúcar, naranja, limón, piña, toronja, papaya, plátano, mango, mandarina y sandía), hortalizas (jitomate, chile, tomate verde, pepino, zanahoria, calabacita, brócoli, lechuga, nopalitos), aves (pollo), carne de bovino, carne de porcino, huevo para plato y carne de ovino, pescados (mojarra, tiburón y cazón, mero, lebrancha, huachinango y jurel) y mariscos (ostión, jaiba y camarón) (CONAPESCA, 2021).

Respecto a la comercialización de muchos de los productos que se producen en el estado, los canales que siguen los productos de acuerdo a cifras oficiales se clasifican en: venta al intermediario con un porcentaje significativo de 51.5%, directo al consumidor 25.5%, empaedora o industria procesadora 11.0%, bajo contrato 3.1%, bodega o almacén 6.3, central de abasto 2.3%, centro comercial o supermercado 0.3%, exportación 0.1% y otro tipo de comprador 2.4%, con un total de 100 productores en un porcentaje de 14.5% en mujeres y 85.5 en hombres dedicados al campo (SIAP, 2021).

El objetivo fue caracterizar al consumidor final de productos agropecuarios locales en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río a través de describir el perfil socioeconómico del consumidor final de productos agropecuarios locales; así como identificar los productos agropecuarios de mayor demanda mencionados.

El municipio de Veracruz y Boca del Río, tienen un total de 104 colonias, sin embargo la concentración de la población entre la zona estudiantil, la zona turística es importante en la conurbación, en el municipio de Veracruz la población total es de 457, 377 habitantes y su población económicamente activa de 183,246; en Boca del Río hay una población de 135,804 habitantes, de los que la población económicamente activa es de 54,412; al ser el primero y el décimo municipio más poblado del estado, estas ciudades también reciben a habitantes de la zona rural y los municipios de la franja central de



Veracruz que acuden por fines de estudio y trabajo, por lo que reconocen los productos regionales, la representatividad de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río son un foco de atención con fines de servicios de consumo y búsqueda de opciones de vincular a los productores con consumidores.

El planteamiento de este trabajo y sus objetivos objetivo se alinean con la política pública actual del programa Sembrando Vida que busca promover la vinculación del productor con el consumidor (DOF, 2021); a nivel mundial el farm to table o farm to fork (OECD, 2021), en relación con la academia la oportunidad de agronegocio que representa la generación de información identificando los productos mayormente demandados así como la apreciación de los consumidores respecto a los productos locales, la situación actual de los consumidores en estas ciudades para hallar el potencial de mercado, favoreciendo el consumo local e integración de canales cortos, convirtiéndose en una comercialización cooperativa para generar desarrollo económico regional (Vilorio, Hernández y Mora, 2019).

En este modelo de comercialización, los consumidores aumentan su conciencia y responsabilidad en las elecciones de consumo con respecto a la estacionalidad, las tradiciones y los ciclos orgánicos naturales (Workgroup, 2003), los consumidores cobran importancia para identificación de los requisitos de los de la demanda, la previsión, la programación de la siembra y la cosecha (Anggraeni, Handayati, y Novani, 2022). El año 2020 será recordado por la pandemia mundial de COVID-19, cuyo impacto probablemente se sentirá durante mucho más tiempo (Luttikholt, 2020). La crisis reveló la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios globales y que se necesita la transición hacia sistemas alimentarios sostenibles y resilientes; en tiempos de COVID, casi parecía que los alimentos se consideraban medicinas. Se entiende por canal corto de comercialización alimentaria a las formas como el productor del alimento, el agricultor o ganadero, lo vende directamente al consumidor final. Los canales cortos más importante son: la venta callejera ambulante, la venta en mercadillos estables, la venta en los domicilios, y las ventas en la explotación agraria. Estas fórmulas tienen en común que se produce una relación directa entre el productor y el consumidor y, debido a esta relación, ninguno de ellos se ve afectado por los intereses y decisiones de los intermediarios (Crisis agropecuaria, globalización y alternativas campesinas, 2001).

El conocimiento del consumidor actual de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río pretende ser el inicio de un diagnóstico, pues las diferentes colonias representadas en estas dos ciudades permitirían identificar los segmentos de mercado en los cuales los productores pueden incursionar, así como la promoción de la difusión entre los pobladores y residentes de estas ciudades como aquella población que migro de la zona rurales. Referido a la imagen en general de un cliente que incluye las



características que pueden decirle casi todo acerca de cómo la edad, el género, lugar de residencia, etc.; en algunos lugares también se puede considerar como un método de marketing que recopila y analiza los datos de los clientes para hacerse de una imagen detallada del cliente. El perfil es una variedad o conjuntos de aspecto particulares, o un costado, que se presentan en una cosa, persona o conjunto determinado, describiendo o delimitando y la caracterización es una herramienta que facilita la descripción, gestión y control de los procesos a través de la identificación de sus elementos esenciales.

Materiales y Métodos

El área de estudio se realizó en los municipios de Veracruz-Boca del Río, se localiza en la zona centro costera del Estado, en las coordenadas 19° 07' latitud norte y 96° 06' longitud oeste, a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte y noroeste con Veracruz, al este con el Golfo de México, al sureste con Alvarado, al sur con Medellín.

La siguiente tesina es un trabajo descriptivo ya que para obtener los resultados se recolectó información de los municipios de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, caracterizando al consumidor de productos agropecuarios locales y las preferencias de consumo. En la presente tesina se realizó un trabajo descriptivo a partir de la información obtenida de la encuesta realizada en el periodo del 1 al 10 de junio del 2023 para identificar los perfiles socioeconómicos y las preferencias del consumo. Al mismo tiempo se convierte en una investigación exploratoria al realizar una encuesta a los consumidores de productos locales.

Para la investigación fue necesario recabar información de páginas de internet como el SIAP, CONAPESCA, así como trabajos relacionados con la identificación de consumidores finales y trabajos en relación a los productos agropecuarios locales y la demanda en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Para investigar más a fondo fue necesario apoyarse en fuentes secundarias como la revisión de literatura, esto quiere decir que la información que ya estaba redactada acerca del tema con la finalidad de poderla integrar, se consultó material bibliográfico y estadístico como:

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI la cual se utilizó para conocer el índice poblacional de habitantes en el Estado de Veracruz.
- Sitios de internet no oficiales en los cuales se recabó información sobre el tema de productos de cercanía y el km 0.



Se investigó si existía algún mercado que vendiera específicamente productos locales.

Se aplicó un cuestionario prediseñado del cual se habían realizado una prueba piloto y se adecuó a la estructura que permitiera responder los objetivos planteados, por lo que se dividió en perfil socioeconómico, consumo de frutas, verduras y consumo y reconocimiento de productos locales elaborados artesanalmente, las preguntas se capturaron en Google Forms y fueron aplicadas a 100 personas.

Resultados y Discusión

Los encuestados representaron el 61% al municipio de Veracruz y el 30% a Boca del Río, el 9% restante se consideran de Xalapa, pero visitan la zona conurbada Veracruz Boca del Río frecuentemente. El código postal más encuestado fue el 91700 de la colonia Ricardo Flores Magón, seguido del 94274 de las colindancias con el municipio de Medellín de Bravo, el 91900 de Veracruz centro, 91780 del Coyol y 94294, Boca del Río Centro.

Del perfil socioeconómico los encuestados respondieron lo siguiente los rangos de edad se muestran la figura 1.

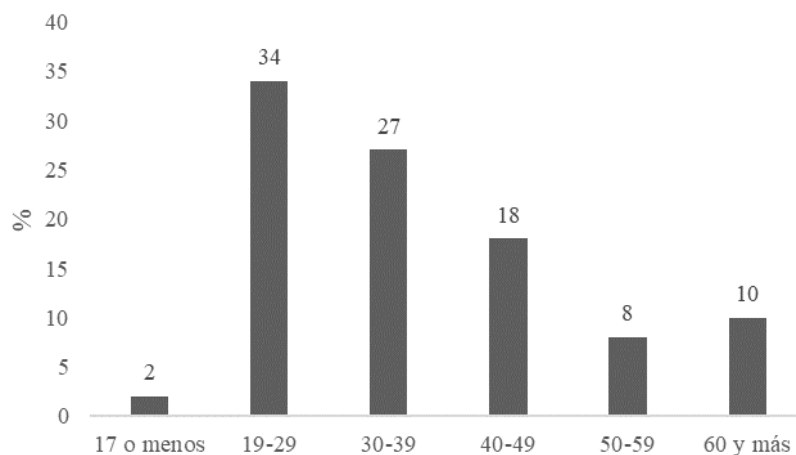


Figura 1. Grupos de edades de los encuestados.

Más del 50% de los encuestados tiene entre 19 y 39 años, se consideran por INEGI, (2022) población económicamente activa. La distribución de la población según sus ingresos se muestra en la figura 2, el



58% de los encuestados son personas insertadas en alguna actividad económica, el porcentaje de estudiantes alto, puede deberse a que Veracruz es también una ciudad importante para recibir educación superior y por lo tanto representa una población considerable en las encuestas. Los ingresos de la población ubican a más del 66% con ingresos menores a 12 mil pesos y un 44% mayor a éste.

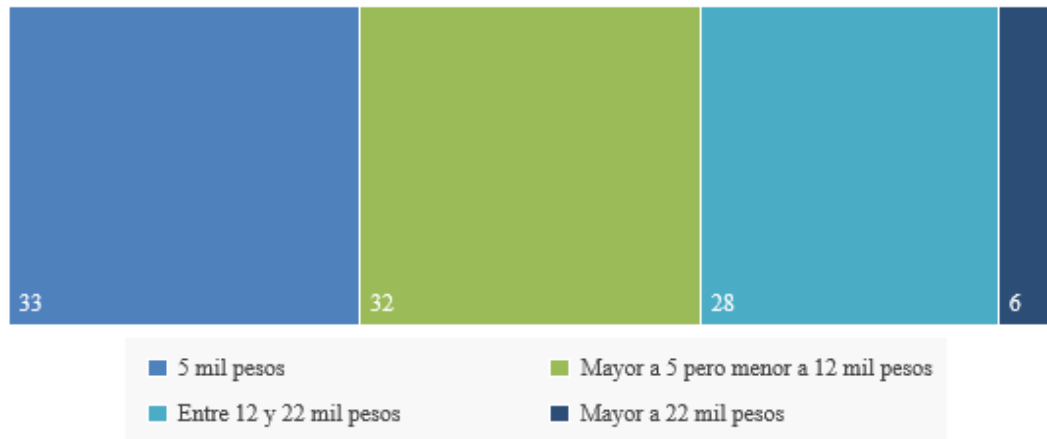


Figura 2. Ingresos de los encuestados.

En la mayoría el nivel escolar de los encuestados es la universidad con un 62%, seguida de la preparatoria con un 21% y el posgrado del 8%. El 67% de los encuestados eran mujeres y el 33% hombres. Respecto al consumo de frutas y verduras; para el consumidor las personas si consideran importante el origen de las frutas y verduras que consumen diariamente en sus comidas, para un 52%, además mencionaban que prefieren que no contengan agroquímicos; el 76% de los encuestados realiza un gasto entre \$100.00 y \$300.00 pesos en frutas y verduras semanalmente.

Las frutas y verduras que las personas reconocen se producen en Veracruz y son de su preferencia de consumo son Piña, Mando, Plátano, Limón y Naranja. Pero las frutas que más consume son plátano, papaya, manzana, piña y melón. En el caso de las verduras y hortalizas las de mayor consumo mencionadas por este grupo de encuestados son: lechuga, zanahoria, espinaca, cebolla y papa en orden % más mencionado, los encuestados afirmaron conocer que en Veracruz se produce: pepino, zanahoria, chayote, chile y jitomate.

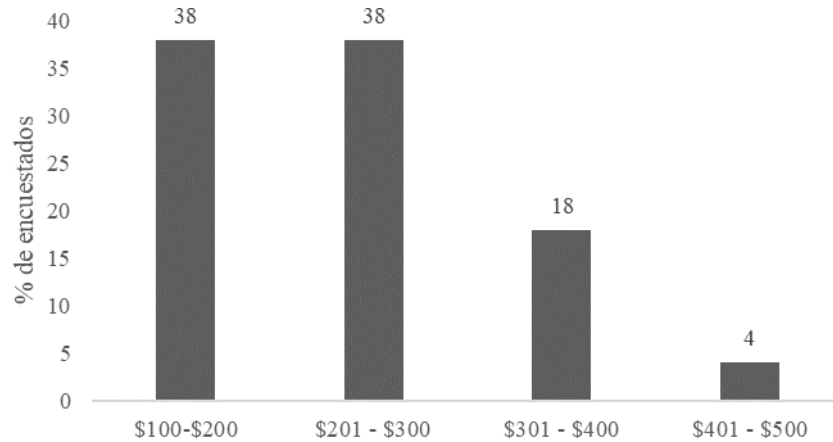


Figura 3. Rango de gasto en frutas y verduras semanalmente.

El 69% de los encuestados compra sus frutas y verduras en un sitio que no es un supermercado, los encuestados comentaron que en los mercados mayoristas tienen buenos precios, al igual que en la tienda de la esquina y que prefieren ésta y el super mercado por cercanía a sus hogares (Figura, 4).



Figura 4. Lugares de compra de frutas y verduras.

De los productos agrícolas locales, las personas consideran que consumen productos agropecuarios locales aún relacionándolo con el sitio de compra en tiendas de la esquina donde venden fruta y verdura que produce el dueño, o por qué tienen un familiar, vecino o conocido que tiene un huerto de traspatio y lo regala o comercializa; también afirmaron que los productos veracruzanos les gustan por cercanía y precio. Ellos mencionaron adquirir productos de la región en el mercado mayorista, en la tienda de la esquina, en el supermercado y en la verdulería.



De los productos veracruzanos procesados artesanalmente la distribución y preferencias de consumo de los encuestados se muestran en la figura 5.

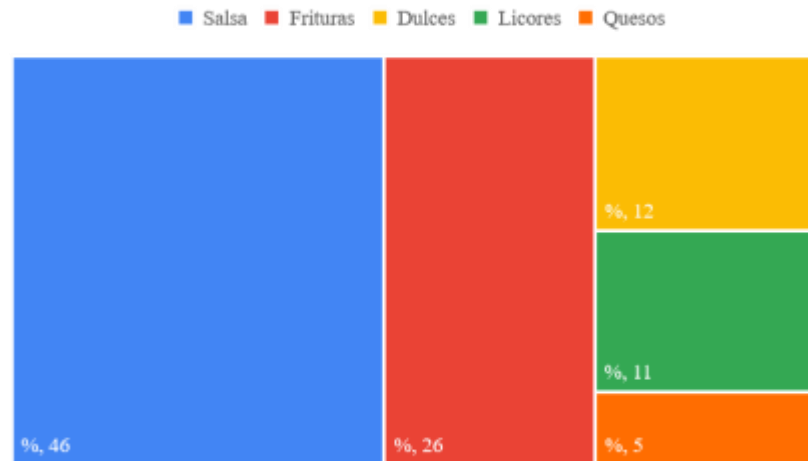


Figura 5. Consumo y preferencia de productos procesados artesanalmente.

Los circuitos cortos de comercialización, son valiosos por su contribución al cuidado ambiental, la construcción de tejido social y la oferta de alimentos locales. Aunque los resultados muestran el reconocimiento de una parte de la población por los productos locales, la zona conurbada Veracruz-Boca del Río aun requiere mayor estudio para poder establecer redes como lo es la experiencia de la Red Nacional de Agricultura Familiar-RENAF mediante su campaña “Llevo el campo colombiano”, que integra 73 mercados campesinos, étnicos y agroecológicos en varios departamentos del país (Acevedo, 2020). El estudio realizado en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río no toco aspectos relacionados con la sostenibilidad y sustentabilidad de la relación entre el productor y consumidor puesto que es una investigación situada más en la línea base y tipificación de la población; así como el interés de la población por los productos locales. En la búsqueda de la vinculación del productor y el consumidor, es de especial importancia que, desde el sector de la agricultura, los gobiernos y la sociedad civil promuevan los sistemas alimentarios inclusivos, es decir esta investigación no realizó una segmentación previa, sino pretendió realizar una muestra de la población para continuar los estudios al igual que Vargas & Valencia (2015), identificaron el perfil de mujeres consumidoras de productos verdes de entre 20 a 40 años, concluyendo que existe una relación entre el nivel educativo de pregrado y posgrado, salarios altos, así como el no tener hijos, quienes muestran una mayor afinidad



por la compra de productos verdes; en este estudio el mayor % de entrevistadas fueron mujeres, representando al grupo que ha sobresalido en iniciativas de consumo en relación directa con el productor. Así mismo la integración de personas con diferentes ingresos a la compra y consumo de productos locales podemos observar que si esta presente en los resultados esto da pauta a apoyar la producción regional promoviendo la organización teniendo un mercado identificado se pueden integrar empresas agrícolas en cadenas de valor alimentaria; como un financiamiento de los agronegocios puede aumentar el valor añadido de las materias primas, impulsando así las economías rurales locales, la seguridad alimentaria y la nutrición, mejorando la calidad de vida de muchos hogares en riesgo de exclusión y vulnerabilidad (Flores, 2022).

Conclusiones

De acuerdo con las encuestas realizadas se concluyó que la población de Veracruz- Boca del Río en su mayoría tienen un grado de estudio universitario, lo cual les permite tener ingresos de más de 15 mil pesos al mes y cuentan con actividad económica activa. Denotan su gusto por los productos agropecuarios locales gracias a su frescura y cercanía de los lugares donde los comercializan a sus hogares, en el caso de los productos procesados artesanalmente los prefieren gracias a su sabor casero, aunque se sacrifique un poco el lado económico ya que normalmente consideran que tienen un precio más elevado a los productos procesados que encuentran en el super mercado, también mencionan el gusto por la falta de agroquímicos y conservadores en el caso de las frutas y verduras tanto como en los productos procesados artesanalmente. Este estudio debe ampliarse a un mayor número de colonias de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río; así como integrar preguntas relacionadas con la vinculación con productores y compromiso del consumidor por la compra de manera sistemática y planeada con productores locales.



Literatura Citada

- Acevedo 2020. Sustentabilidad de los mercados en circuitos cortos de comercialización y su contribución a los sistemas alimentarios. https://www.researchgate.net/publication/353225180_Sustentabilidad_de_los_mercados_en_circuitos_cortos_de_comercializacion_y_su_contribucion_a_los_sistemas_alimentarios [consultado el 3 de junio del 2023].
- Allende 2005 <https://ojs.ehu.eus/index.php/hegoa/article/view/10583> [consultado el 15 de junio del 2023].
- Amigos de la tierra. 2002. <https://www.tierra.org/somos-una-asociacion/> [consultado el 1 de junio del 2023].
- Anggraeni, E. W., Handayati, Y., and Novani, S. 2022. Improving Local Food Systems through the Coordination of Agriculture Supply Chain Actors. *Sustainability (Switzerland)*, 14.
- Benjamin D. 2016 *The Essential Guide to Sustainable Food Systems for Students, Professionals, and Consumers*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=FroADQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=farm+to+table+movement&ots=GIvYvFEcN&sig=iAiGvS4Ha8Yg40J5VSYZs65EcrA#v=onepage&q=farm%20to%20table%20movement&f=false> [consultado el 25 de mayo del 2023].
- Catedra de la Agricultura Campesina y de la Alimentación 2020. <https://www.catedracampesinayalimentacion.uchile.cl/como-construir-cadenas-cortas-de-comercializacion-conversatorio-abordo-experiencias-y-reflexiones/> [consultado el 3 de junio del 2023].
- CONAPESCA 2022 Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. <https://www.gob.mx/conapesca> [consultado el 20 de mayo del 2023].



Crisis Agropecuaria, Globalización y Alternativas Campesinas 2001. <http://media.utp.edu.co/centro-gestion-ambiental/archivos/documentos-relacionados-con-agroecologia-seguridad-y-soberania-alimentaria/ccc-alternativa-de-los-pequenos-agricultores-frente-a-la-globalizacionpdf.PDF>.

[consultado el 2 de junio del 2023].

DOF. (2021). Reglas de operación Programa Sembrando Vida. Retrieved March 21, 2022, from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639899&fecha=31/12/2021. [consultado el 3 de junio de 2022].

Flores A.P. (2022) Identificación de zonas productoras de frutas y hortalizas en la zona centro del estado de Veracruz. Licenciatura en Agronegocios Internacionales. Facultad de Veterinaria de la Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 65 p.

OECD. (2021). Making Better Policies for Food Systems. In Making Better Policies for Food Systems. Paris. <https://doi.org/10.1787/ddfba4de-en> Organic World Congress (2021) World Organic of Organic Agriculture. <https://owc.ifoam.bio/2021/> [consultado el 1 de junio del 2023].

Vilorio, B. M., Hernández, C. A., and Mora, Á. H. 2019. Productos agropecuarios: una oportunidad de agronegocio en hoteles de la zona turística Veracruz-Boca del Río (pp. 1394–1410). In: Avances en Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal, Acuícola, Pesquería, Desarrollo Rural, Transferencia de tecnología, Biotecnología, Ambiente, Recursos naturales y Cambio climático.

Workgroup, P. académicos. 2003. Cómo plantear preguntas de investigación. Escuela de Ciencias Humanas, Guías de C (50), 2.



DESARROLLO RURAL COMUNITARIO CON PERSPECTIVA DE GÉNERO: HISTORIAS DE VIDA DE MUJERES CAFETICULTORAS

Andrea Guadalupe Estrella García^{316*}, María del Carmen Álvarez Ávila³¹⁶, Esteban Escamilla Prado³¹⁷
y Alberto Asiain Hoyo³¹⁶

Resumen

En el desarrollo rural comunitario, el café (*Coffea arabica*) ha jugado un papel destacado debido a que es un generador de divisas y empleos. México es el sexto país productor y el estado de Veracruz ocupa el segundo lugar a nivel nacional. Los agroecosistemas cafetaleros son de suma importancia, por su aportación ambiental, cohesión social y derrama económica. Así también las mujeres rurales han contribuido en la producción y transformación de alimentos, ocupando diferentes roles tanto como productoras, trabajadoras, empresarias, o madres de familia. Sin embargo, su labor ha sido históricamente invisibilizada, principalmente, por la poca información y difusión sobre la dimensión de su trabajo en las unidades familiares. En la práctica, las mujeres buscan una producción sostenible y son indispensables en los sistemas agroalimentarios de carácter rural. Por lo antes expuesto se plantea como objetivo del presente trabajo, visibilizar el rol de mujeres cafeticultoras en el desarrollo rural comunitario. Se presenta una investigación cualitativa a partir de historias de vida, las cuales se realizaron con mujeres originarias de Ixhuatlán del Café y Chocamán, Veracruz, quienes se seleccionaron a través de informantes clave. Como resultados se identificaron que en ambos casos la decisión de dedicarse a la cafecultura surge a falta de la figura masculina en su hogar de niñas y de su percepción que el café les proporcionaría una mejor calidad de vida. En este recorrido se encontraron con diferentes obstáculos, entre los que resaltan: el desconocimiento de las labores de producción para el cultivo; el engaño o fraude sobre su cosecha; las enfermedades y plagas del cultivo. Se concluye que son mujeres pioneras, que aprendieron una actividad considerada para hombres y a pesar de la fluctuación del precio y otros inconvenientes, fueron resilientes y continuaron con la cafecultura por décadas. A través de la mirada de las productoras, la cafecultura aporta al desarrollo rural ingresos, vinculación con otros productores e instituciones, producción de otros alimentos y servicios

³¹⁶ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. *estrellag@colpos.mx

³¹⁷ Centro Regional Huatusco, Universidad de Chapingo.



ambientales. Por lo que las productoras lo consideran un modo de vida, al que le tienen un profundo afecto y agradecimiento.

Palabras clave: agroecosistemas, pioneras, saberes

Introducción

La importancia del café (*Coffea arabica*) a nivel mundial radica en que es un producto con gran demanda, diferentes culturas a través de los siglos han disfrutado del aromático. Es la segunda bebida más consumida en el mundo después del agua (3,000 millones de tazas de café por día), además se considera un commodity, un generador de divisas y empleos en el medio rural (SADER, 2018). México, es el sexto país productor, se emplean a más de 500 mil productores de 15 entidades federativas y 480 municipios; Chiapas es el principal estado productor, aporta 41.0% del volumen nacional, seguido por Veracruz (24.0%) y Puebla (15.3%). México también es uno de los principales países productores de café orgánico (SADER, 2018).

La región Huatusco-Córdoba es reconocida por su cafecultura, su inicio se remonta al siglo XIX, cuando Ward (un encargado de negocios del Imperio británico), identificó que existían las condiciones climáticas adecuadas y estableció el cultivo entre 1825 y 1828, la finalidad fue abastecer a toda Europa. La producción de café continuó su crecimiento en la región a través de haciendas, ranchos y pequeñas propiedades durante varias décadas. El auge del cultivo se logró en el periodo del gobierno Porfirista, con inversión extranjera y el surgimiento de importantes asentamientos de italianos, quienes se involucraron con el desarrollo de la región. La cafecultura junto a la siembra de caña (*Saccharum officinarum*) (y tabaco (*Nicotiana tabacum*) hicieron necesaria la instalación de vías férreas entre 1857 y 1890, lo que favoreció la producción de ganado (*Bos taurus*), maíz (*Zea Mays*), papa (*Solanum tuberosum*), también

Actualmente en Veracruz, la producción de café es una actividad estratégica, con 139 mil hectáreas y 42 mil productores; en la zona centro del estado, algunos de los municipios reconocidos por su producción y tradición cafetalera son Atzalan, Misantla, Coatepec, Huatusco, Chocamán, Ixhuatlán del Café, Córdoba, Tezonapa y Zongolica (Sánchez *et al.*, 2019; Diaz, 2020; Gasperín *et al.*, 2022). Por lo anterior, los agroecosistemas cafetaleros en la región de las altas montañas de Veracruz, son



importantes por su aportación ambiental, cohesión social y derrama económica. Sin embargo, es necesario promover la equidad en el manejo y aprovechamiento de los recursos, a través de la inclusión de las mujeres, según sus necesidades e intereses relacionados a dicha actividad productiva, para continuar impulsando el desarrollo rural.

Debido a que, en el desarrollo rural, las mujeres han realizado una función importante en la producción y transformación de alimentos, ocupando diferentes roles tanto como productoras, trabajadoras, empresarias, o madres de familia y que, en la práctica, las mujeres son quienes buscan una producción sostenible para la nutrición y salud de la familia, se han vuelto indispensables. A pesar de lo anterior, su labor ha sido históricamente invisibilizada, principalmente por la poca información y difusión sobre la dimensión de su trabajo en las unidades familiares (Biermayr, 2016).

La igualdad de género es un objetivo de la Agenda 2030 que busca promover acciones estratégicas para su avance y empoderamiento en diversos contextos. De acuerdo con la ONU (2021), el 60% de las personas en pobreza absoluta son mujeres, las mujeres rurales representan un tercio de la población mundial, son el 43% de la mano de obra agrícola y solo el 13% poseen tierras agrícolas. Es importante resaltar que debido a que las mujeres realizan aportes significativos en el desarrollo agrícola y rural y en la gestión de recursos naturales, se considera su empoderamiento económico, como una estrategia para conseguir la igualdad de género y alcanzar las metas en materia de seguridad alimentaria y reducción de la pobreza (FAO, 2017). Otra estrategia es el empoderamiento social, que representa el logro de mayor autonomía de las mujeres, a través de la organización y colectividad. Ellas son piezas clave para el desarrollo rural, sin embargo, es necesario su acceso a oportunidades y a recursos, así como su participación en la toma de decisiones y en consecuencia contar con liderazgo y posicionamiento (Massolo, 2006). En el sector cafeticultor, las mujeres han sido ubicadas para la cosecha y actualmente se habla de una feminización de la cafecultura, por su integración ante la migración de los hombres (Nava y Hernández, 2017). En México, el porcentaje de unidades económicas productoras de café dirigidas por mujeres fluctúa entre el 20 y el 30% (OIC, 2020). La fuerza de trabajo de las mujeres en la producción de café es del 21.7% (INEGI, 2018) y son propietarias del 24% de la superficie de producción de café (IWCA, 2020). Por lo que el presente trabajo tiene como objetivo, visibilizar el rol de mujeres cafecultoras en el desarrollo rural comunitario.



Materiales y Métodos

La investigación cualitativa a través de historias de vida las cuales se realizaron con mujeres originarias de Ixhuatlán del Café y Chocamán, ambos municipios de la región Las Montañas de Veracruz.

Se identificó a las productoras pioneras por el reconocimiento en su localidad. En el caso de la productora de Ixhuatlán del Café a través de la maestra Susana Córdoba Santamaría y el maestro Salvador Diaz Cárdenas quienes tienen pleno conocimiento de la cafecultura regional, en el caso de Chocamán fue a través del Dr. Esteban Escamilla Prado, quien ubica a la productora entre las de mayor edad en la producción. Se realizó una guía de entrevista semiestructurada sobre los puntos a abordar. Se visitó a cada una en dos ocasiones, debido a su edad para que no fueran sesiones muy largas, en el caso de la primera productora ya no acude a campo por lo que ambas sesiones fueron en su domicilio, en el caso de la segunda productora la segunda sesión se realizó en su finca.

Resultados y Discusión

Historia de vida 1

Rosa María Petra de Dios Hernández, soy originaria de Ixhuatlán del café, nací en la colonia Romero y tengo 80 años. Actualmente cuento con tres fincas localizadas a dos km colindando con Tomatlán, una denominada la hierbabuena, la segunda es la tranca y la tercera es la hierbabuena 2 que se estableció como parcela demostrativa por parte de la empresa AMSA, la cual tiene injertos, así como híbridos y las otras dos parcelas tienen variedades como Marshellesa, Geisha y Sarchimor. En cuanto a la tenencia de la tierra, una es ejido y dos son pequeña propiedad. Las tres tienen una extensión de una ha.

Inicié en la producción de café muy joven (12 años) ya que mi papá dejó una hectárea al fallecer, que al principio rentábamos para la siembra de maíz; sin embargo, mi mamá sugirió que la trabajáramos, nos decidimos por café en lugar de maíz porque, ¿para qué queríamos tanto maíz?

Recuerdo que en esa época eran pocas mujeres las que sabían cultivar café. Empezamos de cero, todo estaba con monte, nos venimos porque mataron a mi papá de la colonia Romero. El terreno tenía mucha piedra, pero al fin mujeres no sabíamos que hacer, quitamos piedra y no se daba el café cuando ya estaba para producir. Mi mamá decía: ¡no sirve!, ¡no sirve!, ¿qué vamos hacer? y un señor nos dijo que sembráramos café criollo y plátano, cuando se le sembró, salió la finca, se daba muchísimo puro



criollo, eso recuerdo...hubo años que no valió y lo dejábamos caer. Cuando vimos que se empezó a producir mucho café, sentía bonito después de todo lo que pasamos. Yo estude hasta sexto de primaria, no había electricidad ni carreteras, mi mamá vendió el solar de la colonia Romero y nos venimos a vivir a la cabecera municipal, primero estuvimos viviendo en la casa de una comadre de mi mamá, después compramos aquí donde tengo viviendo 50 años.

Mi mamá y yo aprendimos viendo como trabajaban los señores, trabajábamos como cortadoras de café con grandes productores de la región, interesadas por producir, nos acercábamos a preguntar a los trabajadores de campo que sembraban y cuidaban de las plantaciones y así aprendimos, sus siembras se basaban en recoger o comprar pesetilla (plantas que nacen debajo de la que está produciendo) a diferencia de ahora que se tiene que comprar plantas de viveros de variedades que van surgiendo para mejorar la producción o para evitar enfermedades, me gustan más variedades como bourbon porque dan más ramas.

Cuando empezamos a producir café, era puro hombre que producía café... Conocimos otra señora que se casó con un productor y ella también se involucró a trabajar el café.

Primero me junté con el papá de mi primera hija, pero no hice vida con él y me separé, después me junté a los 28 años, con el papá de mis otros tres hijos (dos hombres y una mujer) y con él compramos las otras fincas (la tranca y hierbabuena 2). Mi esposo trabajaba en un beneficio y yo siempre me encargaba de nuestro campo.

Cuando estaba sola con mi hija, nos endeudábamos a cuenta de la cosecha, con un señor de Coscomatepec, a la palabra ya nos conocía, un tiempo vivió en el municipio, no nos cobraba intereses, él tenía tienda y para comprar lo de todos santos o cuando se moría alguien íbamos con él, eran gastos grandes si los vecinos traían velas al altar se les regresaba de la ofrenda arroz, mole, pan y tamales etc. Después ya con mi esposo, había dos compradores aquí, al inicio solo compraban después uno empezó a prestar dinero al corte, con letras para comprometer el corte.

Puedo contar que tuve una mala experiencia, estábamos en un grupo como 25 productores de los cuáles eran como cinco mujeres, lo maquiló un señor, que según nos lo iban a pagar a buen precio, después nos lo pagaron muy barato ya como lote, fue perdida, el señor que nos engañó, desbarato su beneficio. Otro asunto es que no seguí con INMECAFE porque querían que quitáramos sombra, igual AMSA, yo no quiero quitar sombra.

Dentro del manejo, no uso herbicidas para el control de la maleza en una primera ocasión se usa azadón y las posteriores con chapeo durante el año, realizo solo una aplicación de fertilizante al año. Por otra



parte, se pone pulpa de café y cachaza de caña que compro a la AMSA, cuando se lleva en volteo o torton me cobran a 500 el viaje. Además de café las parcelas tienen plátano para velillo y fruto (*Musa paradisiaca*), naranjos (*Citrus sinensis*) y árboles de sombra como vainillo (*Inga vera*). Así tengo otra entrada que es la venta de velillo, sacando 30 rollos a \$100.00 por finca cada mes, lo que representa una entrada de \$3,000.00 mensuales extras a la producción de café. Como ya se me dificulta ir a la finca, pago a un trabajador a \$180 pesos el jornal.

Hace unos meses atrás trabajaba con un grupo de cafecultores orgánicos, sin embargo, no permanecí en ese grupo. Actualmente estoy en un programa de subsidios y capacitaciones por parte de la empresa AMSA, y me producen como 5 toneladas de cereza por finca, 15 toneladas por las tres fincas. Además de la venta de cereza, vendo café pergamino, tostado y molido. Considero que es más redituable vender en pergamino, tostado o molido y he buscado la forma que se valore la calidad, para obtener mejor precio. La mitad de mi cosecha la vendo a la empresa AMSA, como 7.5 toneladas por cosecha, el resto lo trabajamos mi hija y yo en la casa para pergamino, buscamos quien despulpe, mi hija lo seca, cuento con despulpadora, actualmente me están haciendo un invernadero para secado (Figura 1) y compré 20 zarandas nuevas, ya tenía desde hace años otras, con un costo aproximado de \$50,000.00 por todo lo nuevo en que invertí, le digo a mi hija de donde salió ese dinero, mi hija me dice de tu café. El servicio de tostado y molido lo mandamos hacer con otro productor y tostador. Como decía la otra mitad de la producción se transforma en pergamino, los cuales en su mayoría son vendidos como pergamino y una pequeña cantidad en café molido a conocidos.



Figura 1. Doña Petra mostrando las instalaciones de su unidad de secado.



Los recursos obtenidos de la venta del café en cereza son utilizados para el pago de los jornales del trabajador y cortadoras de café (este año gasté como \$30,000.00), la venta del pergamino es la ganancia y para gastos de la familia, de este recurso también es donde voy invirtiendo para resiembra y para el invernadero para secar.

Para AMSA tengo una finca demostrativa, yo voy resembrando de 500 en 500 plantas en mis fincas, estoy sembrando Geisha, Marshellesa y Sarchimor. Las variedades que más me producen ahorita es Marshellesa y Sarchimor. El pergamino tengo 10 años trabajándolo inicie vendiendo donde se podía, ahora ya estoy negociando con compradores.

Pertenezco al programa “producción para el bienestar” que nos dan \$6,000.00 y no me alcanzan para nada, hay un biólogo que nos está organizando somos 25 socios, nos invita y gracias a él, nos pidió muestras me lo calificaron y salí con 85 en taza y ahorita nos volvimos a reunir, y este año fue seleccionado para Corea, pero estoy pensando que, si me conviene vender más a mercado local, lo vendo aquí. Por este biólogo empecé a entrar a café de especialidad.

Me gustó producir café, es el legado para mi hija, voy a dejarle mis conocimientos de como trabajar la tierra para producir café, quiero al café porque siempre me ayudó a sacar a mis hijos adelante ya que enviudé joven y me prestaban recursos a cuenta de la cosecha, era un beneficio del café.

Me dicen que me quedo sin comprarme ropa por invertirle al campo, yo les dije déjenme yo sé porque lo hago. Es un amor que le tengo al café yo no voy a cambiar a producir otra cosa, me dicen que el chayote deja más, yo les contesto: ya tengo sembradas mis matas de café no voy a volver a empezar.

Actualmente ya platiqué con mi hija para que sea el relevo y se haga cargo, mi otro hijo vive en Cancún, mi hija es quien lleva las cuentas de todo, y ahora como levanta pedidos principalmente de Córdoba con conocidos y ha diseñado unas etiquetas, por lo que considero que ella se debe hacer cargo de las fincas.

Mi sueño es mejorar la finca para tener mejor café, yo tal vez no lo vea, pero mis hijos si, ya les dije que les dejo fincas, si lo quieren regalar o trabajar ya es decisión de ellos. Hemos platicado con mi hija y le interesa más capacitación en la producción y procesamiento del café, para mejorar los rendimientos y obtener más ganancia.

Historia de vida 2

Margarita García de la Cruz, tengo 83 años, soy originaria de Chocamán, Veracruz, soltera, tengo dos hermanas y un hermano, mis actividades han sido la cafecultura, la política y el comercio, estudié hasta sexto de primaria, me gustaba mucho estudiar. Fui la primera regidora de Chocamán cuando era



muy joven, tuve una tienda por muchos años, ahora ya no...y en el café recibí asesoría de INMECAFE, después ingresé al grupo de cafeticultores de Tlalchinoltepec de la Unión Regional de Huatusco, actualmente estoy participando en el programa Producción para el Bienestar y cuento con el apoyo del programa 65 y más.

Como le comentaba no pude seguir porque mi papá murió y sólo me pudo dar mi mamá hasta sexto de primaria, era la más inquieta de las hijas de mi mamá, años después de enviudar mi mamá se juntó con otro señor y nació mi hermano, pero hubo problemas con el papá de mi hermano y se separó mi mamá, así que tuvimos que trabajar mi mamá, mi hermana mayor y yo para sacar adelante a los hermanos menores.

Empecé a trabajar el café a los 15 años, pero desde los seis años mi mamá ya trabajaba el café porque mi papá falleció y nos dejó a mis hermanas y a mí de 9, 7 y 2 años; en el municipio se dedicaban al café, antes al tabaco, se sembraba café que se sacaba del plantón, se sacaba pesetilla es decir que nacen debajo de las plantas. Después a los 15 años yo empecé de lleno a formarme en la producción de café para ayudar a mi mamá, recuerdo que después empezaron los cañales. Cuando era joven como de 16 años, los hombres se dedicaban al café y las mujeres a las labores del hogar, pocas mujeres se dedicaban al café.

Los señores me animaban como se iba a cultivar, se me hizo fácil, porque me gustaba, ya que era un medio para vivir. Los hombres hacían sus viveros, y como sombra sembraban plátano (*Musa paradisiaca*) y árboles de vainillo (*Inga vera*), porque decían que la hoja de plátano le daba vida a la mata de café y la hoja de vainillo era abono orgánico. En las fincas sembramos huizache para aprovechar la leña además del vainillo. Mi papá nos había dejado una ha y más adelante compramos entre hermanos y llegamos a tener tres ha en pequeña propiedad.

Cuando llegó el INMECAFE nos enseñó hacer melgas o camellones, con una madera se adecuaba para hacer hoyos y se sembraba la pesetilla., la pesetilla se obtenía antes, en una solo melga sembramos una almendra sin lavar, se abría la capa, se quedaba con el dulce y se dejaba mes y medio sembrada, brotaba y cuando estaba el centavito, se arrancaba y se sembraba en melgas y se tapaba con hojas de plátanos para que se cubriera del sol, se le regaba poca agua, no se usaba abono, ahora ya hay bolsas y malla sombra antes se hacía así. Como era en el traspatio de la casa, cuando era periodo de descanso de las melgas se sembraba zanahoria (*Daucus carota*), cilantro (*Coriandrum sativum*), fresas (*Fragaria ananassa*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), después se removía tierra y se ponía cal y se usaba como semillero una vez al año.



Cuando empecé a producir, venía a comprar un señor de Monte Blanco, comunidad de Fortín y compraba para toda la zona, ya tiempo después había compradores en el municipio, incluso yo estuve comprando para una señora de Naranjal como tres años, pero ella murió, e incluso se practicaba una negociación del maíz o café a cuenta de la cosecha, se decía vamos anegar por cuartilla que eran 20 kilos de maíz o café, y se trataban de cinco a diez cuartillas, sin documentos, era de palabra, en la cosecha cortaban y venían a dejar lo convenido, nos conocíamos y se confiaba, no recuerdo que quedaran mal, ayudábamos a las personas porque las conocíamos. Me gustaba el café porque de ahí vivía mi familia y vivía yo.

De las capacitaciones que me dieron recuerdo...que el INMECAFE, nos motivaba a sembrar árboles de sombra y en los últimos años nos vendía bultitos de abono a bajo precio, nos daban capacitación y supervisaban fincas.

En la asociación regional de Huatusco nos enseñaron a regularizar la sombra, que no estuviera cerrada pero que, si tenía que haber sombra, ahí tomaron mi finca como finca demostrativa, pero se desintegró grupo. Hace como un año, entré a un grupo que nos capacitaron sobre broca (*Hypothenemus hampei*), plagas, y nos hacían una mezcla de cal, nos dieron trampas para proteger contra la broca.

Yo produje pergamino, lo despulpábamos, lavábamos y secábamos, nos fue bien un año pero en el siguiente vino una persona y me dijo que se lo vendiera, me dio una dirección y una letra, llegué a la dirección que me dio de Fortín y estaba cerrada la oficina, regrese varias veces y siempre estaba cerrado, busqué a un abogado de Chocamán para poner la queja, me pidió que endosara la letra, para poner denuncia y ahí me acabo, porque no sabía que era un familiar de él, no me dieron nada, yo los he visto pero ya no pude hacer nada, no me dieron nada.

No me fue difícil recuperarme porque me gusta trabajar, pero ya no quise vender en pergamino, se me hizo más fácil vender en capulín, pero ya sólo dejo una parte para autoconsumo y ahí también coincidió que mi mamá murió de eso como 17 años, y nos repartimos los terrenos entre hermanos y ya menos iba a vender pergamino, me quedé con una ha. Actualmente tengo un trabajador de planta y uno temporal, me gasté como \$10,000.00 para el mantenimiento de la finca, el café me lo pagaron en \$12.00 y pagué \$4.00, yo considero que me quedó por mitad por el transporte. Este año produje 2.5 toneladas y me quedaron 6 pesos por kilogramo, este año vendí todo en cereza, serán como \$15,000.00, pero de ahí estoy resembrando plátano (Figura 2). El año pasado produje además velillo entre 15 y 20 rollos cada 20 días y me lo pagaron a \$100.00, me sacaba mínimo \$2,000.00 al mes, pero este año hice resiembra y no he cosechado velillo.



Figura 2. La productora Margarita García y su producción mixta de café y velillo.

Ya no considero necesario capacitarme porque a la edad que tengo ya no creo que sea necesario.

Otro beneficio en la producción de café es cuando hay alguna preocupación o problema se va una a su campo y se distrae, se olvida de todo, se llega y se pone a trabajar, a ver las hierbas, a deshojar, a “destular”, el día se va.

He tenido problemas porque los cañales cuando queman se pasan a mis hilos de café, también me han robado cosechas ya no respetan como antes y hoy se volteó un carro de caña y me afectaron 150 plantas.

En cuanto al relevo generacional, considero que algunas personas si hay interés en su familia para seguir la producción de café, otras no porque se dedican a otras cosas y venden o rentan cuando les dejan las fincas, en mi finca alrededor eran cafetales, ahora han vendido, enfrente pusieron un telebachillerato, aún lado un cañal, del lado contrario un chayotal y atrás otro cañal. Así también, se ven ya cultivos a pleno sol cerca de aquí.

Aconsejaría a las señoras que se dedicaran al café, ya ahora no hay jóvenes que se metan de lleno al campo, porque afortunadamente en el chayote ocupan muchas señoras y señores, a las señoras les dan 200 pesos por deshoje, pero a mí, no me gustó ser moza, sino patrona, les sugiero que trabajen en su propiedad.

Hace tiempo tenía 4 o 5 mozos producía maíz (*Zea mays* L.), tabaco (*Nicotiana tabacum*), chile (*Capsicum annuum* var. *Grossum*), hace 5 años producía limonaria (*Murraya paniculata*), actualmente



en la finca le metí alrededor limonaria. Tengo flor de gato (*Spathiphyllum cochlearispathum*), flor de izote (*Yucca Elephantipes*) que son comestibles, naranjas (*Citrus sinensis*) y toronjas (*Citrus paradisi*), tomatitos (*Lycopersicon Esculentum*, Var. Cerasiforme) y macadamia (*Macadamia tetraphylla*), además del velillo (*Musa paradisiaca*) y café (*Coffea arabica*).

Las historias de vida de las productoras muestran que la decisión de dedicarse a la cafecultura, se da por la falta de una figura masculina en su hogar y su perspectiva de la producción del café como medio para una mejor calidad de vida, se encontraron con diferentes obstáculos entre los que resalta el desconocimiento de las labores al ingresar en la actividad, altibajos en la producción, el engaño o fraude sobre su cosecha, fluctuación de precios, enfermedades y plagas del cultivo, sin embargo, se han mantenido por apego a la producción como se ha identificado en la mayoría de los productores latinoamericanos (Morales y Olguín, 2021). Ambas productoras llevan cuenta de los gastos e ingresos, así también ven en los cafetales otros beneficios como el esparcimiento, producción de alimentos y cuidado ambiental, y además obtienen otros ingresos destacando el recurso por la producción de velillo.

Conclusiones

Existe poca información sobre el papel que han desempeñado las mujeres en la producción y comercialización del café a pequeña escala, el aprendizaje y las experiencias que acumularon a lo largo de su vida. Por ello es de suma importancia, contar con el relato de las protagonistas de cada historia, que demuestran la resiliencia para mantenerse en la producción de café por más de seis décadas. Se destaca que, para ellas, producir café ha tenido un significado importante en sus vidas. Le tienen aprecio, debido a que gracias al aromático pudieron sacar adelante a sus familias. Se concluye que son mujeres pioneras, que aprendieron una actividad considerada para hombres en la época que iniciaron y a pesar de la fluctuación del precio y otros inconvenientes, fueron resilientes y continuaron con la cafecultura por décadas. A través de su mirada, la cafecultura aporta al desarrollo rural ingresos, vinculación con otros productores e instituciones, producción de otros alimentos y servicios ambientales. Por lo que las productoras lo consideran un modo de vida, al que le tienen un profundo afecto y agradecimiento. Se requiere continuar con otros estudios para conocer las condiciones y necesidades de las productoras de diferentes edades en la región.



Agradecimientos

Petra de Dios y Margarita García, por compartir sus experiencias que han sido significativas durante las seis décadas y manifestar su agrado para conservar sus nombres en el escrito.

Maestra Susana Córdoba Santamaría y Maestro Salvador Díaz Cárdenas (académicos del Centro Regional de Oriente de la Universidad Autónoma de Chapingo), por el acercamiento con la productora Petra de Dios y por su apoyo para rescatar historias de mujeres valiosas para la cafecultura.

Literatura Citada

Biermayr, P. 2016. Género y sistemas agroalimentarios sostenibles. FAO. <https://www.fao.org/3/i5724s/i5724s.pdf> [consultado el 3 de abril de 2022].

Cafecol. 2023. Historia del café <https://infokofe.com/historia-del-cafe/origen-del-cafe/> [consultado del 20 de abril de 2023].

Córdoba, S.S. 2005. Café y Sociedad en Huatusco, Veracruz. CONACULTA 1: 451p.

Díaz, C. S. 2020. Cadenas productivas y redes de participación para el desarrollo: el café en México. Revista de Geografía Agrícola 55: 57-73.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. Desarrollo de cadenas de valor sensibles al género, marco de referencia. 28p.

Gasperín, E. M., *et al.* 2022. Women's empowerment in the coffee production sector in the High Mountains Region, Veracruz, Mexico. Productividad.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2018. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA 2017; Conociendo EL campo de México.



IWCA (International Women Coffee Association). 2020.
<https://www.womenincoffee.org/northamerica> [consultado el 5 de marzo de 2021].

Massolo, A. 2006. El desarrollo local en la perspectiva de género. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 3(1): 1-18.

Morales, L. A. R. y Olgún, M. D. L. A. S. 2021. El comercio justo como generador de cambio en las organizaciones cafetaleras latinoamericanas de mujeres. 25° Congreso internacional de ciencias administrativas. <https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2021/9.01.pdf> [consultado el 8 de junio del 2023].

Nava, M.E. y Hernández, M.I. 2017. *Cafeticultura en Veracruz: entre alternativas y crisis*. 99-122.

OIC (Organización Internacional del Café). 2020. Incentivos y limitaciones para la mejora de la seguridad y salud en el trabajo en la cadena mundial de valor del café de México. Estudio de caso, México: OIT.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2021. “ONU Mujeres. América Latina y el Caribe” www.unwomen.org/es/where-we-are/americas-and-thecaribbea [consultado el 7 de julio de 2022].

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/el-cafe-bebida-popular-y-de-importancia-mundial#:~:text=Actualmente%2C%20es%20la%20segunda%20bebida,técnicas%20sustentables%20son%20una%20prioridad> [consultado el 20 de abril del 2023].

Sánchez H., M. *et al.* 2019. Economía agroalimentaria: Análisis de la producción, comercialización y problemática del cultivo del café. *Revista Biológico Agropecuario Tuxpan*, 7(2), 79–86.



COLECTIVO DE MUJERES PARTICIPES DEL SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ZONA RURAL: ANÁLISIS DE INVOLUCRAMIENTO Y LIMITANTES

Irma Zitácuaro Contreras^{318*}, José Luis Marín Muñiz³¹⁸ y Sergio A. Zamora Castro³¹⁹

Resumen

El saneamiento de aguas residuales en zonas rurales de México es una realidad poco común. En México solo el 1.2% de las aguas residuales se tratan mediante soluciones basadas en la naturaleza (SBN) como los son los humedales artificiales (HA) o construidos. Estos HA pueden ser instalados a partir de intervención académica, sin embargo, no existen los estudios necesarios para contabilizar su aportación a la cobertura de saneamiento. La implementación de los HA no es viable si no se recurre a la participación social, para esto se requiere de formar capital social con la sociedad organizada, un ejemplo de ello es el Colectivo de Mujeres por el humedal Artificial de Pastorías (UMHUAP). Este estudio tiene el objetivo de determinar el actuar y las limitantes que obstaculizan la formación de capital social en el Colectivo UMUHAP y su repercusión en la administración del HA como SBN para el saneamiento de aguas residuales comunitarias. Esto mediante el uso de la participación social, formación de capital social, observación participante, y la entrevista estructurada. El estudio demostró que fue posible formar capital social para transferir los conocimientos en la implementación de HA y su operación incluyendo el aprovechamiento ornamental y artesanal de la vegetación cultivada en ellos, asimismo, que la Pandemia por COVID 19 marcó un retroceso en el capital social y en las relaciones de confianza, que redujeron significativamente la participación social pasando de una asistencia de 24 mujeres a menos de 10. Sin embargo, el interés continúa y ha hecho posible operar el grupo y avanzar en el conocimiento de los HA, por lo que se espera que en un futuro cercano el Colectivo no solo aproveche y aprenda sobre la funcionalidad del HA, sino que también lo opere.

Palabras clave: desarrollo, feminismo, humedales construidos

³¹⁸ Academia de Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz. *irma.zitacuaro@colver

³¹⁹ Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana.



Introducción

En el desarrollo de las localidades rurales participan varios factores ambientales, sociales y económicos donde para cumplir las particularidades del desarrollo sustentable se debe considerar la inclusión y las SBN, estas consideradas como acciones para proteger y restaurar ecosistemas en forma efectiva para beneficio humano y de la biodiversidad, sin embargo, deben ser específicas para que sean alternativas factibles de implementarse en zonas rurales y aporten a la sustentabilidad (Plaza de los Reyes *et al.*, 2023).

En este tema del mejoramiento de los recursos naturales, uno de estos recursos imprescindibles para el desarrollo rural es el agua en cantidad y calidad, por lo que, en zonas con dificultades de abastecimiento, además de un buen uso del agua, se debe fomentar el saneamiento de las aguas residuales mediante sistemas alternativos como son las SBN, entre ellas están los HA para tratar aguas residuales, también denominados construidos o bioingenieriles, utilizados para tratar aguas residuales, municipales, agrícolas, industriales, lixiviados o aguas pluviales, esto mediante sistemas de ingeniería que imiten el funcionamiento de los ecosistemas en sus procesos físicos, químicos y biológicos que favorezcan la remediación de contaminantes (Marín, 2016)(Plaza de los Reyes *et al.*, 2023).

Los HA son viables en zonas rurales porque superan el obstáculo de las grandes inversiones que demandan los sistemas convencionales, tanto en construcción, operación y mantenimiento, además de estos que requieren un alto consumo de energía eléctrica. Los componentes de los HA son: sustrato de piedras porosas de río, grava volcánica o partes rugosas de botellas de tereftalato polietileno, donde se forman poblaciones microbianas que consumen la materia orgánica del agua residual y el proceso se complementa con el cultivo de plantas adaptadas a los HA que igualmente consumen la materia orgánica y estas mismas especies tienen usos ornamentales y artesanales, lo que permite el aprovechamiento de sus potencialidades, cumpliendo así con los beneficios ambientales (fitorremediación), sociales (aprovechamiento de la vegetación) y económicas (al disminuir costos de saneamiento y comercialización de la vegetación) (Mitsch y Gosselink, 2015)(Marín, 2016 y 2018), lo que contribuye a un desarrollo sustentable.

Aún con estas alternativas ecológicas, la falta de sistemas de saneamiento en localidades rurales hace que en México aproximadamente 188 mil localidades rurales carezcan de sistemas de saneamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2018). Esta contaminación es la causa de enfermedades de origen hídrico y ocasiona un impacto al medio ambiente derivado de la eutrofización debida al exceso de los



niveles de nutrientes como es el fósforo y el nitrógeno (Marín *et al.*, 2018) (Plaza de los Reyes *et al.*, 2011).

Un punto importante de considerar es que el uso de las SBN requiere de la adopción de los usuarios para garantizar su uso continuo. En el caso especial de los HA, el compromiso social es mayor debido a que el saneamiento es un bien común y el uso de los SBN no son del conocimiento general (Zurita, 2011) (Arias *et al.*, 2023). En este sentido, una metodología que permite la transferencia del conocimiento es la participación social para formar capital social, entendido como una organización social para fortalecer las relaciones de reciprocidad y cooperación para construir y hacer permanentes relaciones a largo plazo, asimismo, se considera que favorece la formación de la capacidad colectiva para la toma de decisiones y para atender objetivos de beneficio común (Bourdieu, 1986) (Flores y Rello, 2002). Sin embargo, es necesario fortalecer la participación social en las localidades donde se implementarán los proyectos, de forma que se estrechen los lazos para realizar transacciones que ayuden a pasar a la acción organizada.

Los HA y las potencialidades ornamentales y artesanales de la vegetación que se cultiva en ellos hacen posible el paso de lo individual al interés común al percibir beneficios culturales y económicos en la elaboración de arreglos florales y artesanías para la comercialización, sin embargo, existen limitantes derivados de una participación social débil. Para organizar esta participación y recurriendo a la inclusión en el desarrollo, es necesario incluir a los habitantes con vulnerabilidad, como es en la educación y el empleo remunerado, entre otros.

No obstante, el acceder a la participación social, a la formación de capital social, al uso de las SBN y a la intervención académica y gubernamental no se garantizan resultados a corto plazo, el incorporar la participación social en la gestión del desarrollo e identificando sus necesidades permitirá un avance sustentado que dará mayor garantía a la continuidad de las acciones. Un proyecto con las particularidades mencionadas, que incorpora el uso de SBN para el saneamiento de aguas residuales, participación social, formación de capital social, intervención académica y participación gubernamental se implementa en la localidad de Pastorías del Municipio de Actopan, Veracruz, México. Donde opera un HA para tratar la totalidad de las aguas residuales colectadas comunitarias. La operación y mantenimiento del sistema está a cargo de investigadores y alumnos de posgrado de El Colegio de Veracruz con apoyos gubernamentales dentro de los programas: Proyectos para el Fomento Ambiental 2022, Jóvenes Construyendo el Futuro y Mujeres Emprendedoras; la participación social es a través del



Colectivo UMHUAP conformado en 2019 como parte de un proyecto del Doctorado en Desarrollo Regional Sustentable de El Colegio de Veracruz.

Una vez implementado y operado un proyecto del tipo de HA para sanear aguas residuales comunitarias con participación social en la localidad rural de Pastorías, es necesario hacer un análisis de los alcances que ha tenido esta participación, por lo que el objetivo del presente estudio es determinar el actuar y las limitantes que obstaculizan la formación de capital social en el Colectivo UMUHAP y su repercusión en la administración del HA como SBN para el saneamiento de aguas residuales comunitarias. Hacer este análisis permitirá establecer estrategias para garantizar la operación continua del HA, la participación social y el aprovechamiento ambiental, social y económico del sistema contribuyendo al desarrollo sustentable de pequeñas localidades.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la localidad de Pastorías del Municipio de Actopan en Veracruz, México, Figura 1. Pastorías tiene una población, a 2020, de 552 personas, un 48.2% son mujeres. No existe población indígena y los índices de educación son bajos (Grado de escolaridad en mujeres de 5.68 y de hombres de 5.37). En 2020 el 38.8% de la población tenía ocupación, en su mayoría hombres, en mujeres es de solo un 10.9% (Pueblos de América, 2023).

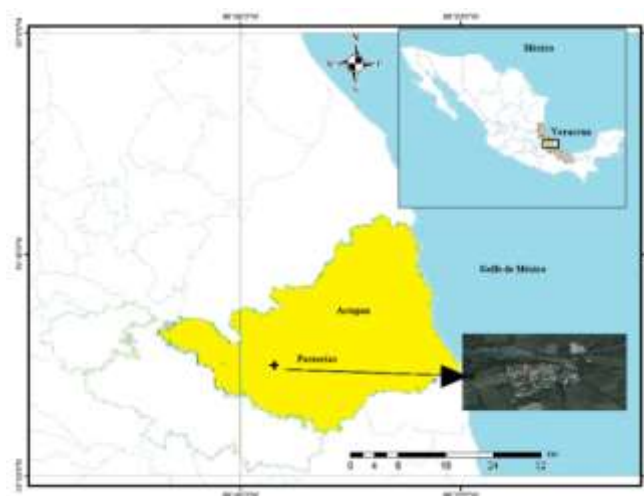


Figura 1. Ubicación de la localidad de Pastorías, Veracruz, México. Fuente: Zamora *et al.* (2019).



La actividad productiva es la agricultura realizada en la mayoría por los hombres, las mujeres participan en temporada de cosecha y fuera de esa actividad no tienen acceso al empleo remunerado (Población de mujeres ocupada laboralmente mayor de 12 años de 10.9% y de hombres 64.7%). Se realizó mediante la observación participante como un elemento de la etnografía, metodología cualitativa de investigación utilizada para describir situaciones definidas de un grupo de personas, de sus relaciones, de lo que hacen y de lo que piensan, combinando prácticas y significados. Es una metodología para la descripción de la vida cotidiana de los pueblos referente a un tema en especial de interés para el etnógrafo, donde existe libertad al escribir debido al involucramiento que tiene el investigador con las personas (Restrepo, 2018).

La observación participante hace factible trabajar con grupos de personas para identificar sus relaciones, lo que hacen, lo que piensan, de igual forma, permite la intervención académica para transmitir conocimiento a través de la práctica y los significados. Por lo que, además de enfocarse en la descripción de la vida cotidiana que tiene el investigador con las personas (Restrepo, 2018), mediante actividades lúdicas se puede hacer una transferencia del conocimiento y con ello formar capital social. Entre las actividades lúdicas utilizadas en el estudio están la lotería del agua, la lotería de los HA, videos y elaboración de artesanías con flores alusivas al HA, éstas dos técnicas se utilizan debido a que entre las actividades de recreación se juega la lotería en las tardes.

Sin embargo, uno de los requisitos principales, de acuerdo con Restrepo (2018), se requiere de un largo periodo de participación conjunta con la comunidad. El estudio constó de cuatro Fases cronológicas (Figura 2).



Figura 2. Línea del tiempo de la implementación del proyecto implementado en cuatro fases.



Fase 1. De 2013 a 2018 se construye el sistema de saneamiento y se inicia el trabajo social mediante un estudio de la detección de los limitantes y estrategias para el uso y adopción de HA, en este estudio se detectaron las personas que estaban dispuestas a colaborar en el proyecto del HA para sanear las aguas residuales de Pastorías (solo mujeres confirmaron la colaboración). Asimismo, se identificó cuáles serían los riesgos al incorporar la participación social, identificándose principalmente la falta de equidad (Palma, 2017), este estudio fundamentó las bases para la implementación física y social del proyecto. Posterior y paralelamente a la construcción del sistema de saneamiento se inicia una intervención académica para participar en actividades de la localidad, socializar las investigaciones, e iniciar la formación de capital social mediante el involucramiento de las mujeres en la gestión del desarrollo y la transferencia del conocimiento mediante actividades lúdicas, como la lotería del agua y de los humedales, además de la difusión del proyecto y visitas guiadas.

Fase 2. De 2019 a enero de 2020 se establece la estrategia y se pone en función la iniciativa de conformar el Colectivo UMHUAP, mediante actividades lúdicas se empieza a generar conocimiento sobre HA y se propicia la participación social y se avanza en la formación del capital social en la operación y mantenimiento del HA. Se analiza la percepción y se registra el trabajo mediante observación participante, y en el mes de enero de 2020 se formaliza la operación del Colectivo UMHUAP.

Fase 3. De 2020 a 2021, en el mes de marzo de 2020 inicia el periodo de pausa por motivos de pandemia por COVID 19, sin perder del todo la comunicación debido a las relaciones sociales establecidas previamente a este proyecto, en retribución social.

Fase 4. De 2022 a mayo de 2023, en el mes de mayo de 2022 se retoman las actividades con el Colectivo UMHUAP con actividades para reforzar la relación de confianza y lúdicas para fortalecer los conocimientos adquiridos y la formación de capital social.

Como instrumentos de medición se hizo uso del diario de campo y la entrevista estructurada, ambos para obtener información referente al avance en la transferencia del conocimiento.



Resultados y Discusión

Fase 1

El inicio de actividades se dio mediante invitación personalizada a quienes comentaron el interés de participar en el estudio de la detección de los limitantes y estrategias para el uso y adopción de HA. El grupo fue conformado por 24 mujeres de Pastorías. En esta primera etapa la formación de capital social fue en dos vertientes 1) la participación social mediante relaciones de confianza, trabajo en grupo y gestión y 2) beneficio común del recurso agua y su saneamiento. Los primeros resultados demostraron que la participación social incrementó las relaciones de confianza al haber participación y colaboración en las actividades de elaboración de artesanías con flores alusivas al humedal. Una actividad que demostró integralidad fue el diseño y elaboración de la vestimenta formal para las presentaciones como grupo (Figura 3).



Figura 3. Elaboración de la vestimenta formal con flores alusivas al humedal artificial.

En el segundo punto, en materia del capital social, ambiente, beneficio común, el recurso agua y su saneamiento, los resultados demostraron que las mujeres del Colectivo UMHUAP, después de la intervención académica, identifican los componentes y la utilidad del HA, como son las plantas que se utilizan en la remoción de contaminantes, entre ellas tule (*Typha*), cuna de moises (*Spathiphyllum wallisii*), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), anturio (*Anthurium andreanum*), bandera (*Canna indica*), platanillo (*heliconia*); los componentes del HA (celdas de concreto, sustrato, microorganismos, plantas) y los usos que se le pueden dar a las plantas (ornamentales, artesanales). Este conocimiento se atribuye al tema de SBN que comprende la parte ambiental del capital social, mientras que en la parte social el



grupo de mujeres trabajó en armonía realizando artesanías y arreglos ornamentales. Sin embargo, la parte económica se dio escasamente con la venta de muebles elaborados con tule y algunas artesanías.

Limitantes Fase 1

Todo proceso en su implementación tiene limitantes que frenan el desarrollo, la primera limitante en esta etapa fue en la gestión. En forma conjunta con la academia y las mujeres participantes se formularon proyectos para fomentar la participación social y solicitar apoyos en empresas privadas e instituciones gubernamentales, sin obtener beneficios hasta ese momento. En la participación social las limitantes se clasifican en la Figura 4, destacando principalmente los recursos económicos, lo que fomenta la migración de las participantes en búsqueda de fuentes de empleo, en esta etapa del proyecto cuatro participantes emigraron dentro del estado de Veracruz y Ciudad de México. Esta misma falta de servicios accesibles por falta de recursos económicos resultó en la muerte de una integrante, esto por causas de que no se le detectó adecuadamente una falla cardíaca. Además, es importante comentar que los problemas cotidianos entre compañeras afectan igualmente el desarrollo del grupo, por lo que uno de los grandes retos fue hacer eficientes las relaciones de confianza, para que el efecto sea el contrario, que la pertenencia al grupo fortalezca las relaciones cotidianas.

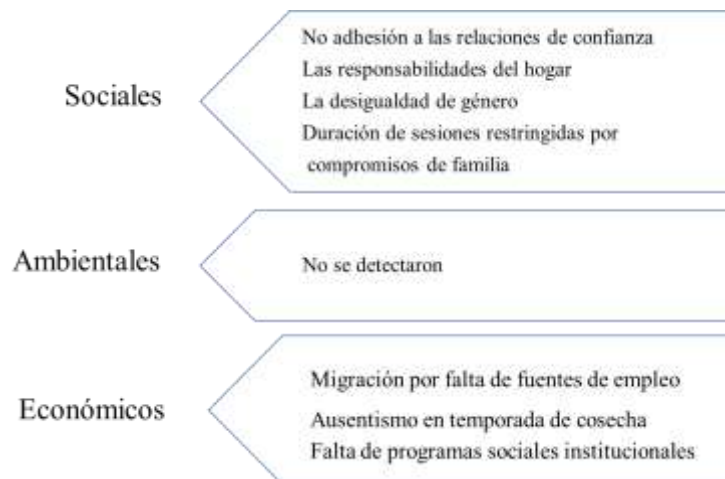


Figura 4. Limitantes en el desarrollo de la participación social en la Etapa 1.

Fase 2

Con avances significativos en la formación de capital social y derivado de la entrevista estructurada se analizó la percepción de los servicios de abasto de agua y el saneamiento mediante HA, así como la



participación social mediante la percepción sobre el interés mostrado en participar en talleres y de la disposición en trabajar en equipo, Cuadro 1.

Cuadro 1. Percepción del servicio de abasto y saneamiento de agua.

Porcentaje de opinión	Concepto
100	Reconocen el concepto de agua de buena calidad identificándola como sin olor, sin sabor, limpia y se puede usar.
92.3	Tienen conocimiento de donde proviene el agua que se les proporciona de la red de distribución, proveniente desde un manantial.
58.8	No cuentan con el servicio de agua de la red todos los días.
76.5	Cuentan con servicio al drenaje municipal.
100	Reconocen que se pueden obtener beneficios económicos si se venden los productos.
100	Tiene interés en participar en talleres para conocer más sobre los humedales y elaboración de artesanías para venta.
100	Les gusta trabajar en equipo y se sienten a gusto.

El avance en el conocimiento sobre HA que se ha dado entre las participantes se muestra en la Figura 5, los resultados fueron satisfactorios, lo que representa una fortaleza que permitirá que se tengan los elementos para avanzar en el proyecto. En esta fase se pudo comentar con el grupo el funcionamiento del sistema de saneamiento mediante HA, de los beneficios ambientales, sociales y económicos y de la factibilidad de operarse en localidades rurales con mano de obra de la comunidad. Aportando beneficios ambientales al descargar agua de mejor calidad que en la situación sin el proyecto.

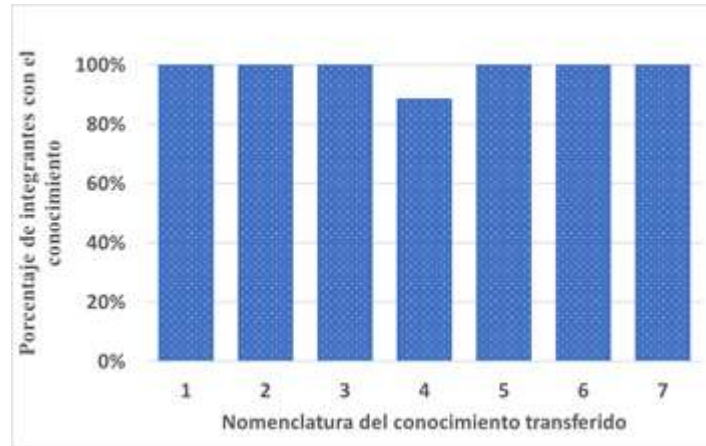


Figura 5. Frecuencia del conocimiento adquirido por el grupo de mujeres de Pastorías.

De la Figura 5: 1. Conocen que existe un sistema de tratamiento, 2. Conocen que existen HA como sistema de tratamiento, 3. Conocen los beneficios de usar HA, 4. Conocen los beneficios de usar vegetación en los HA, 5. Tienen disponibilidad para participar en talleres, 6. Tienen disposición para trabajar en equipo, 7. Conocen los beneficios ambientales, sociales y económicos de los HA.

Con estos antecedentes se cuenta con el capital social mínimo para conformar el Colectivo que se denominó, con acuerdo de las participantes, Unión de Mujeres por el Humedal Artificial de Pastorías, formalizado en 20 de enero de 2020 con acuerdo mutuo y con la responsabilidad de participar en actividades relacionadas al HA, en combinación con requerimientos personales (para esta acción cuando las actividades eran en beneficio común y algunas veces personales, el material fue donación).

Limitantes Fase 2

El capital social para la operación del HA, hasta esta fase, fue en su mayoría teórico para fortalecer los conocimientos y con ello facilitar la operación puesta en práctica. Fue importante involucrar al Colectivo UMHUAP en el funcionamiento físico, biológico y químico del sistema de saneamiento, sin embargo, la falta de apoyos privados y gubernamentales, así como de la producción no suficiente de productos para venta, no hizo posible cumplir con los requerimientos económicos de las participantes, quienes al ser lo económico una de las mayores demandas, estaban a la espera de apoyos. Existía la disponibilidad de participar, sin embargo, si se presentaba alguna oportunidad de obtener algún ingreso formal se evidenció la inasistencia con el justificante de realizar actividades remuneradas. Una opción de solución fue incrementar la producción artesanal para su venta el día 19 de marzo de 2020, fecha de las fiestas del Santo Patrono de Pastorías. Esta fecha coincidió con el día previo al inicio del cierre en



México de las actividades por Pandemia de COVID 19 y la asistencia a las festividades fue reducida a menos del 50%, a opinión de los lugareños. La producción artesanal quedó en pausa por tiempo indefinido con un cierre de caja de \$900.00 por la venta de seis sillas elaboradas por las participantes.

Fase 3

En el mes de enero de 2020 se conforma oficialmente el Colectivo UMHUAP y en marzo de este mismo año inicia el cierre de actividades, quedando suspendidas las reuniones personalizadas, sin embargo, en Pastorías el internet era limitado y las reuniones grupales no fueron posibles.

Limitantes Fase 3

Durante dos años quedaron suspendidas las actividades, por lo que se dio un retroceso en la formación de capital social y marcó una gran diferencia en la asistencia, las actividades del grupo se retoman en el mes de mayo de 2022 con un Colectivo con un promedio de 10 mujeres.

Fase 4

Esta fase representa grandes retos, estimular la asistencia, retomar las actividades lúdicas para recuperar la transferencia del conocimiento y continuar el proceso de formación de capital social. El proceso ha marcado un cambio total, con menos del 50% de asistencia, se retomaron actividades para abordar la equidad, facilitar las acciones colectivas, la solución de interés común a problemas locales, el bien común y las relaciones de confianza. Además de incorporar paulatinamente la teoría de los HA e iniciar con la parte operativa. Como estímulo y premio a su actuar la Secretaría del Bienestar, interesada en la operación de humedales para tratamiento de aguas residuales, otorgó beneficios económicos a las participantes, a este proyecto se invitó a la totalidad de las integrantes de la fase 1, quienes se vieron favorecidas, no obstante, una vez que se recibió el estímulo algunas de las participantes abandonaron las actividades. Lo que evidencia la necesidad del ingreso económico como factor para la participación.

Limitantes Fase 4

En esta fase fue limitante la asistencia de las participantes, por una parte, no fue continua y por otra fue muy variante en cantidad y en las mujeres que asistieron, al menos dos de ellas suspendieron las actividades por participar en trabajo remunerado por temporada. Los requerimientos de recursos económicos siguen siendo un factor que determina la participación. El retroceso ocasionado por la pandemia de COVID 19 ha desacelerado la formación de capital social y hace frecuentes frases como *“nos deben de decir que vamos a hacer”*, *“no puedo hacerlo”*, *“no me permiten venir”* y en casos más específicos la ausencia es por enfermedad.



Las SBN generalmente no son proyectos que se incluyan en las estructuras programáticas presupuestales de las instituciones gubernamentales, esto es, son aún poco reconocidas para instituir las en localidades rurales, donde la infraestructura de prestación de servicios es más restringida. Una alternativa son los proyectos académicos para hacer una realidad la remoción de contaminantes de las descargas de aguas residuales.

En específico los proyectos de HA se establecen como educativos o piloto y a nivel comunal es menor su implementación, en México a 2018 existían 189 HA reconocidos oficialmente y operando como sistemas de tratamiento, lo que representa un 8.7% en cantidad del total de sistemas existentes y tratan un gasto de 1,456.4 l/s (1.2% del total nacional), por lo que implementar proyectos en zonas rurales contribuiría al saneamiento de las aguas residuales y cumplir con el compromiso de México con la Agenda 2030 (ONU, 2015).

Es de observarse que tanto en proyectos gubernamentales como en académicos no se puede garantizar la operación continua de los sistemas de HA, por lo que es necesario incorporar la participación social mediante los grupos vulnerables como son las mujeres de Pastorías, colaborando para que puedan obtener beneficios económicos mediante el aprovechamiento de la vegetación cultivada en HA. Si bien, las mujeres se consideran como las que tienen a cargo el suministro de agua y una de las estrategias a futuro es que no sea una tarea eterna (Ruelas y Chávez, 2021), entonces el incorporar el saneamiento del agua a sus objetivos debe ser mediante estrategias que incentiven su participación. Sin embargo, la estrategia es a mediano plazo y la formación de capital social ha sido gradual, por lo que es importante analizar los factores que intervienen. De acuerdo con Campaña *et al.* (2015), uno de los factores es el bajo nivel educativo, lo cual coincide con el caso de Pastorías, donde hay acceso solo a nivel primaria y las integrantes del colectivo incluso no la terminaron.

Por otra parte, en el proyecto se identificó que el desconocimiento de las SBN influye en la aceptación y apropiación de los HA, es común que las participantes del Colectivo no se sientan capacitadas para la operación. Allub (2001), argumenta que en estudios de adopción de tecnología la aversión al riesgo es un factor que infunde inseguridad, por lo que, las relaciones de confianza y la formación de capital social se desaceleran. Campaña *et al.* (2015), en su estudio de las potencialidades artesanales desde la perspectiva de desarrollo sostenible sugieren la identificación de las potencialidades humanas, físicas, naturales y sociales, en este sentido se ha trabajado con el Colectivo, mas en la parte social, por lo que deberán reforzarse las capacidades humanas, debido a que las físicas y naturales si están dadas en la localidad, con la infraestructura para el saneamiento.



En cuanto a lo empresarial que podría representar la venta de los productos artesanales y ornamentales y que se ha dado en forma limitada, la programación de las actividades se realizó con perspectiva de género al incorporar a las mujeres que representan un grupo vulnerable en Pastorías, lo que coincide con Alfonso *et al.* (2016), quienes encontraron que se debe favorecer a las personas con condiciones de vulnerabilidad para fortalecer la cadena productiva. Por otra parte, en el proyecto se formó capital social en el tema del trabajo colectivo, la transferencia del conocimiento y al acompañamiento en la gestión de apoyos. Esta ingeniería del proyecto coincide con los trabajos realizados por Granados *et al.* (2019), donde documentan que una intervención local exitosa, por parte de las fundaciones, debe tener tres condiciones: colectividad, capacitación y que los proyectos deben surgir en la comunidad.

La fortaleza de los HA, para dar continuidad al trabajo social, es el aprovechamiento de las potencialidades de la vegetación cultivada, entre ellas, el tule utilizado en el estudio para la elaboración de muebles tejidos con los tallos de la planta, como se ha hecho de igual forma en el Lago de Pátzcuaro, México, donde existe producción de figuras de animales, organizadores de oficina, lámparas, cestas y casas para mascotas (Hall, 2009). Como plantas ornamentales la producción tiene potencialidad con especies como el anturio, el ave de paraíso y las heliconias, utilizadas para arreglos florales, condición que se ha dado en dos proyectos mexicanos, localizados en Pinoltepec, Municipio de Emiliano Zapata y en el Lago de Pátzcuaro en Michoacán (IMTA, 2007) (Hernández, 2016).

Conclusiones

La relación de las mujeres con el medio ambiente y su interés por obtener recursos de la naturaleza para la subsistencia, sobre todo en localidades rurales, hace factible que estén interesadas en la preservación de los recursos naturales y sobre todo el agua, por ser un recurso escaso y de difícil acceso, como lo es en la comunidad en estudio. El análisis demostró que la formación de capital social es un metodología que da acceso al conocimiento de SBN que son viables por sus características de bajo costo y fácil implementación, sin embargo, para garantizar la permanencia de la operación a cargo de la participación social, además del aprovechamiento de las potencialidades del HA, se requiere del acompañamiento académico para fortalecer el capital social y retomarlo en caso de darse un retroceso, como lo fueron los dos años de pandemia. Ante esto, las relaciones de confianza entre el Colectivo y la academia hicieron posible la permanencia del grupo, solo que las limitantes son variadas, siendo la de



mayor peso el factor del ingreso económico, lo cual debe ser siempre considerado en los proyectos para evitar ausencias en búsqueda de ingresos económicos. Se sugiere que el acompañamiento académico, mediante estudios de posgrado, debe permanecer para alcanzar el poder de gestión del Colectivo y que las participantes tengan los elementos para operar y gestionar apoyos gubernamentales, lo cual es un proceso largo.

Agradecimientos

A El Colegio de Veracruz por su apoyo incondicional con la participación de investigadores y alumnos de posgrado y muy especial al CONAHCYT por los apoyos económicos, mediante becas a los alumnos de posgrado de maestría, doctorado y posdoctorado para hacer una realidad el saneamiento integral de las aguas residuales generadas por la sociedad rural.

Literatura Citada

- Alfonso, M. F., R. Quintana, M., F. Rodríguez, L., y V. Oyola, M. 2016. Aprovechamiento de residuos vegetales de pétalos de rosas, tallos de girasol y vástago de plátano para la fabricación artesanal de papel. *INVENTUM* 11(20): 71-82.
- Allub, L. 2001. Aversión al riesgo y adopción de innovaciones en pequeños productores rurales de zonas áridas: un enfoque causal. *Estudios sociológicos* 19(56): 467-493.
- Bourdieu, P. 1986. The Forms of Capital. p. 241-258. *In*: Richardson J. E. (Ed.). *Hyboob of Theory of Research for the Sociology of Education*. Greenwood Press, Connecticut, USA.
- Campaña, L. M. V., R. Molina, C., y C. A. Romero, F. 2015. Las potencialidades artesanales. Un análisis desde la perspectiva de desarrollo sostenible para su revalorización y empresarialidad turística. *Retos Turísticos* 14 (1).



- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre 2018. Subdirección de Agua Potable, México. 271 p.
- Arias, C. A., Vera, I. L. y Rodríguez, Ch. 2023. Soluciones Basadas en la Naturaleza para el tratamiento de Aguas Residuales. IWA Publishing. London, United Kingdom. 337 p.
- Flores, M. y F. Rello. 2002. Capital Social Rural Experiencias de México y Centroamérica. UNAM. México. 195 p.
- Granados, I. D., A. Montes de Oca H., y S. Moctezuma, P. 2019. Humedales artificiales para el desarrollo comunitario: el caso de una comunidad Mazahua de México. Ciencia, Ambiente y Clima 2(1): 35-43.
- Hall, Steven J. 2009. Cultural Disturbances and Local Ecological Knowledge Mediate Cattail (*Typha domingensis*) Invasion in Lake Pátzcuaro, México. Ecología humana. 37: 241-249.
- Hernández, M. E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. RINDERESU 1: 1-12.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2007. Recuperación ambiental de la cuenca del Lago de Pátzcuaro. Cuernavaca, México. 144 p.
- Marín, J. L. 2016. Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México. Revista Mexicana de Ingeniería Química 15(2): 553-563.
- Marín, J. L., *et al.* 2018. Influencia de diferentes medios porosos y vegetación ornamental en la eliminación de contaminantes de aguas residuales en microcosmos de humedales de flujo vertical subterráneo. Ciencias de la Ingeniería Ambiental 35 (2): 88-94.



Mitsch, W. J. and Gosselink, J. 2015. Wetlands. John Wiley y Sons Inc. Hoboken, New Jersey. USA. 736 p.

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015. Resolución A/RES/70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, New York, NY, USA.

Palma, C. E. 2017. Limitantes y estrategias para el uso y adopción de humedales construidos en el tratamiento de aguas residuales: estudio de caso en Pastorías, Actopan, Veracruz. El Colegio de Veracruz, Xalapa, Veracruz, México. 119 p.

Plaza de los Reyes, C., I. L. Vera-Puerto, Salvato, M., M. Borin, y Vidal, G. 2011. Consideraciones para la eliminación del nitrógeno en humedales artificiales. Tecnología del agua 31(330): 40-49.

Pueblos de América. 2023. Pastorías (Pastorías San José) (Veracruz de Ignacio de la Llave). <https://mexico.pueblosamerica.com/i/pastorias-pastorias-san-jose/> [Consultado el 25 de febrero de 2023].

Restrepo, E. 2018. Etnografía: alcances, técnicas y éticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 143 p

Ruelas, M. L y C. Chávez, R. 2021. Disponibilidad de agua para usos domésticos: alternativas para mitigar la escasez y la carga que representa para las mujeres. P. 73-88. *In*: Navarro, F. N. E. y R. J. Delgado, M. (Ed.). Tecnologías para la gestión sostenible del agua. AM Editores. Ciudad de México. México. 295 p.

Zamora, S., *et al.* 2019. Wastewater treatment by constructed wetland ecotechnology: Influence of mineral and plastic materials as filter media and tropical ornamental plants. Water 11(11): 2344.

Zurita F., Castellanos, O. A. y Rodríguez, A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1(1): 139-150.



SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PRODUCTORES DE MAÍZ DEL TRANSECTO ANGOSTILLO-XOCOTITLA

Mario Torres Becerril³²⁰ y Gustavo López Romero^{320*}

Resumen

Los cambios en el uso del suelo y agua pueden degradar los ecosistemas. La Microcuenca de Paso de Ovejas, principalmente el transecto de Xocotitla y Angostillo es una zona a ser estudiada. El objetivo del trabajo fue conocer el manejo del cultivo del maíz en el transecto de Xocotitla y Angostillo. Se aplicó un cuestionario de 49 reactivos considerando cuestiones relacionadas al suelo, agua y el cultivo de maíz. Se encontró que se practica agricultura de temporal. También se encontró que los productores no reciben apoyo del gobierno, además que el precio y comercialización del maíz es limitado. En conclusión, es recomendable actualizar el conocimiento sobre el manejo del cultivo o buscar nuevas alternativas eficaces a las que han sido empleadas, buscando reducir el impacto ecológico; asimismo, es importante adoptar nuevas tecnologías para el riego del cultivo y el almacenaje del grano. Finalmente, el gobierno debería apoyar brindando asistencia técnica capacitando a los productores y a su vez garantizar un precio de venta justo para el productor.

Palabras clave: maíz, productividad, manejo agua, manejo suelo, manejo agronómico

Introducción

El desarrollo en la agricultura y la sociedad, ha transformado el paisaje rural (Arnberger y Eder, 2011). Entender como la relación entre los problemas ambientales y sociales se asocian con el cambio del paisaje (actividades agropecuarias) sigue siendo un desafío central para la ciencia de la sostenibilidad agrícola, a pesar que la investigación de estos temas a aumentado en las últimas décadas (Lambin, *et al*, 2010). El cambio del paisaje es causado por varios controladores de orden complejo que tienen

³²⁰ *Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz.



retroalimentaciones entre las relaciones que hay entre las personas y los ecosistemas (Fischer *et al.*, 2015).

A nivel mundial, la producción agrícola va más allá del entorno local ignorando las actividades relacionadas con la auto subsistencia (Eakin *et al.*, 2014). Además, la necesidad de llegar a los mercados urbanos ha ejercido una mayor presión en las regiones rurales para desarrollar su infraestructura y en algunos casos el manejo inadecuado o de modo agresivo ha provocado cambios rápidos en el paisaje (Lambin y Meyfroidt, 2001) afectando a los agroecosistemas. Debido a lo mencionado anteriormente, incluyendo el cambio de los métodos de producción agrícola, el empleo de sustancias químicas y maquinaria, han provocado cambios directos e indirectos en las comunidades y paisajes circundantes. Los cambios en el uso del suelo asociados con esos cambios en el medio de vida (Lambin *et al.*, 2001) y el uso del agua puede degradar los ecosistemas y su capacidad para proporcionar productos necesarios para el bienestar de la comunidad (Erb, *et al.*, 2009).

Por lo mencionado anteriormente, la Microcuenca de Paso de Ovejas es una región de relevancia en el Estado de Veracruz a ser estudiada, principalmente el transecto que se forma entre los poblados de Xocotitla y Angostillo. Esta región, debido a su diversidad topográfica y el acceso al agua dependiendo de la zona, crean diferentes condiciones ambientales para desarrollar actividades diversas, por lo que es importante el conocer el manejo que le dan los productores a estos recursos de vital importancia para la producción que son el agua y el suelo.

Por lo que el objetivo de la presente investigación es conocer el manejo del suelo y agua para desarrollar la producción de maíz en el transecto de Xocotitla y Angostillo.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante los meses de octubre a diciembre de 2022 en la región centro del Estado de Veracruz donde se encuentran los poblados de Angostillo y Xocotitla, donde se encuentra el transecto que esta entre el paso de los ríos (Figura 1).

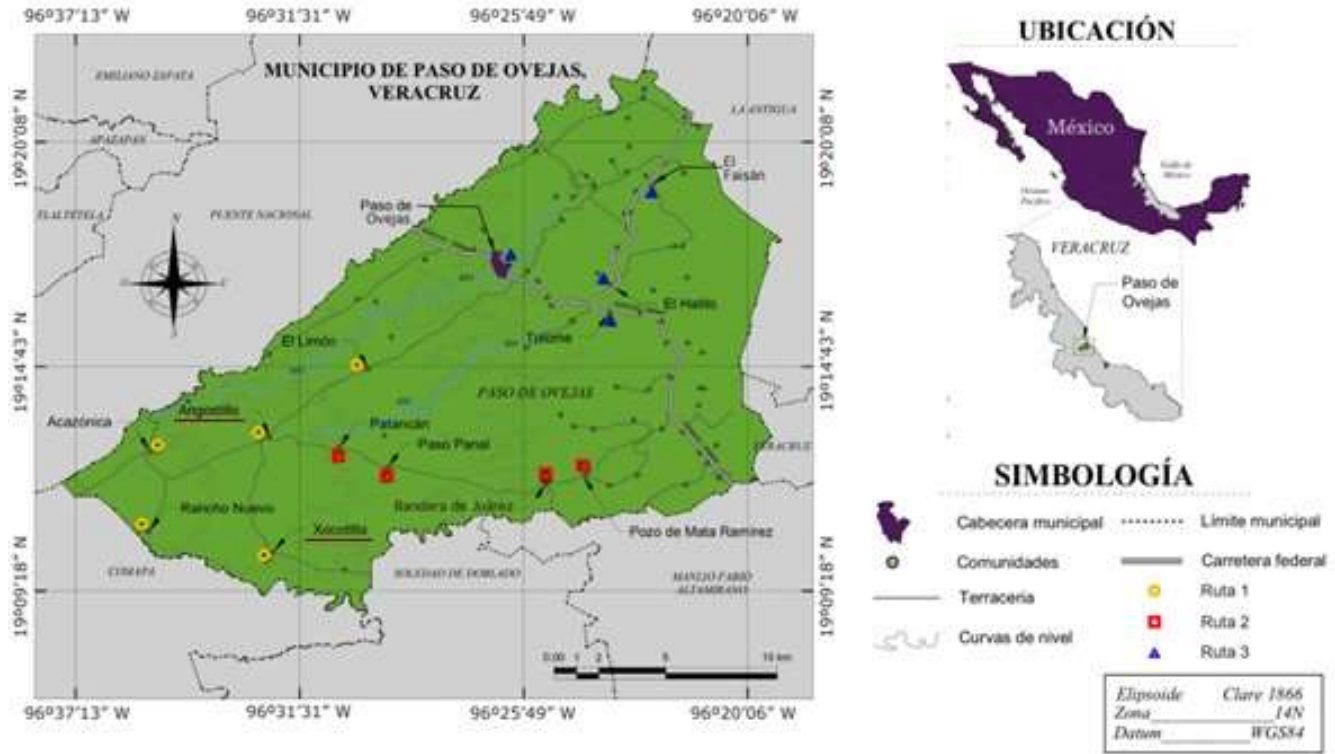


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de los poblados de estudio.

En ambas regiones se aplicó una encuesta a 180 productores, para esto se diseñó un cuestionario estructurado de 49 reactivos, donde se consideraron diferentes aspectos relacionados con el manejo del agua y del suelo, así como cuestiones relacionadas al cultivo. El método empleado para establecer la muestra poblacional fue por bola de nieve (muestreo lineal), debido a que no se cuenta con un padrón de productores en el municipio de ambas poblaciones y además el número de estos es reducido, ya que por medio de los mismos productores y el comisariado ejidal de cada lugar se realizó el contacto para aplicar las encuestas (Mendieta, 2015).

Los datos obtenidos fueron analizados en Excel a través de estadística descriptiva. Las categorías exploradas de la investigación mediante el cuestionario fueron: manejo del suelo, manejo del agua, productividad, organización de los productores, costos de producción y comercialización.



Resultados y Discusión

Perfil del productor

De acuerdo a los datos obtenidos en los poblados de Xocotitla y Agostillo pertenecientes al municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, se encontró que la edad promedio de los productores es de 61 años, dando a entender que la mayoría de la población pertenece a la tercera edad. Esto se debe a que las generaciones más jóvenes (menos de 30 años), se involucran poco o nulumente en las actividades relacionadas al campo; además, que la mayoría emigra a trabajar fuera del municipio, estado e incluso país, en actividades como comercio, industria, entre otros.

Su escolaridad promedio es de 5.2 años, que los sitúa que tuvieron educación a nivel primaria, la cual es una educación básica, aun así, esto les posibilita comprender procesos y tomar decisiones alrededor del manejo del cultivo. Anteriormente, antes de dedicarse al cultivo del maíz se dedicaban a la producción de jitomate y papaya, pero debido a cuestiones relacionadas a los costos producción lo abandonaron, también una pequeña parte se dedica a la ganadería o mezcla esta actividad con la agricultura (40%).

En estos poblados el 100% de los productores mencionan que ejercen la producción como personas físicas y su propiedad es privada; por lo tanto, ellos son dueños de los terrenos o parcelas donde se realiza la actividad, por lo tanto, no pagan renta por el uso de la tierra y sus propiedades tienen registros legales, lo que les da seguridad de utilizarla como crean conveniente y tener mayor libertad en cuanto al manejo del cultivo. En cuanto a la superficie cultivada se observó que los productores de Xocotitla y Angostillo cultivan una extensión de terreno promedio de 5.8 y 5.9 ha respectivamente; es decir, que son considerados pequeños productores, ya que la extensión de terreno es aproximadamente de 5 ha (FAO, 2013) y cuyo destino de producción es principalmente a la comercialización, y solo una pequeña parte (10-20%) se emplea para consumo propio (Palafox, *et al.*, 2013).

Manejo del cultivo

El maíz que se siembra es de tipo híbrido obtenidos de un proveedor a nivel regional (65.6%), mientras que una minoría siembra de nuevo a partir del maíz que obtuvo en la cosecha pasada. Se practica una agricultura de temporal, por lo cual carecen de infraestructura de riego, donde la época de siembra puede variar de mayo a julio, dependiendo del inicio de la época de lluvia, por lo que también la época de cosecha varía.



En cuanto al manejo agronómico del cultivo se incluyen actividades tales la preparación del suelo, la siembra, labores culturales, aplicación de fertilizantes y pesticidas, y otras prácticas que el productor lleva a cabo durante el ciclo del cultivo (Palafox *et al.*, 2013). En este sentido, el 100% de los productores realiza la preparación del terreno de forma mecanizada, es decir, que usan un tractor para pasar la rastra por el suelo y realizar los surcos de siembra (80 cm de distancia entre surcos). En cuanto a las labores culturales y de siembra del cultivo, el 100% de los productores realiza la siembra de manera manual y aplican al menos una vez fertilizantes y plaguicidas para combatir las plagas que atacan el cultivo.

En cuanto a la preparación del grano, el 100% de los productores le da un tratamiento aplicando Semevin antes de sembrarla. El grano es sembrado en el terreno después de las primeras tres lluvias de la temporada para que el suelo este humedecido y favorezca la aparición del brote de maíz. A los tres días que se sembró el grano y con el pasto crecido (20 cm de altura aproximadamente), se aplica herbicida para eliminar las malezas que podrían afectar en el desarrollo del maíz. En este sentido, los productores aplican FAENA (50%) o Gramocil (50%), siendo el primero de mayor efectividad que el segundo. Para el caso de maleza de hoja angosta se aplica SANSON y para hojas anchas Fito Amina. Aproximadamente ocho semanas después de que se sembró el grano inicia la floración de la planta. En esta época es cuando el 100% de los productores hace la aplicación de urea, empleando 300 kg/ha. En cuanto a las plagas que atacan el cultivo se encuentran el gusano cogollero y gusano barrenador; y para combatirlo el productor aplica DENIM al 0.05% (benzoato de 4 “-epi-metilamino-4“-desoxiavermectina B1), empleando 200 L/ha (empleando 100 mL en 200 L de agua).

Productividad

Por otra parte, en cuanto a los parámetros de producción de maíz el rendimiento promedio fue de 3.1 t/ha y 3.4 t/ha en Angostillo y Xocotitla respectivamente, mientras que la densidad de siembra es aproximadamente de 41 625 plantas/ha. Estos rendimientos son ligeramente superiores a comunidades pertenecientes a Tierra Blanca, Veracruz, donde los rendimientos más bajos son de 1.26 t/ha (Jaramilo *et al.*, 2018), mientras que en otros estados y ciudades como Iguala y el Valle Toluca-Atlacomulco con rendimientos de 2.7 t/ha (Ocampo, *et al.*, 2007) y 4.2 t/ha (Pérez, *et al.*, 2007) respectivamente.

Mientras que en los cultivos donde se usa algún tipo de riego como tecnología, los rendimientos son mayores, mostrándose valores de 2.3 t/ha y 9.0 t/ha en las ciudades mencionadas respectivamente. Esta variación en el rendimiento de producción por el tipo de riego usado puede estar dado en función del



nivel de erosión de la tierra, debido a que, al haber más presencia de agua en el cultivo, la distribución y captación de nutrientes mejora, por lo tanto, el desarrollo de la planta se ve optimizado.

Además, otros factores como el clima, temperatura, tipo de suelo y prácticas realizadas al cultivo pueden afectar en el rendimiento. De igual forma, otros factores que podría influir en el rendimiento serían el tamaño y peso de la mazorca. Ya que, de acuerdo a datos recabados, el peso de las mazorcas fue de 150-220 g, mientras que el largo de mazorca fue de 20 cm de largo y 5 cm de ancho. Estos valores son mayores a los reportados por Espinosa *et al.*, (2013) donde las mazorcas de la Costa Chica de Guerrero tenían una longitud de 11.5 a 13.8 cm. De igual manera Ramírez *et al.*, (2020) encontraron que los pesos de las mazorcas de esa misma zona tenían pesos que iban de los 133.8 a 139.73 g.

Costos de producción

Los costos de producción no presentan muchas variaciones considerables entre productores. En el caso de ambas comunidades, el 100% obtienen sus insumos agrícolas de proveedores regionales, ya que en los poblados no hay tiendas que vendan estos productos. En ambos poblados los insumos comprados son usados para mejorar los rendimientos, la calidad del grano y por recomendación entre los mismos productores. Los costos de producción van desde los MN \$12 000.00 hasta los MN \$14 5000.00 por hectárea, encontrándose estas diferencias debido al lugar donde obtiene estos insumos.

Además de los insumos requeridos, se usa mano de obra externa usada en la época de cosecha y algunas ocasiones en la época de siembra. Ya que en este periodo cada productor contrata un promedio de cinco jornales, dependiendo también de la extensión de terreno, ya que algunos usan hasta 10 jornales, recibiendo cada jornal un pago de MN \$300.00 al día, en promedio, durante el tiempo que dura la cosecha, que puede ser hasta de cinco días aproximadamente, ya que la cosecha de la mazorca no es difícil.

Comercialización del grano

Después de cosechar las mazorcas estas se ponen a secar al sol para luego ser desgranadas. El grano obtenido es almacenado en costales de plástico o yute para su comercialización. También, se podría almacenar el maíz en tambos metálicos o almacenes, pero los productores no cuentan con este tipo de tecnología (Hernández y Carballo, 2007).

El grano puede ser usado como alimento para ganado y también puede ser consumido por el humano en forma de elote; o una vez nixtamalizado, como tortillas y una amplia diversidad de presentaciones. Se puede transformar industrialmente en productos de mayor valor agregado como almidón, glucosa,



fructosa, biopolímeros, entre otros (Sánchez, 2016). En el caso de los productores, solo guardan una pequeña parte de la producción para autoconsumo y la mayoría es comercializada o vendida.

En la comercialización del maíz existen diversos tipos de agentes e intermediarios que se dedican a la venta de productos, entre los que se encuentran mayoristas, acopiadores y minoristas. Los mayoristas son aquellos agentes de comercialización que manejan grandes cantidades (toneladas) de productos, incluye un gran número de agentes con características muy variadas, según el producto y el lugar. También se encuentran los acopiadores (mayorista secundario), quienes compran el producto directamente a los agricultores; generalmente reúnen pequeños volúmenes (10-50 t) y los transportan a los centros de consumo o transformación, estos pueden trabajar con algún mayorista o procesador. Finalmente se encuentran los minoristas (abarroteros, fruteros, entre otros), cuya característica es vender al por menor al consumidor, siendo el único intermediario (Rodríguez, 2000).

En el caso de los poblados de estudio, la producción de maíz es comercializada o vendida a un intermediario (acopiador), y este acopiador vende la producción a empresas u otros compradores que se llevan el grano al extranjero. En ambas regiones los productores mencionan que el precio en el que el acopiador compra el grano es bajo, recibiendo \$7.20 MN/kg y \$6.50 MN/kg en Xocotitla y Angostillo respectivamente, mientras que el acopiador vende a un precio de \$9.70 MN/kg, lo cual quiere decir que el productor está perdiendo de MN \$1.50 y MN \$3.20 por kilo respectivamente.

Entre el 70-80% de los productores considera que el cultivo es redituable ya que genera algún beneficio, aunque consideran que el pago que reciben no es justo, lo cual se debe principalmente a que argumentan que los costos de producción son elevados y por tanto la ganancia es reducida. También indican que el gobierno debería de ayudar al desarrollo del cultivo en la región, ya que no reciben ningún tipo de apoyo, carecen de infraestructura (transporte, empacadoras, contenedores de almacenaje) y su comercialización es limitada al ser una zona marginada.

Conclusiones

La principal actividad productiva es el cultivo del maíz, con un promedio de 5.8 ha cultivadas y un rendimiento de 3.1 t/ha y 3.4 t/ha en Angostillo y Xocotitla respectivamente.

La tenencia de la tierra en la mayoría de los productores es de tipo ejidal, los cultivos se realizan bajo condiciones de temporal variando la temporada ideal de mayo a julio. El agua, las plagas, falta de



apoyo por parte del gobierno y mal manejo del cultivo son los factores limitantes que afectan la producción.

Es recomendable actualizar el conocimiento sobre el manejo del cultivo o buscar nuevas alternativas que sean más eficaces a las que se emplea en las poblaciones de estudio, buscando causar el menor impacto ecológico posible; asimismo, es de vital importancia adoptar nuevas tecnologías para el riego del cultivo y el almacenaje del grano.

De igual manera también es importante que el gobierno apoye a los productores de Xocotitla y Angostillo con programas gubernamentales y les brinde asistencia técnica, además de garantizar un precio justo de venta para el productor.

Literatura Citada

Arnberger, A., Eder, R. 2011. Exploring the heterogeneity of rural landscape preferences: an image-based latent class approach. *Landscape Research*. 36:19-40.

Eakin, H., *et al.* 2014. Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. *Development and Change*. 45:133-155.

Erb, K. H., *et al.* 2009. Analyzing the global human appropriation of net primary production-processes, trajectories, implications. An introduction. *Ecological Economics*. 69:250-259.

Espinosa, C. A., *et al.* 2013. Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para valles altos de México. *Agron. Mesoam.* 24(1):93-99.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Agricultores pequeños y familiares. Vías de la sostenibilidad*. 21-24.

Fischer, J., *et al.* 2015. Advancing sustainability through mainstreaming a social- ecological systems perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 14:144-149.



- Hernández, J. A. y Carballo, A. 2007. Almacenamiento y conservación de granos y semillas. *Sistemas de Agronegocios Agrícolas*. SAGARPA. 14:1-8.
- Jaramillo, A. J. G., *et al.* 2018. Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 9(5):911-923.
- Lambin, E. F., *et al.* 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*. 11:261-269.
- Lambin, E. F. and Meyfroidt, P. 2010. Land use transitions: socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*. 27:108-118.
- Maya, J. B. y Ramírez, J. L. 2002. Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 4(25):333-338.
- Mendieta, I. G. 2015. Informantes y muestreo en investigación cualitativa. *Revistas Investigaciones Andina*. 30(17):1148-1150.
- Njoka, E. M., Muraya, M. M. and Okumo, M. 2005. Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays*) grain and fodder yield. *Austr. J. Exp. Agric.* 44(12):1215-1219.
- Ocampo, P. M., *et al.* 2007. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamericana*. 25:399-408.
- Palafox, A., *et al.* 2013. Comportamientos Agronómicos de Híbridos y variedades de maíz validados en la región tropical de Veracruz manual para la producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. 113 p. In. *tópicos selectos en agronomía tropical*. Veracruz, México.
- Pérez, L. D. J., Rodríguez, P. J. E., Vázquez, G. L. M., González, H. A., Sahagún, C. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México*. enero-abril. 33-42.



- Ramírez, R. O., *et al.* 2020. Calidad de mazorca y grano en maíces criollos de la Costa Chica, Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 24:239-246.
- Rodríguez, C. A. M. 2000. Análisis estratégico de la comercialización de litchi (*Litchi chinensis*) en México. Universidad Autónoma Antonio Narro (UAAAN). División de Ciencias Socioeconómicas. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 57 p.
- Sánchez-Rodríguez, G. 2016. Historia, usos y futuro del mayor invento mesoamericano: el maíz. *Culinaria. UAEMex*. 12:22-38.
- Sangoi, L. 2001. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural*. 31(1):159-168.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Producción maíz grano. Infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp. [consultado el 4 de septiembre de 2021].
- Tinoco, A. C. A., *et al.* 2002. Manual para la Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. Libro Técnico Núm. 9. Campo Experimental Papaloapan. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 113 p.



TIPIFICACIÓN DE PRODUCTORES DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN LA REGIÓN DE MAZOCO, ISLA, VERACRUZ

Francisco Javier Alfonso Estrada³²¹, Noel Reyes Pérez^{321*}, Marycruz Abato Zárate³²¹ y Doris Guadalupe Castillo Rocha³²¹

Resumen

Una de las principales actividades del sector rural en la zona de Mazoco, municipio de Isla, Veracruz, es la producción de maíz debido a la importancia económica y social que tiene. Mazoco comprende al propio Mazoco y a las localidades de Benito Juárez, Garza blanca, Palma de Oro y Leyes de Reforma, cuyas poblaciones están geográficamente fusionadas con la zona productora a sus alrededores. En esta región se contabilizan 500 productores que siembran aproximadamente 2,266 ha con maíz. La tipificación de productores es una herramienta esencial para la conducción de proyectos de desarrollo de zonas productoras. El objetivo del presente trabajo fue tipificar a los productores de maíz, sus unidades de producción, así como su agroecosistema para lo que se usó una encuesta estructurada, en algunos casos aplicada vía electrónica y en otros de manera personal. Se encontró que entre las principales variedades de maíz empleadas destacan la variedad Pioneer y Dekalb. Los principales factores que influyen en el cultivo son: sequías, la deficiencia de algunos nutrientes esenciales, problemas de plagas, incluyendo algunas malezas. La edad promedio de los productores es 44 años, donde algunos llegan a los 78 años y el más joven es de 22 años; solo un 25% son mujeres, sin embargo, es una de proporciones de mujeres productoras más altas encontradas en estudios como este. El 69.23% solo se dedica al cultivo de maíz y el 30.77% siembra al menos un cultivo extra al maíz. Un alto porcentaje piensan que se requieren mayores apoyos de gobierno para solventar problemas como la sequía, e implementar sistemas más tecnificados. Se puede inducir que por su baja edad promedio y nivel escolar alto en relación con otras regiones de productores de maíz, entre otras características de los productores y de sus sistemas de producción, que los productores de Mazoco forman un grupo abierto de manera general para aceptar nuevas tecnologías de cultivo.

Palabras clave: sistemas de producción, tecnificación, variedades

³²¹ *Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Xalapa. noreyes@uv.mx



Introducción

La tipología de productores es una herramienta metodológica que tiene como propósito sintetizar una serie de características, a fin de formar grupos o tipos. Los tipos deberán ser claramente diferenciales entre sí, como lo señala Rodríguez J. citado por Gabriel (2003) ellos se distinguen de acuerdo con los principios de analogía, homogeneidad, pertenencia a un mismo tipo repetitividad y, existencia de diferentes entornos ambientales. En este sentido, Romero (1986) señala que, la tipología de productores es una herramienta metodológica, que además de ayudar a sistematizar las variantes tecnológicas de la agricultura, permite conocer cómo se estructura la producción agrícola en su conjunto. Conocer las características de un grupo de productores permite favorece un mejor enfoque en el proceso de solución de problemas productivas.

El maíz es sembrado prácticamente en todas las regiones del país, en el norte su producción suele ser tecnificada y en grandes superficies, en tanto en la zona centro y sur, más específicamente el sureste del país, la producción suele ser de subsistencia y en superficies limitadas por la capacidad del productor para hacer las labores de cultivo con mano de obra propia y familiar. En el caso de la región de Mazoco, la producción del cultivo del maíz no es tan tecnificado como en el norte del país, sin embargo, en un alto porcentaje de productores, si la consideran una actividad económica rentable, incluso rentan terrenos para siembra.

Obtener y analizar información sobre los productores, sus parcelas y sus sistemas de producción y sistematizarla, es útil en la toma de decisiones encaminadas al desarrollo de agrícola de esta zona, pues nos da a conocer problemas que enfrentan los productores y a caracterizarlos para poder enfocar los esfuerzos para solucionar problemas del agroecosistema considerando su edad, situación económica y escolaridad entre otras características.

Materiales y Métodos

Este trabajo se realizó en la región de Mazoco la cual comprende además del propio Mazoco, a las localidades de Benito Juárez, Garza blanca, Palma de Oro y Leyes de Reforma, municipio de Cd. Isla ubicados en las coordenadas: latitud Norte 18.066111°, longitud Oeste 95.613333°, tiene un total de aproximadamente 1,800 habitantes en total de las 5 localidades mencionadas, las cuales están



prácticamente unidas en sus asentamientos humanos con sus zonas productoras en los alrededores. Para obtener el tamaño de muestra se utilizó la página Questionpro, especializada en el cálculo de tamaños de muestra de encuestas (<https://www.questionpro.com/es/calculadora-de-muestra.html>).

El universo se tomó en 500 productores en la región; sin embargo, como en otros cultivos no perennes, este número varía en cada temporada, ya que algunos productores dejan de sembrar y migran y también se suman nuevos productores. El nivel de margen de error que se tuvo que fue de 10%, con una confiabilidad del 95%, igual a lo propuesto por Rosales *et al.* (2018), tal nivel de confiabilidad lo hace válido para este tipo de encuestas, por lo que las inferencias a partir de los datos obtenidos en este trabajo son válidas. Para mayores datos se puede recurrir a la dirección electrónica proporcionada arriba, donde se explica la fórmula utilizada, así como su justificación. Acorde al tamaño de muestra se realizaron 80 encuestas a través de formularios, algunos fueron enviados por vía electrónica a los productores y la mayor otra parte se hizo de manera presencial en sus casas ya que estos productores no tienen acceso a internet o no contaban con dispositivo celular adecuado.

La encuesta está compuesta de la siguiente manera: Apartado 1. información sobre el productor; Apartado 2. Problemáticas que enfrenta la producción de maíz y Apartado 3. De la unidad productiva. Las respuestas de las encuestas fueron bajadas de la base en formato Excel de Microsoft®, se le agregaron las respuestas obtenidas en entrevistas personales y fueron analizadas y graficadas con funciones básicas del citado software. En el caso de la pregunta abierta, las repuestas fueron analizadas individualmente y agrupadas en 8 tipos de respuesta, se obtuvo su frecuencia y porcentaje.

Resultados y Discusión

Información sobre el productor

El 25% de los productores entrevistados son de sexo femenino, prevaleciendo el sexo masculino con un 75% de la población. Es notorio que pocos estudios mencionan la participación de la mujer como responsable de la unidad productiva, de los pocos que lo hacen Rosales, *et al.* (2018), encontró un 15% de productoras (sexo femenino) en café en el municipio de Fortín en Veracruz. Este mayor porcentaje de participación femenina en la toma de decisiones en la producción es resultado de la migración de varones al norte del país o a Estados Unidos de América, pero también de mujeres que toman directamente esa responsabilidad.



La edad promedio de los productores es 44 años, el productor más joven tuvo 22 años y el más longevo 78. Además, el 15% de los encuestados reciben apoyo de adulto mayor y el 85% aun no llegan a los 60 por lo tanto no reciben ese apoyo. Lo anterior contrasta con lo encontrado por González *et al.*, (2018) en productores de maíz de Chiapas (municipios de Villaflores y Trinitaria), donde la mayor parte de ellos se encuentra entre 61 y 70 años.

En cuanto a la escolaridad, indicaron que el 32% estudiaron la primaria, la secundaria el 24.67%, el 22.07% preparatoria y el 20.77% tienen una carrera profesional, obteniendo así también que la media de escolaridad es de 10 años formales; es decir, primero de preparatoria en promedio. Damián, *et al.*, (2007), en un estudio sobre la adopción de nuevas tecnologías por parte de productores de maíz de Tlaxcala, menciona que a mayor nivel de estudios y menor edad de los productores, muestran más apertura a adquirir y aplicar nuevas tecnologías de producción, siendo importante rescatar la experiencia de los que más tiempo llevan en la producción. Cabe mencionar que varios jóvenes egresados de la Universidad Veracruzana de diferentes carreras, originarios de esta región han regresado a producir maíz, lo que incrementa el nivel educativo y cuya economía no siempre depende totalmente del maíz.

El 69.23% solo se dedica al cultivo de maíz y el 30.77% siembra al menos un cultivo extra al maíz, destacando piña, sandía y caña de azúcar. La experiencia en años en el campo sembrando maíz de estos productores, es en promedio de 17.5 años, el productor con menos experiencia es de 1 año y 58 años el productor con mayor experiencia.

En cuanto a la razón por la cual se dedica a la agricultura, el 25% afirma que se dedica a la agricultura por tradición familiar, el 35% dijo que no hubo otra alternativa para subsistir por lo que optaron por esta actividad y el 38% dijo que fue la mejor opción para el sustento de sus hogares.

Por otra parte, en cuanto a la economía del productor, el 44.87% dependen únicamente de la agricultura, el 28.20% obtiene recursos principales de otra fuente fuera del campo siendo la agricultura complementaria y el 26.92% obtiene sus recursos principalmente de la agricultura, pero también tiene otra fuente alterna fuera de esta. Santos *et al.*, (2014), en un estudio de productores agrícolas y pecuarios en Texcoco, Estado de México, mencionan la pluriactividad campesina, es decir, que el núcleo familiar se dedica a más de un sistema productivo, y encuentran que en el caso de los productores de subsistencia, más del 56% sus actividades están ligadas a la productividad agrícola, y esta es la base para la toma de decisiones del núcleo familiar.



En cuanto, a cuantas personas dependen de su economía aparte del productor, el resultado es que en promedio 3 personas, lo que coincide y se ajusta a un promedio de hijos totales de 2 por familia, siendo estos generalmente un hombre y una mujer.

Problemáticas que enfrenta la producción de maíz

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, Lepidoptera: Noctuidae), es la plaga más relevante en la zona de Mazoco según lo señalado por los productores, existen otras, pero no son tan relevantes como esta, durante el crecimiento vegetativo del maíz, las larvas se alimentan de las hojas: cuando las orugas son chicas suelen tener comportamiento de trozadoras y cuando pasan a instares más grandes tienen hábito de defoliadoras. Otras plagas que afectan directamente el crecimiento de la planta de maíz son las malezas, algunos nematodos, y la presencia de pulgones y unos días antes después de la siembra se puede presentar el ratón.

Para el control de dichas plagas los productores mencionaron diferentes plaguicidas utilizados durante su ciclo de producción. Todos utilizaron al menos algún plaguicida en menor o mayor grado, es por esto, que se preguntó cuál plaguicida es el que utiliza con más frecuencia, según las respuestas el 57.69% utilizan insecticidas con mayor cantidad, el 24.35% utiliza más herbicidas, el 16.66% utiliza fungicidas y solamente el 1.28% utiliza acaricidas. En respuesta a la aplicación de estos químicos el 9.09% respondieron a que la aplicación es muy efectiva, el 74.02% es efectivo, el 15.58% de la población dijo que es medianamente efectivo y solamente el 1.29% respondió que usar estos químicos es poco efectivo.

Por otro lado, se cuestionó al productor si aparte de utilizar agroquímicos conocía otra manera de controlar plagas, obteniéndose el 20% de los encuestados conocen otros métodos de control, ya sea poda, control biológico y uso materia orgánica, pero mencionaron que para ellos no es viable usar estos métodos a gran escala, ya que implica más tiempo de trabajo, su efecto es más lento por lo que recurren poco a estos métodos. Las sequías e inundaciones, el costo elevado de la renta de tierras, falta de subsidios por parte del gobierno, problemas de nutrientes en el suelo y el incremento reciente de costos de fertilizantes, son problemas también mencionados.

De la unidad productiva

El tamaño de la superficie sembrada en esta localidad vario de 1 a 20 hectáreas sembradas, considerando el tamaño de la de la superficie sembrada por los productores encuestados, tenemos que el 78.20% siembran menos de 10 ha y el resto 21.78% siembra por arriba de las 10 hectáreas. En la Cuadro 1 se muestra más específicamente.



Cuadro 1. Porcentaje de productores y su relación con la superficie sembrada.

Superficie que siembra	% de productores que la siembra
Menos de 1 ha	6.42%
De 1 a 5 ha	44.87%
De 6 a 10 ha	26.92%
De 11 a 15 ha	10.25%
De 16 a 20 ha	7.69%
Más de 20 ha	3.85%

Entre los sistemas de producción se encontró que el 89% de la población realiza su siembra mediante condiciones de temporal y el resto utilizan algún sistema además del temporal. Por otro lado, la forma en la que los productores realizaron su siembra fue: 36.36% de la población mediante maquinaria (tractor), el 11.68% la realizó manualmente mediante espeques (productores que siembran al menos 1 hectárea) y el 51.94% realizó la siembra mediante la combinación de las anteriores.

El ciclo de producción con mayor siembra fue en otoño-invierno con un 60.25% ya que en la mayor parte de los terrenos son bajos por lo que sembrar en el otro ciclo tendrían problemas de inundaciones, el 21.79% de la población cuenta con terrenos muy altos por lo que no es problema para ellos sembrar en el ciclo primavera-verano y el resto cuentan con terrenos tanto en zonas bajas como altas por lo que aprovechan para realizar dos siembras al año. De acuerdo con la fecha de siembra se obtuvieron resultados que en el ciclo de otoño-invierno se obtuvieron los mejores rendimientos con un promedio de 5 a 7 t/ha, de lo cual estos sembraron a principios de noviembre y diciembre, los que sembraron primavera verano se determinó que sembraron en marzo y abril.

Uno de los datos importantes es el uso de semillas en donde la variedad híbrida presentó mejores resultados en cuanto al rendimiento que fue de 4 a 7 t/ha, dentro de estas variedades comerciales utilizadas destacan las variedades de Pioneer y Dekalb; donde aproximadamente el 85% de la población utiliza estas variedades para su producción y el resto utiliza al menos una de estas ya mencionadas y semilla criolla. González *et al.*, (2018), encontraron entre sus tres tipos de productores en Chiapas, rendimientos que van de 1.1 a 3 t/ha, lo que está por debajo de los rendimientos encontrados en este trabajo. Los datos de rendimiento informados por los productores por ciclo de producción se muestran en la siguiente Cuadro 2.



Cuadro 2. Rendimientos promedio declarados por los productores por ciclo de producción.

Ciclo de producción	Rendimiento promedio en t/ha
Otoño- Invierno	De 5 a 7 t/ha
Primavera-verano	De 4 a 6 t/ha
Ambos ciclos	De 2 a 4 t/ha

El porcentaje del uso de diferentes variedades de semillas comerciales, así como las criollas, se muestra en la Cuadro 3. Cabe mencionar que se muestran los nombres de las compañías y no las variedades en específico respetando como las mencionaron los productores.

Cuadro 3. Variedades que usan los productores de la región de Mazoco.

Variedad o variedades	Porcentaje de productores que las usan
Pioneer	19.18%
Pioneer, Dekalb y criolla	6.84%
Pioneer, Dekalb y Mater	2.74%
Pioneer y Dekalb	34.25%
Dekalb	30.14%
Mater	4.11%
Criolla	2.74%

Los productores mencionan su preferencia por las variedades comerciales mencionadas principalmente por sus rendimientos y por considerarlas adecuadas para las condiciones de la región, aunque reconocen que es una inversión considerable ya que su costo es bastante alto.

El tipo de financiamiento que utilizaron fue 53.33% mediante préstamos de bancos, el 44% utiliza sus mismos recursos para realizar su siembra y el resto utiliza otro que prefirieron no especificar. En lo que respecta a seguros contra afectaciones por desastres naturales el 60.25% de los productores contó con un seguro agrícola y el 39.75% no contó con un seguro, esta información se especifica en la Cuadro 4.



Cuadro 4. Porcentaje de productores y seguros agrícolas que utilizan.

Seguro	Porcentaje de productores
Bienestar local	21.75%
FONCOSPA	30.76%
RIAN	7.74%
No cuentan con ningún tipo de seguro	39.75%

En cuanto a la pregunta ¿Qué tan redituable es sembrar maíz en tu región?, en la Figura 1 se muestran los porcentajes de productores y sus respuestas.

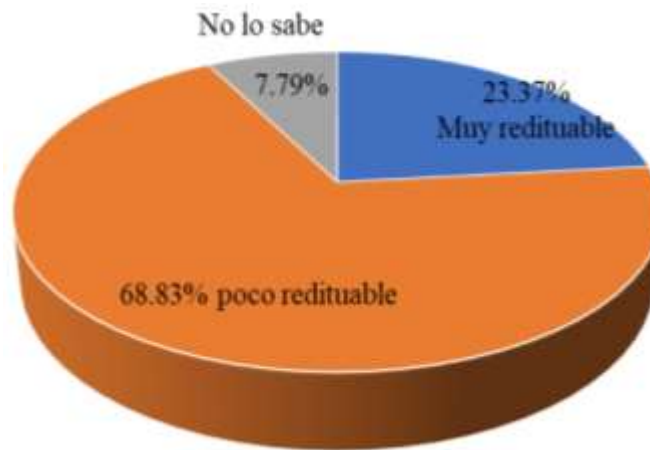


Figura 1. Respuestas a la pregunta de ¿Qué tan redituable es sembrar maíz en tu región?

Por otra parte, se determinó el destino de su producción, donde el 37.17% de los productores dijo que su producción es para venta regional y local, solo el 2.56% afirmó que la usa para autoconsumo, y el resto de los productores menciona que es para ambos fines. Contrastando con lo encontrado por Santos *et al.*, (2014), que encuentra en Texcoco un amplio sector de los productores son considerados de subsistencia y prácticamente solo producen para autoconsumo.

En cuanto a la pregunta: desde su punto de vista, ¿Qué se necesita para que mejore la situación actual de su cultivo?, Las respuestas se agruparon por afinidad, lo que se muestra en la Cuadro 5.

Puede notarse que casi el 34% piensan que se necesita apoyo del gobierno en cuanto a programas, asesoría, subsidios, etc., otro porcentaje similar (casi 34%), piensan que es necesario que bajen los costos de los insumos agrícolas o que suba el costo de venta de la cosecha.



Cuadro 5. Frecuencia y porcentajes de la respuesta agrupadas por afinidad de la pregunta abierta ¿Qué se necesita para que mejore la situación actual de su cultivo?

Respuestas	Frecuencia	Porcentaje
Apoyo del gobierno en subsidios, programas, asesoría, etc.	22	33.846
Bajen costos de insumos, mejore precio de maíz y más apoyo gubernamental	4	6.154
Riego, que no haya sequía o que llueva más	10	15.385
Riego y más fertilizantes	1	1.538
Tecnificar más, más abonos, mejorar productos químicos, mejorar semillas, etc.	4	6.154
Bajar recursos de programas	1	1.538
Costos insumos bajen y/o subir costo cosecha	22	33.846
Más tierras cultivables	1	1.538

La necesidad de riego o lluvia ocupa el tercer lugar de estas opiniones. La combinación de opinión, de que bajen los costos de insumos, que mejore el precio del maíz además de apoyos gubernamentales son el cuarto lugar, compartido con la opinión de que es necesario tecnificar más, mejores variedades y productos químicos. Con solo el 1.5% las opiniones de que se necesitan sistemas de riego y fertilizantes aunado a incrementar las tierras cultivables están en último lugar.

Conclusiones

Los productores de maíz de la región de Mazoco cuentan con un nivel alto de escolaridad y un promedio de edad bajo comparado con otros estudios, además de que muchos de ellos usan variedades mejoradas y diversos insumos agrícolas, por lo anterior se consideran un grupo abierto a las innovaciones tecnológicas. Su principal problema fitosanitario es el gusano cogollero, seguida de malezas y pulgones. Presentan problemas como la falta de lluvias, sequías prolongadas y costos de insumos. Pese a tener en promedio una buena productividad, piensan que con apoyos gubernamentales en diversas formas, lograrían mejorarla. Aunque es mucho menos de la mitad, el 25% de los productores son mujeres, lo que muestra el posicionamiento de las mujeres en el campo. Se puede



inducir que esta zona de producción de maíz es apta para aplicar programas de desarrollo rural incluyendo innovaciones tecnológicas.

Agradecimientos

A los productores que amablemente facilitaron la información del presente trabajo de tesis del primer autor.

Literatura Citada

Damián, H. M. A., *et al.* 2007. Adopción de tecnología por productores de maíz en el estado de Tlaxcala, México. *Agric. Téc. Méx.* 33(2):163-173.

Gabriel, M. J. 2003. Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas. Una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico. INE- SEMARNAT. 1era edición: México D.F.

González F. S., *et al.* 2018. Tipología de productores de maíz en los municipios de Villaflores y La Trinitaria, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* Vol. 9 (8):1763-1776.

Romero P. 1986. Diagnóstico de la producción agrícola de la mixteca oaxaqueñas Alta y Baja. Tomo II. Centro regional del sur. México. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Rosales, *et al.* 2018. Aspectos culturales, sociales y productivos para una tipología de cafecultores. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, vol. 15, núm. 1, pp. 47-61, 2018.

Santos C. V. M., *et al.* 2014. Tipología de productores agropecuarios para la orientación de políticas públicas: Aproximación a partir de un estudio de caso en la región Texcoco, Estado de México, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.* Vol. 14 (28): 47-69.



PROPUESTA DE SISTEMA BIOINGENIERIL DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA EL TRATAMIENTO DE NEJAYOTE

Damaris González Rivadeneyra^{322*}, José Luis Marín Muñiz³²², Gonzalo Ortega Pineda³²² y Sergio A. Zamora Castro³²³

Resumen

El agua es parte del desarrollo sostenible, vital para el bienestar y la productividad poblacional. Sin embargo, el crecimiento poblacional ha demandado mayor utilidad del recurso y entre 85 y 95% del agua residual se descarga directamente a ríos, lagos y océanos sin tratamiento previo. En México alrededor de un 30% de las aguas residuales municipales colectadas en el sistema de alcantarillado no reciben ningún tipo de tratamiento. En general las plantas de aguas residuales convencionales son en parte ineficientes y costosas por consumo de electricidad y mantenimiento adecuado para cumplir con las normativas. Por lo anterior, surge la necesidad de implementar estrategias sostenibles y eficientes para tratar las aguas residuales tanto domésticas como industriales. En este contexto, la elaboración de tortillas a partir del maíz requiere un proceso de preparación llamado nixtamalización, lo que conlleva a tener como residuo agua con cal y otros compuestos orgánicos, llamado nejayote. Este es comúnmente vertido sin tratamiento, donde una nixtamalizadora, con capacidad de 600 ton/día, llega a generar entre 1,500 y 2,000 m³ de nejayote diario, evidenciando la gran cantidad de agua utilizada para su procesamiento. De acuerdo con la caracterización fisicoquímica del nejayote, es considerado un contaminante por tener altos niveles de pH (10-14), materia orgánica (2,540 mg/l) sólidos disueltos totales (SDT= 23,000 mg/l) demanda química de oxígeno, (DQO=1,670 a 21,20 mg/l), demanda biológica de oxígeno (DBO₅= 190 a 7,875 mg/l), además de una alta dureza total (180 a 3,260 mg de CaCO₃/l) provenientes del propio maíz, ocasionando agotamiento del oxígeno disuelto en los ecosistemas y un impacto socioambiental, por lo que en este trabajo se propone el uso de Humedales Construidos (HC) por ser una ecotecnología económicamente viable y de fácil operación para tratar el nejayote antes de ser vertido, dichos sistemas representan un enfoque prometedor que brinda una acción dual, al generar subproductos sostenibles como la producción de flores ornamentales y al mismo

³²² *El Colegio de Veracruz. goneyra@outlook.com

³²³ Facultad de Ingeniería, Universidad Veracruzana.



tiempo mejorar la calidad del agua para su reutilización mediante procesos físico-químicos y biológicos.

Palabras clave: humedales, nejayote, PTAR, socioambiental

Introducción

Debido al crecimiento poblacional, existe una mayor demanda en los recursos hídricos, comprender la evolución de cómo los humanos han interactuado con el agua es importante para guiar las innovaciones futuras en torno a la gestión del agua, por ende, la adaptación a los cambios ambientales se ha reconocido como parte fundamental para la supervivencia de los asentamientos humanos a lo largo del tiempo (Kaushal *et al.*, 2015). Los principales problemas ambientales, económicos y sociales, evidencian que no se han logrado satisfacer las necesidades de supervivencia de una parte considerable de la población mundial, el deterioro del medio ambiente ha llegado a tal punto que muchos fenómenos tienen un carácter irreversible y los problemas sociales lejos de resolverse, se han agudizado (Morales, 2006). Derivado de las distintas actividades productivas, los humanos ejercen una presión importante sobre el medio natural, ya sea de forma directa o indirecta, una afectación importante sobre el agua es que la producción y el consumo de bienes y servicios, no solo han traído consigo una mayor demanda del vital líquido, sino también una mayor generación de aguas residuales. El agua es indispensable en la vida, considerada como renovable, siempre y cuando se tenga un consumo controlado y racional, fomentando el tratamiento y saneamiento (CONAGUA, 2020 y 2021). Actualmente se estima que a nivel mundial entre 85 y 95% del agua residual se descarga directamente a los ríos, lagos y océanos sin recibir tratamiento previo, en México alrededor de un 30% de las aguas residuales municipales colectadas en el sistema de alcantarillado no reciben ningún tipo de tratamiento (CONAGUA, 2020), lo que trae consigo consecuencias negativas en muchos ecosistemas dulceacuícolas y marinos, mostrando signos evidentes de degradación, con lo cual, se han reducido en cantidad y calidad los servicios ambientales que estos brindan, de igual forma se han perdido en algunos casos de manera irremediable su biodiversidad (UNESCO, 2017)(SEMARNAT, 2022). Paralelamente, la contaminación de las aguas superficiales y de los acuíferos reduce la disponibilidad inmediata del líquido, requiriéndose procesos y cuantiosas inversiones económicas para su tratamiento y potabilización. Ante este escenario el manejo



de agua en el mundo y en México representa uno de los retos más importantes, ya que los efectos negativos de la contaminación del agua también representan un riesgo para la salud humana y los ecosistemas que sostienen la vida en nuestro planeta (SEMARNAT, 2022). La cobertura nacional de alcantarillado en México es de 90.2%, en zonas urbanas la cobertura es de 96.4% y en zonas rurales la cobertura es de 69.4%, sin embargo, no todas reciben un tratamiento previo, debido a esto se despliegan mayores problemas de disposición de aguas residuales y de su respectivo tratamiento (CONAGUA, 2020). Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ofrecen un sistema de saneamiento adecuado de las aguas negras y grises para que puedan ser reutilizadas o depositadas al ambiente sin dañarlo. La inversión de una PTAR es costosa, requieren de grandes cantidades de energía eléctrica, de tal manera que dejan de ser rentables, algunas de ellas han sido abandonadas, formando basureros y alterando el paisaje de la zona (CBR, 2023). En México existen alternativas ecológicamente viables para el procesamiento de las aguas residuales donde se utilizan filtros biológicos, entre ellos se encuentran los humedales construidos (HC) (Mitsch y Gosselink, 2015). Al cierre de la evaluación del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación de México 2020-2021 (CONAGUA, 2021), se reportó que el registro de plantas en operación en el país aumentó a 2,872, correspondiente al 0.7% con respecto al año 2020 con un caudal tratado de 145,341 l/s alcanzando una cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales municipales colectadas del 67.5% (NUMERAGUA, 2022). CONAGUA (2021) registró que en el estado de Veracruz existen 106 plantas convencionales en operación, donde se destacan tratamientos utilizando procesos de lodos activados, R.A.F.A, lagunas de estabilización y tanques sépticos, pero ninguno mediante humedales, sin embargo, existen 230 plantas de HC en México tratando un caudal de 713.64 l/s, lo que equivale al 0.49% del caudal tratado en el país con estos sistemas. Los HC se han implementado en algunos estados, por mencionar algunos: Sinaloa (120 plantas), Oaxaca (35 plantas), Chihuahua (24 plantas), Tabasco (11 plantas) (CONAGUA, 2021), en el caso del estado de Veracruz a pesar de que existen algunas implementaciones experimentales locales y municipales (RTV, 2023)(Marín *et al.*, 2021)(Sandoval, 2020), no existen investigaciones que atiendan problemáticas de descargas industriales, ya que en este sector algunas microempresas aún no implementan tratamiento para sus descargas residuales. En el año 2019 la industria trató 89.77% de aguas residuales en 3,531 plantas en operación a escala nacional, mientras que en el año 2020 el caudal tratado y el número de plantas disminuyeron a 71.67 m³/s y 3,307 respectivamente, siendo estos los datos más actualizados, de acuerdo con el NUMERAGUA (2022) se



incrementó el volumen de agua para la industria autoabastecida del 2012 al 2021 y por ende su volumen de descarga. Por lo anterior señalado, surge la necesidad de implementar y desarrollar estrategias sostenibles y eficientes para el tratamiento de las aguas residuales de las que se producen tanto a nivel doméstico, como las procedentes de procesos industriales, las cuales son un gran problema ambiental al ser vertidas directamente a otros cuerpos de agua o a cielo abierto sin ningún tratamiento previo (SEMARNAT, 2022). En general las plantas de aguas residuales son ineficientes y están deteriorándose, son grandes consumidoras de electricidad y no cuentan con el mantenimiento adecuado para dar cumplimiento a las normativas, es necesario trabajar en conjunto con la población local para identificar las necesidades (CONAGUA, 2020) y generar las posibles respuestas de atención con el fin de lograr un desarrollo local sostenible. En el 2015, en la Organización de Naciones Unidas, constituida por más de 150 líderes mundiales, se establecieron los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como parte de la Agenda 2030. Dichos ODS son parte de un plan de acción mundial. Los 17 ODS abarcan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica, ambiental, y todos ellos derivan de problemáticas detectadas globalmente. De acuerdo con Bonfil *et al.*, (2009) el Desarrollo Local Sostenible (DLS) es el proceso endógeno de transformación con cambios progresivos en la calidad de vida del ser humano y de las localidades fundamentadas en una estrategia de desarrollo local para lograr una efectiva participación de su población en la solución de los problemas, abordando de forma equilibrada e integrada, el crecimiento económico con equidad social y ambiental. Por tales motivos, el estudio del tratamiento del agua residual bajo los principios del enfoque teórico del DLS permite conocer las características del caso de estudio con un acercamiento mejor a la realidad, pues considera los diversos elementos sociales, culturales, tecnológicos, políticos-administrativos y económicos que la compone, además, comprende dos aspectos esenciales para un desarrollo equitativo, la visión territorial y la sostenibilidad para el saneamiento de estas aguas (Díaz *et al.*, 2012). Las experiencias en el tratamiento de aguas residuales han mostrado que el éxito de la remoción no se debe exclusivamente a la disponibilidad de las técnicas, por sí mismas, sino a la interacción de estos aspectos que comprende un territorio, en este sentido el enfoque del DLS es un instrumento teórico apto para aproximarse al estudio de dicha realidad (Alvarado, 2012). Hasta la fecha, se han realizado muchos esfuerzos documentando mejoras en los diferentes indicadores del desarrollo sostenible, pero aún queda mucho trabajo por hacer. Particularmente, en el 2022 se reportó que en México sólo el 51.7% del agua es tratada de una manera segura y esto está fuertemente relacionado con la falta de prácticas sostenibles para la recuperación de este importante recurso (Atunes *et al.*, 2023) (CEPAL, 2022). En



consecuencia, es muy necesario el desarrollo de soluciones sostenibles para la atención a esta problemática. Desde el punto de vista de Morales (2006) el desequilibrio hombre-naturaleza, a escala global y local, exige fortalecer la capacidad de las localidades en la implantación de estrategias que permitan aproximarse a territorios más sostenibles. En este contexto, la ecotecnología basada en HC representa un enfoque prometedor que brinda una acción dual, al generar subproductos sostenibles como la producción de flores ornamentales y al mismo tiempo mejorar la calidad del agua. La descarga de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias sin tratamiento provocan la contaminación de los cuerpos superficiales y subterráneos, poniendo en riesgo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas (CONAGUA, 2020). Por otro lado, las aguas producidas a nivel nacional incluyendo a las industrias, en el 2022 generaron 10.61 millones de toneladas de DBO₅ al año, siendo estas las que más aportaron contaminantes orgánicos (CONAGUA, 2020) (SINA, 2023), la actividad agropecuaria por su parte es la principal fuente de contaminación difusa del agua y de contaminación por nitrógeno y fósforo (CESOP, 2019). Aunque se han aplicado algunos procesos modernos para el tratamiento de aguas residuales en México estos no pueden tratar toda la que se genera, ya que dichas tecnologías involucran altos costos de inversión y su aplicación en zonas rurales ha resultado poco viable (Solís *et al.*, 2016). Ante tal situación diversos autores coinciden en que es necesario analizar sistemas alternos que sean eficientes en la reducción de contaminantes, económicamente viables y de fácil operación, así como adecuados a las condiciones climatológicas y a los recursos naturales de la región. Romero *et al.*, (2009), señalan que una de estas tecnologías es el uso de HC, los cuales pueden ser utilizados para tratar no solo aguas residuales municipales, sino también de origen industrial. Se ha demostrado que el uso de HC puede abordar esta problemática y ser una alternativa recomendable para mejorar la calidad del agua, donde se lleva a cabo la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos para la remoción de nutrientes, principalmente materia orgánica, nitrógeno, fósforo y microorganismos patógenos (Moshiri, 1993).

El proceso de nixtamalización

Existen algunas industrias en las que no se les ha puesto la atención de tratamiento en la generación de sus aguas residuales, como por ejemplo el residuo proveniente del proceso de nixtamalización para la producción de tortilla de maíz, que es uno de los alimentos básicos en México, los datos del Consejo Empresarial de la Industria del Maíz revelan que en el país se producen anualmente entre 7.8 y 8 millones de toneladas de tortillas en molinos de nixtamal (Rivera *et al.*, 2023). En México se conoce como nixtamalización a la palabra proveniente del náhuatl nextli, “cenizas de cal” y tamalli, “masa de



maíz cocido” y al proceso de cocción del grano de maíz en presencia de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (Gil, 2021) para ablandar los granos de maíz. El tiempo de duración puede variar entre pocos minutos o varias horas dependiendo de la cantidad de maíz, se deja reposar para que se complete la hidratación del grano y el desprendimiento del pericarpio, posteriormente se lava el maíz para desprender el resto de la cáscara y eliminar el exceso de álcali, finalmente el maíz se muele en un molino para obtener la masa que posteriormente se utilizará en productos nixtamalizados, al agua residual resultante de este procedimiento se le denomina “nejayote”, del náhuatl *nextli*, “ceniza” y *ayotl*, “líquido” (González, 2023). Durante el procesamiento de la tortilla de maíz, se estima que en México se producen 14.4 millones de m^3/mes de nejayote y no se cuenta con una estrategia estandarizada para el manejo de este subproducto, sobre todo porque el 50% de este efluente se produce en pequeñas tortillerías locales (Díaz *et al.*, 2016). Se ha estimado que una nixtamalizadora, con capacidad de 600 ton/día, llega a generar entre 1,500 y 2,000 m^3 de nejayote por día, evidenciando la gran cantidad de agua utilizada para su procesamiento, por lo que se considera uno de los efluentes más contaminantes vertidos a diferentes cuerpos de agua (Téllez, 2018) (TIA, 2020). De acuerdo con la caracterización fisicoquímica del nejayote, es considerado un contaminante por tener altos niveles de pH (10-14), materia orgánica (2,540 mg/l) sólidos disueltos totales (SDT= 23,000 mg/) demanda química de oxígeno, (DQO=1,670 a 21,20 mg/l), demanda biológica de oxígeno (DBO₅= 190 a 7,875 mg/l) , además de una alta dureza total (180 a 3,260 mg de CaCO_3/l) como lo han reportado Ramírez *et al.* (2013), García *et al.* (2015) y Salmerón *et al.* (2003), provenientes del propio maíz, este líquido residual generalmente se descarga sin un tratamiento previo (Rivera *et al.*, 2023) (Blanco, 2013). Por lo anteriormente señalado, resulta importante contemplar la tratabilidad de este residuo, ya que dichos componentes al ser descargados a los ecosistemas acuáticos agotan el oxígeno disuelto representando un impacto socioambiental (Zuñiga , 2020); no obstante la preservación ambiental no va a depender solamente de soluciones tecnológicas, si no también de propuestas educativas, jurídicas y sociales que comprometen a todos los miembros de la sociedad (Solano *et al.*, 2006).

Ante lo descrito se estableció el siguiente objetivo de estudio: generar una propuesta de tratamiento ecológico de las aguas de nejayote mediante humedales construidos.



Materiales y Métodos

Región de estudio

Este estudio se llevará a cabo en la localidad de Pastorías, perteneciente al del Estado de Veracruz, México (Figura 1), se encuentra en las coordenadas geográficas con longitud: $-96^{\circ} 57'05.56''$, latitud: 19.533° y altitud: 260 metros. La comunidad cuenta con 592 habitantes (INEGI,2010). Los humedales construidos para la remoción de aguas residuales domésticas e industriales se encuentran ubicados en la misma localidad.



Figura 1. Ubicación del Municipio Actopan.

Se efectuará una revisión bibliográfica acerca de las implicaciones socioambientales originadas de la descarga de residuos de nejayote. En la propuesta de tratamiento se plantea el análisis de fisicoquímicos y monitoreo del crecimiento de la vegetación para evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en el tratamiento de nejayote mediante humedales construidos sembrados con plantas ornamentales. Se impartirán talleres participativos con técnicas de observación participante y bitácoras de campo como instrumento a productores de nixtamalización y autoridades locales de acuerdo con los resultados obtenidos para identificar su interés de uso.

Situación problemática y justificación

Un área de investigación sobre la funcionalidad de HC es la realizada en Pastorías, Actopan, Ver. México, diseñados para aportar nuevos conocimientos en materia de sustratos y el uso de plantas ornamentales adaptadas a las condiciones de HC, así como el diseño de estrategias de participación comunitaria para lograr la adopción y apropiación de proyectos encaminados a tratar aguas municipales (a partir de ahora este sitio será descrito como Pastorías) (Marín *et al*, 2021)(Sandoval, 2020), por el momento no existe algún estudio que describa a través de estas estrategias ecológicas el tratamiento del



nejayote en la comunidad, se sabe que se producen tortillas de manera tradicional involucrando el proceso de nixtamalización, donde el residuo (nejayote) es vertido a cielo abierto o al drenaje sin ningún tratamiento previo.

Resultados y Discusión de la propuesta

A pesar de que se han realizado diversas investigaciones en distintos sectores para mitigar la contaminación del nejayote (Cuadro 1), es necesario involucrar procesos con tecnologías ecológicas y económicamente viables, mediante técnicas de fitorremediación caracterizadas por ser autónomas, estéticamente agradables y donde se aprovecha la capacidad de las plantas y la energía solar para la depuración de una gran variedad de contaminantes (Arias *et al.*, 2010). Además, porque los procesos convencionales que requieren productos químicos o industrializados (Cuadro 1) resultan costosos y aún más para comunidades rurales donde la entrada de recursos económicos es deficiente.

Cuadro 1. Tratamiento del nejayote en diferentes sectores.

Sector	Método de tratamiento	Aprovechamiento	Autor
Industrial	En condiciones de fermentación	Utiliza carbohidratos del nejayote para producir bioetanol	Concepción, 2013
Alimenticio	Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano	Utiliza biopolímeros para remover contaminantes del nejayote	Vacio <i>et al</i> , 2020
farmacéutico	membranas de ultrafiltración escalables a nivel industrial	recuperación de compuestos proteico-fenólicos antioxidantes con actividad antiinflamatoria	Buitimea <i>et al</i> , 2020
agrícola	deshidratación	biofertilizante	Rodríguez, 2020

Ahora bien, en un mundo que enfrenta cada vez más problemas socioambientales, se enfatiza la importancia en que la comunidad científica sea creativa e innovadora en métodos, procesos y herramientas para generar mayores contribuciones a la sociedad y el medio ambiente, por ende, la ingeniería puede contribuir en los estudios relacionados con la innovación ecológica y tecnológica sin afectar los servicios ecosistémicos (Gavito, 2017). Por tales motivos, han surgido una serie de tecnologías, una de ellas son las denominadas soluciones basadas en la naturaleza o sistemas



bioingenieriles como los humedales construidos cuyas características son adecuadas para el tratamiento de aguas residuales, las cuales ofrecen soluciones adaptables a varios contextos (urbanos, peri-urbanos y rurales) así como ecosistemas (costeros, de montaña, tropicales, áridos etc.) (Altafin, 2020), dentro de estas se emplean en el tratamiento de las aguas residuales no solo de pequeñas y medianas comunidades, sino también en aguas residuales de tipo agroindustrial con buenas eficiencias de remoción (Díaz *et al.*, 2012). Los humedales construidos requieren de poco personal operativo y el proceso de tratamiento de las aguas residuales involucra elementos que son provistos por la naturaleza (Moshiri, 1993), entre las ventajas que tiene con respecto a procesos con tratamientos convencionales son su bajo costo, construcción y operación, lo ideal es que en el sistema propuesto se recupere el agua tratada para reutilizarla en otras actividades y generar un ciclo que reduzca el consumo de este bien natural. El reúso del agua tratada dependerá de sus características, si proviene de aguas negras, Silva *et al.* (2008) sugiere en el área urbana irrigar en parques públicos, campos públicos y zonas residenciales y en la zona rural para irrigación de cultivos. Para el caso de las aguas grises a nivel doméstico Penn *et al.* (2011) y Marín (2017) indican que se puede reutilizar para la descarga de escusados, lavado de patios y pisos, riego de jardines o agrícola.

Para diseñar el HC es importante tener en cuenta algunos factores importantes entre ellos:

- Identificar el volumen de agua a tratar para dimensionar el tamaño de construcción del HC, de acuerdo con Huhn *et al.* (2015), la producción media de aguas grises por persona puede variar entre 30 y 120 litros dependiendo del acceso de agua entubada, los hábitos de la gente y su cultura. En general, el consumo en zonas rurales es mucho menor al de las zonas urbanas.
- La ubicación de su construcción depende del espacio disponible, generalmente se recomienda que mínimo se tenga una proporción de largo-ancho 1.5:1 (Huhn *et al.*, 2015) y un área mínima de 3m²/habitante, el proceso de tratamiento ocurre a lo largo del sistema, por ende, el ancho no es un factor tan determinante. La profundidad no debe ser superior a un metro.
- El tipo de suelo y su estado físico es un factor importante para definir el tipo de material para su construcción.
- Para la elección del sustrato (medio filtrante) y la vegetación ornamental dependerá de la accesibilidad al mismo, preferentemente que se encuentre disponible de manera natural en la región.
- En cuanto a la construcción del HC será necesario realizar un análisis financiero de los materiales con la intención de evitar retrasos y gastos innecesarios.



De acuerdo con Castelán (2017) quien elaboró un humedal construido con un flujo a tratar de 260 L en un centro ecoturístico en el municipio de Cuautitlán, Veracruz, los costos no ascienden los \$5,000 pesos, sin considerar los gastos por mano de obra que puede variar dependiendo de la región y sobre todo de la organización y participación de las partes involucradas, así mismo dependerá de los costos actuales de los materiales, resultando una alternativa económicamente viable, ya que no se comparará con los costos de tratamientos convencionales. Por consiguiente, el agua tratada minimizará las cargas contaminantes favoreciendo los ecosistemas y mantos acuíferos, con la selección de plantas ornamentales fitorremediadora favorecerán su producción haciendo un sistema visualmente agradable e incluso tener un valor comercial por ellas. En el caso del estado de Veracruz, a pesar de que existen algunas implementaciones experimentales locales y municipales (RTV, 2023) (Marín *et al*, 2021) (Sandoval, 2020), no se ha replicado su uso a nivel domiciliario, por lo que incidir en el tratamiento ecológico del agua desde el hogar, evitaría tener ríos, lagos, lagunas u océanos contaminados por las descargas de aguas residuales o por la falta de inversiones extremas al querer tratar volúmenes comunitarios o municipales de aguas residuales, además de que esta propuesta no requiere energía eléctrica y funcionaría como jardineras florales tratadoras de agua. Ante tal panorama, resulta viable la aplicación de sistemas, ecológicos y económicos, como lo son los HC (Marín, 2016), por ello se propone la tratabilidad del nejayote para remover su alta carga de contaminantes mediante sistemas bioingenieriles (Figura 1).



Figura 3. Sistema Bioingenieril de humedales construidos para el tratamiento del nejayote.

Con el aporte de este proyecto se generarán practicas sustentables enfocadas con un impacto significativo en la salud pública, calidad del agua, conservación del recurso hídrico y económicos, fomentando el desarrollo local sustentable, No obstante, la preservación ambiental no va a depender solamente de soluciones tecnológicas, si no tambien de propuestas educativas, jurídicas y sociales que



comprometen a todos los miembros de la sociedad (Polano, 2006). Se propone que el sistema de HC tenga un flujo de 19 ml /min. Las celdas de humedales se plantean de un tamaño de 1.5 x 0.23 x 0.5 mts. La vegetación a utilizar incluye especies de *Zingiver spectabile* (maracas), *Alpinia purpurata* (jengibre rojo), *Canna hybrids* (banderas), *Spathiphyllum wallisii* (cuna de moisés) porque estas plantas poseen características fisiológicas que les permiten absorber/adsorber nutrientes mediante procesos físico, químicos y biológicos y pueden ser utilizadas en HC, mediante una investigación documental se analizó el potencial ambiental (fitorremediación), económico (valor comercial) y social (valor ornamental y artesanal) de estas especies, las cuales demostraron su funcionalidad de remover contaminantes orgánicos hasta un 90%, revelando potencialidades sociales y económicas (Zitácuaro *et al*, 2022). Para evaluar la eficiencia de tratamiento se considera medir la remoción de contaminates y el crecimiento de la vegetación, así como analizarlos mediante análisis fisicoquímicos y el monitoreo del crecimiento de la vegetación con un vernier y flexómetro cada 15 días. El estudio incluye además de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes, la adaptación de las plantas ornamentales a la mezcla de aguas contaminadas y su efecto como fitorremediadoras.

Conclusiones

El Sistema Bioingenieril de humedales construidos para el tratamiento del nejayote es una ecotecnología de bajo costo, construcción y operación con respecto a tratamientos convencionales, por lo tanto puede ser una opción viable para tratar aguas residuales no solo de origen doméstico si no también agroindustrial ofreciendo múltiples beneficios, como mejorar la calidad del agua residual, producir flores ornamentales, si se consideran especies ornamentales en el proceso como se hace en esta propuesta, así como la reutilización del efluente tratado, generando un ciclo que reduzca el consumo de este bien. Este tipo de propuestas son importantes ante la alta problemática de contaminación hídrica, de igual manera se sugieren nuevas propuestas de diseño de acuerdo a la región climática y tipos de agua a tratar.



Agradecimientos

Al Colegio de Veracruz por darme la oportunidad de realizar mi formación académica y brindarme el apoyo para emprender este proyecto de tesis, al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada y a mi comité asesor por su confianza, orientación y paciencia.

Literatura Citada

- Altafin. 2020. Innovaciones en el Desarrollo e Implementacion de Humedales Construidos para el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Latinoamérica y el Caribe. Banco Interamericano de desarrollo. División de Agua y Saneamiento III IDB-TN-01911.
- Alvarado, A. (2012). Experiencias en el tratamiento de aguas residuales en el Estado de México. Agua y Territorio. 3:108-118.
- Arias S.A., *et al.* 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. Informador Técnico (Colombia), 74(2010): 12-22.
- Blanco, E. 2013. Identificación y caracterización de la esterasa del ácido felúrico de *Bacillus flexus* NJY2 aislado del nejayote de maíz. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey., México.
- Buitimea N., M., *et al.* 2020. Protein-phenolic aggregates with anti-inflammatory activity recovered from maize nixtamalization wastewaters (nejayote). ScienceDirect, 134.
- Castelán. 2017. Implementación de un humedal artificial para el tratamiento de aguas grises en el centro ecoturístico Playa La Junta, Amatlán de los Reyes Veracruz.(Tesis Maestría). Colegio de Postgraduados. Córdoba, 1-139.



CBR (Ingeniería CBR). 2023. ¿Sabes cuál es el costo de tratar aguas residuales en tu vivienda? CBR Ingeniería. <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx>. [consultado el 8 de Julio de 2023].

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2022. Diálogo regional del agua 2022. Hacia una transición hídrica inclusiva y sostenible en América Larina y el Caribe. Reunión preparatoria para la conferencia del agua de las naciones unidas 2023.

CESOP (Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública). 2019. Los rios revueltos, radiografía de la contaminación. México: Cámara de Diputados. <http://www5.diputados.gob.mx/index.php/camara/Centros-deEstudio/CESOP/Novedades/En-contexto.Los-rios-revueltos-radiografia-de-la-contaminacion>. [consultado el 11 de Julio de 2023].

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2020. Programa Nacional Hídrico 2020-2024. Programa Especial derivado del plan nacional de desarrollo 2019-2024. México: Diario oficial de la federación.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operacion.

Concepción. 2013. Potencial del concentrado de nejayote pre-tratado para la producción de bioetanol. Tesis de Maestria. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Díaz, E., *et al.* 2012 . El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1):78-97.

Díaz, E., *et al.* 2016. An overview of nejayote, a nixtamalization byproduct. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 8(2):41-60.



- García, J., M. Sánchez y J. Lozano. 2015. Enzymatic treatment of wastewater from the corn tortilla industry using chitosan as and adsorbent reduces the chemical oxygen demand and ferulic acid content. *Process Biochem.* 50(1): 125-133.
- Gavito M, *et al.* 2017. Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(2017): 150-160.
- Gil. 2021. ¿Cómo se hace el nixtamal en México?. Candelilla. <https://www.candelilla16.mx/single-post/como-se-hace-el-nixtamal-en-mexico> [consultado el 12 de julio de 2023].
- González, R. 2023. Nixtamal: Tradición y nutrición. INECOL. <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1203-nixtamal-tradicion-y-nutricion> [consultado el 9 de julio de 2023].
- Huhn, L., S., *et al.* 2015. Greywater treatment in sand and gravel filters. Low tech solution for sustainable wastewater management. Manual for design, construction, operation and maintenance. United nations environment programme & global programme of action.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2010. milenio Geodesia <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/default.aspx> [consultado el 1 de julio de 2023]
- Kaushal, S., *et al.* 2015. Urban evolution: The role of water. *Water*, 7(8): 4063-4087.
- Marín, J. 2016. Remoción de contaminantes de aguas residuales por medio de humedales artificiales establecidos en el municipio de Actopan, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 553-563.
- Marín, J. L. 2017. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua. *Agroproductividad*, 90-95.



- Marín, J., *et al.* 2021. Participación comunitaria para la implementación de humedales para limpiar el agua residual, caso de estudio en Pastorias, Actopan. *Miradas colectivas: Rutas y aportes de la sustentabilidad.* 103-115.
- Mitsch, J y G. Gosselink. 2015. *Wetlands fifth edition.* WILEY.
- Morales, M. 2006. El desarrollo local sostenible. *Economía y Desarrollo.* 140(2): 60-71.
- Moshiri, G.A .1993. *Constructed wetlands for water quality improvement.* Lugar: CRC Press.
- NUMERAGUA. 2022. Comisión Nacional del Agua. Secretaría del medio ambiente y recursos naturales.
- Penn, R., *et al.* 2011. Evaluation of the affects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity. *Urban Water Journal*, 9(3), 137-148.
- Ramírez, G., *et al.* 2013. Estudio del nejayote como medio de crecimiento de probióticos y producción de bacteriocinas. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 12(3):463-471.
- Rivera, M. J., *et al.* 2023. Caracterización y pruebas de tratabilidad del agua de nixtamalización mediante procesos fisicoquímicos con fines de reuso. Congreso nacional AMICA. Villa Hermosa Tabasco.
- Rodríguez. (2020). Nixtamalización: Clave para la nutrición y la salud. Fundación Tortilla , 1-3, https://fundaciontortilla.org/Salud/nixtamalizacion_para_la_nutricion_y_la_salud. [consultado el 12 de Julio 2023].
- Romero, M., *et al.* 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de carga orgánica. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25(3):157-167.



RTV. (Radio Televisión de Veracruz). 2023. Construyen primer humedal artificial en comunidad de Misantla. Agencia de más noticias. <https://www.masnoticias.mx/construyen-primer-humedal-artificial-en-comunidad-de-misantla/> [consultado el 10 de julio de 2023.]

Salmerón, A., *et al.* 2003. Aerobic treatment of maize-processing wastewater (nejayote) in a single-stream multi-stage bioreactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2(5):401-406. doi:10.1139/S03-046

Sandoval, L. 2020. Evaluación del uso de vegetación ornamental y sustratos en la eliminación de contaminantes de aguas residuales mediante humedales ingenieriles en zonas tropicales. Tesis de Maestría. Instituto tecnologico de Orizaba., Veracruz., México.

SEMARNAT. 2022. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. SEMARNAT <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/cap6.html> [Consultado 8 de julio 2023].

Silva, J., *et al.* 2008. Reúso de aguas residuales domésticas en la agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359.

SINA. (Sistema Nacional de Información del agua) .2023. <https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=6>. [consultado 9 de julio 2023].

Solano, R., *et al.* 2006. Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales de una planta de molino de nixtamal y alternativas de minimización de volúmenes y contaminantes de descargas líquidas. Tesis de Licenciatura. Universidad de Costa Rica., Costa Rica.

Solís, R., *et al.* 2016. Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. *Interciencia*. 41(1):40-47.



TIA. 2020. Nejayote: ¿Qué es y por qué debes prestarle atención si tienes una tortillería?. Tecnología en ingredientes alimenticios S.A de C.V. <https://www.tiasaalimentos.com.mx/tratamiento-nejayote/> [consultado 6 de julio 2023].

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas). 2017. Aguas residuales, el recurso desaprovechado. Informe Mundial sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos de las Naciones Unidas. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa. [consultado 7 de julio 2023].

Vacio, K., *et al.* 2020. Remoción de contaminantes del nejayote con alginato y quitosano. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 36(3):97-515.

Zitácuaro, I., *et al.* 2022. Vegetación ornamental utilizada en fitorremediación y sus potencialidades ambientales, económicas y sociales. *Jornal of basic Sciencies.* 8(23): 133-145.

Zuñiga, J. 2020. Evaluación del uso del nejayote para la producción de goma xantano por *Xanthomonas campestris* y su escalamiento a nivel semi-piloto. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey., México.



ELABORACIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS A PARTIR DE HARINA DE SORGO (*Sorghum bicolor*)

José Felipe Fausto Juárez Cadena^{324*}, María Del Rosario Bernabé Salas³²⁴, Alejandro Otlica Rosario³²⁴
y Karla Marina Flores Lozada

Resumen

A nivel mundial hay una creciente demanda de alimentos, nutritivos y seguros, ya que una ingesta equilibrada de alimentos se considera adecuada para prevenir o remediar problemas de salud, como la obesidad, diabetes, desnutrición, cardiopatías y otros, que en gran medida se origina a partir de errores dietéticos. Los cereales son una de las principales fuentes de alimentación para la humanidad y se estima que los cereales aportan más de 50% de la energía total consumida por la población. Los países en vías de desarrollo dependen más aún de los nutrientes proporcionados por los cereales porque constituyen una excelente fuente de energía requerida para el crecimiento y desarrollo. Con base en lo anterior el trabajo denominado elaboración de productos alimenticios a partir de harina de sorgo (*Sorghum bicolor*), se realizó una mezcla de harinas a partir de sorgo y trigo para la elaboración de productos de consumo cotidiano como galletas y pan. Se realizaron diferentes formulaciones a partir de las mezclas de harina para la obtención de producto, se llevó a cabo la determinación de proteína por el método de Kjendahl a las formulaciones que presentaron mejores características de producto final. Para determinar la preferencia del consumidor se evaluó por medio de una prueba sensorial en una escala hedónica las características de sabor, olor, color y textura para las galletas y pan. El panel de jueces no entrenados (consumidores) estuvo conformado de 60 panelistas en un intervalo de edad de 19 a 60 años.

Palabras clave: cereal, panificación, evaluación sensorial

³²⁴ *Tecnológico Nacional de México / ITS de Cd. Serdán, *fjuarez@cdserdan.tecnm.mx



Introducción

A nivel mundial hay una creciente demanda de alimentos, nutritivos y seguros, ya que una ingesta equilibrada de alimentos se considera adecuada para prevenir o remediar problemas de salud, como la obesidad, diabetes, desnutrición, cardiopatías y otros, que en gran medida se origina a partir de errores dietéticos (Marques *et al*, 2015). Los cereales son una de las principales fuentes de alimentación para la humanidad y se estima que los cereales aportan más de 50% de la energía total consumida por la población humana (López *et al*, 2007). Según López *et al* (2007) los países en vías de desarrollo dependen más aún de los nutrientes proporcionados por los cereales porque constituyen una excelente fuente de energía requerida para el crecimiento y desarrollo. Para Torre *et al* (2007) los cereales se transforman en harinas de las cuales se elaboran diversos productos (como panes o pastas), o se incorporan a la alimentación como granos en sus distintas variedades (arroz, maíz). No obstante, a partir de los cereales y aplicando diferentes tratamientos tecnológicos se obtienen productos tan variados como las palomitas de maíz, los almidones; utilizados, por ejemplo, para espesar salsas o postres dulces, los jarabes de glucosa y similares y una amplia variedad de snacks y aperitivos; también se utilizan en la preparación de mezclas para refrescos y como materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas, como la cerveza o el whisky. Desde el punto de vista nutricional los cereales destacan por su contenido en carbohidratos, vitaminas B, vitaminas E, minerales y fibra dietética, si bien su valor nutritivo es sensiblemente diferente de una variedad de cereal a otra. Obregón *et al* (2013) menciona que para el desarrollo de un producto se debe considerar el valor nutricional, parámetros de inocuidad, calidad y un buen nivel de aceptabilidad para su consumo, ya que de esta manera se podrá consumir de forma integral el producto, aprovechando sus características nutricionales y organolépticas. La alimentación de la sociedad actual, debido en gran parte al acelerado ritmo de vida, involucra un elevado consumo de alimentos de bajo valor nutritivo con altos porcentajes de grasas saturadas, azúcares refinados, aditivos, conservadores y elevado valor calórico (Cutullé *et al*, 2012) observándose una creciente tendencia en el consumo de alimentos y bebidas fuera de casa, de autoservicio, congelados, precocinados y para llevar, los cuales son de fácil acceso (Ramos *et al*, 2012). En el caso de productos de panadería, como las galletas, se ha registrado un consumo importante desde edades tempranas (Quizán *et al*, 2011), convirtiéndose en unas de las opciones preferidas entre todos los grupos de edad (Cutullé *et al*, 2012). Por concepto, las galletas se definen como bocadillos obtenidos de pasta única o compuesta sometidas a un proceso de cocción en horno (Ndife *et al*, 2014) y



se preparan generalmente de harina de trigo, sin embargo, se ha observado que su contenido nutricional aumenta de acuerdo a la materia prima utilizada, como harinas de trigo combinadas con soya, germen de maíz y leguminosa, entre otros (Serrem *et al*, 2011). Las ventajas de utilizar cereales, como el sorgo, arroz, y maíz, es su fuente de proteína, antioxidantes, fibra y además están libres de gluten. Tomando en cuenta que México es el cuarto productor mundial de sorgo, con una participación de 10% de la producción mundial, con valor nutricional promedio de 10- 15% de proteínas, 7-10% de fibra, fuente de calcio y zinc. Sin embargo, su uso se ha destinado básicamente para la elaboración de alimentos para aves de corral y ganado (Montes *et al*, 2012). El sorgo (*Sorghum sp.*) es un cereal cuya producción ocupa el quinto lugar a nivel mundial, luego del maíz, trigo, arroz y cebada (Chesa, 2014) (Vieira *et al*, 2009) Se estima que el hombre consume el 35% y el resto es utilizado para alimentación animal y diversos usos industriales (obtención de etanol, biomasa, etc.). Constituye un alimento básico en vastas zonas de África y Asia, donde se consume en diversas formas: panificados, papillas tradicionales (porridge), bebidas fermentadas (cerveza) y sin fermentar, etc. (Tuinstra, 2008) (Taylor *et al*, 2006). Presenta un importante potencial alimentario por las condiciones ventajosas del cultivo, de fácil crecimiento en zonas templadas, semiáridas, con resistencia a plagas, sequías y calor.

El aumento de la población del planeta, la disminución de tierras cultivables y el cambio climático, ha influenciado en la revalorización de cultivos alternativos cuyo consumo se había limitado por factores culturales o de rendimiento de los cultivos. Su composición es muy similar a la del maíz. Cabe destacar la importante cantidad de hidratos de carbono que posee, así como su bajo contenido graso. En cuanto a las proteínas, el sorgo posee cantidades interesantes de dichos nutrientes, si bien del mismo modo que el resto de los cereales, su contenido en lisina (aminoácido esencial) es limitante, lo que hace que sus proteínas no sean de buena calidad (FAO, 1991). Sin embargo, si se combina el sorgo con alimentos como las legumbres o la leche, se obtienen proteínas de alto valor biológico, es decir, proteínas de una calidad tan buena como las presentes en la carne o pescado. También se espera que el sorgo concretamente será objeto de una gran demanda si se desarrolla la tecnología necesaria para usos específicos finales por parte de la industria (FAO, 1995).

Este tipo de cereales saludables entraron al mercado apoyando a las tendencias y hábitos de consumo de productos más sanos y más nutritivos (Iñarrute, 2001). Como alternativa de consumo de cereales “listos para comer” este trabajo de investigación tuvo como principal objetivo elaborar productos panificables con una mezcla de harinas de trigo y sorgo, con la finalidad de incrementar el valor proteico a productos de consumo cotidiano como son: galletas, pan y pastel.



Materiales y Métodos

La primera parte del trabajo se llevó a cabo en los laboratorios de Frutas y Hortalizas del Instituto Tecnológico Superior de Ciudad Serdán, para las determinaciones de proteína se utilizó el Laboratorio de Usos Múltiples; la evaluación sensorial de los productos se realizó en la comunidad de Guadalupe Victoria municipio del Estado de Puebla, México.

El estudio se dividió en cuatro etapas principales:

1. Obtención de la harina de sorgo para la elaboración de los productos:

Para la obtención de harina de sorgo se procedió de la siguiente manera:

Limpieza y lavado; este procedimiento se realiza con la finalidad de eliminar polvo, piedras, restos de la planta del sorgo como hojas, varas, entre otros. El lavado se realiza con agua purificada para eliminar lo mencionado anteriormente; posterior al lavado las semillas son secadas al sol en arneros a una temperatura aproximada de 25°C.

Molienda: después de estar seco el grano se llevó a cabo la molienda en un molino para nixtamalización, obtenida la primera molienda se dejó enfriar la harina, se dio una segunda molienda con un molino manual con la finalidad de hacer más pequeño el tamaño de partícula de la harina de grado de sorgo.

Enfriado de la harina de sorgo: este paso es importante entre moliendas, debido a que con la fricción entre grano y partes del molino genera calentamiento; por lo tanto, si no tiene enfriamiento genera condensación de agua lo que puede ocasionar posteriormente daños a la harina una vez empaquetada.

Tamizado: este paso es con la finalidad de tener un tamaño de partícula más fino, el tamizado obtenido fue de tamiz No. 40, con tamaño de partícula de 1000 µm.

Empaquetado: después del tamizado se procede a colocar en bolsas de polipropileno de grado alimentario, ya que es impermeable y un termoplástico que puede fundirse o sellarse, para evitar la penetración de humedad e insectos. Figura 1.



Figura 1. Descripción del proceso de obtención de harina de sorgo: a) Sorgo sin limpieza, b) Sorgo limpio, c) Molienda de sorgo en molino de nixtamalización, d) Harina de sorgo tamizada, e) Empaquetado de harina de sorgo.

2. Elaboración de los productos con la mezcla de harina de sorgo y harina de trigo

Galleta

Para el procesamiento de galletas a base de harina de sorgo y trigo se tomó como referencia una formulación base de galletas en la que el componente principal es la harina de trigo (Cuadro 1), en base a esta formulación se establecieron 3 formulaciones de harinas compuestas (sorgo y trigo) para empezar a estandarizar la galleta (Cuadro 2).

Cuadro 1. Formulación base para elaboración de galletas.

Insumos	Cantidad
Harina	500 gr
Mantequilla sin sal	250 gr
Azúcar glas	200 gr
Huevo	1 pza.
Vainilla	1 cd.
Sal	1 pizca.

Cuadro 2. Formulaciones de harina.

Formulación	Sorgo	Trigo
Formulación 1	100%	00%
Formulación 2	50%	50%
Formulación 3	60%	40%

En la formulación 1 se ocupó 100% harina de sorgo en la fórmula base en donde se obtuvo una masa muy dura, lo cual dificultó su manipulación al momento del troquelado con un cortador de galletas, se



deformaban presentando una apariencia desagradable; sin embargo, si su manipulación durante el proceso se realiza con precaución se obtienen buenos resultados, después del horneado sus características se veían modificadas, debido a la firmeza que le brinda el horneado, dando como resultado una galleta granulosa, dura y seca.

Para la ejecución de la fórmula 2 se sustituyó en la fórmula base con el 50% de harina de sorgo y 50% de harina de trigo obteniendo como resultado una masa suave manejable con color café claro, la galleta horneada presenta una textura crujiente, olor y sabor característico de las mismas.

Como se tuvieron buenos resultados en la formulación 2 se tomó la decisión de agregar mayor cantidad de harina de sorgo sustituyéndose en la fórmula base con el 60% de harina de sorgo y 40% de harina de trigo obteniendo como resultado una masa suave manejable con color café oscuro, la galleta horneada presento una textura crujiente, olor y sabor característico de las mismas.

Pan

Para el procesamiento de pan a base de harina de sorgo y trigo se tomó como referencia una formulación base para elaborar pan en el que el componente principal es la harina de trigo (Cuadro 3), en base a esta formulación se establecieron 3 formulaciones de harinas compuestas (sorgo y trigo) para empezar a estandarizar el pan (Cuadro 4).

Cuadro 3. Formulación base para elaboración de pan.

Insumos	Cantidad
Harina	750 gr
Levadura	6 gr
Sal	1 cda.

Cuadro 4. Formulaciones de harina para elaborar pan con harina combinada.

Formulación	Sorgo	Trigo
Formulación 1	100%	00%
Formulación 2	50%	50%
Formulación 3	60%	40%

En la formulación 1 se ocupó harina 100% de sorgo y 0% trigo, no obteniéndose los resultados esperados, ya que este producto requiere una masa líquida y visco elástica. Por la condición que tomo



la masa no se efectuó correctamente el leudado, que es un paso importante por lo que, al no haber este efecto, el pan no esponjo, por lo tanto, la masa quedo compacta, presentando un mal aspecto físico. La fórmula 2 fue la que mejor dio resultados en la elaboración de pan pues resulto crujiente por fuera, húmedo y suave por dentro, su proceso de fermentación de la masa realizo efecto de manera correcta, en donde de la formula madre se sustituyó el porcentaje de harina con 50% harina de sorgo y 50% harina de trigo. En la fórmula 3 se sustituyó la base del porcentaje de harina, colocando 60% harina de sorgo 40% harina de trigo cambiando las propiedades de la masa por lo que no se obtuvieron buenos resultados, pues el pan no esponjó por el contrario se extendió hacia los lados.

3. Realización de determinaciones de proteína a los productos obtenidos

La determinación de proteína de los productos elaborados a base de harina y sorgo se realiza a través de la Norma establecida NMX-F-068-S-1980. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA. Por el método de Kjeldahl, que consiste en calcular la concentración de nitrógeno de una muestra del alimento en estudio, a través del proceso de digestión - destilación e interpretación de resultados para cuantificar aproximadamente el contenido de proteína del producto preparado.

La determinación de proteína se hizo por triplicado para cada producto, se presenta como resultado único la media aritmética de las tres repeticiones bajo la norma mencionada.

4. Evaluación sensorial de los productos estandarizados

Para evaluar el grado de satisfacción de los productos se realizó una prueba afectiva de nivel de agrado de acuerdo con el método citado por (Aguilar et. al;) para un panel de consumidores no entrenados siendo este un total de 60 encuestados de los cuales 30 fueron para las galletas y 30 para el pan; la edad oscila entre 19 y 60 años. Se les proporcionaron muestras codificadas con números aleatorios de tres cifras la cantidad de muestra otorgada fue de 10 gramos correspondiente a dos galletas con la formulación a evaluar, junto con un vaso de agua purificada para enjuague bucal entre muestras.

Para medir el nivel de agrado se utilizó una escala hedónica de 5 puntos; para evaluar los atributos de color, sabor y textura. Para la evaluación de color se utilizó una gama de color realizada a través de computadora, esta gama fue proporcionada a los evaluadores en los cuestionarios.



Resultados y Discusión

Determinación de proteínas en galletas

Se realizó la determinación de proteína en las galletas para las diferentes formulaciones, en los cálculos de determinación de proteínas se tomó como factor de conversión, el de cereales y pastas el cual equivale a 5.70, los resultados obtenidos son los siguientes (Cuadro 5).

Cuadro 5. Determinación de proteína en galletas bajo diferentes formulaciones.

Formulación	Porcentaje de proteína
100% harina de sorgo	3.25%
60% harina de sorgo – 40% harina de trigo	2.32%
50% harina de sorgo – 50% harina de trigo	1.605%

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se realizó un gráfico, para visualizar mejor la formulación que contiene más proteína (Figura 1).

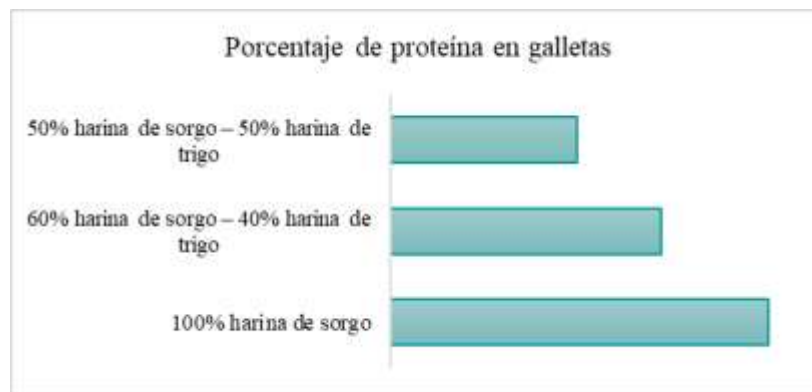


Figura 1. Cantidad de proteína en las diferentes formulaciones de galletas.

Determinación de proteínas en pan

Se realizó la determinación de proteína en el pan para las diferentes formulaciones, en los cálculos de determinación de proteínas se tomó como factor de conversión, el de cereales y pastas el cual equivale a 5.70, los resultados obtenidos son los siguientes (cuadro 6).



Cuadro 6. Determinación de proteína en pan bajo diferentes formulaciones.

Formulación	Porcentaje de proteína
60% harina de sorgo – 40% harina de trigo	2.245%
50% harina de sorgo – 50% harina de trigo	0.766%

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se realizó un gráfico, para visualizar mejor la formulación que contiene más proteína (Figura 2).

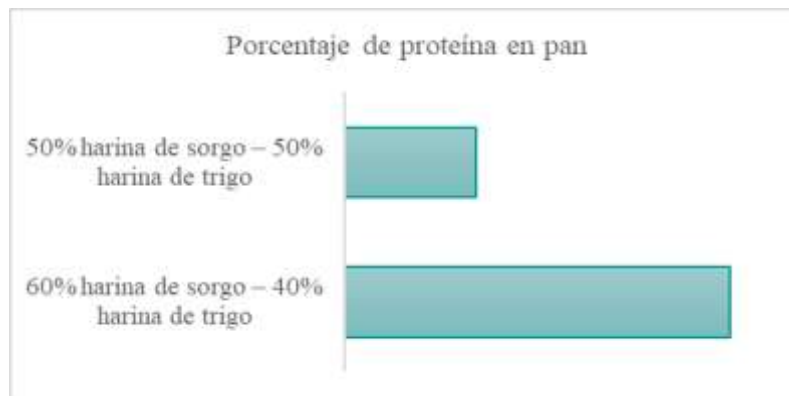


Figura 2. Cantidad de proteína en las diferentes formulaciones de pan.

En cuanto a la evaluación sensorial de los productos los resultados fueron los siguientes:

Evaluación sensorial a galletas a base de harina de sorgo.

De acuerdo a los 30 panelistas evaluaron sensorialmente las galletas a base de harina de sorgo se realizaron gráficos, para tener mayor visualización en los atributos que perciben en las tres muestras de galletas, codificando de la siguiente forma, Código 1000 galletas elaboradas con harina 100% de sorgo, código 6040 galletas elaboradas con harina 60% sorgo 40% trigo, código 5050 galletas elaboradas con harina 50% sorgo 50% trigo (Figura 3).

En relación con los resultados obtenido para la evaluación sensorial relacionado con el sabor, los evaluadores expresaron que 22 nos denotaron que el sabor que predominaba era el sabor a vainilla, presente en la muestra 1000 también mencionan que las galletas que contaban con dulzor, fue la muestra codificada 6040, 8 de los panelistas identificaron que la muestra C tenía menor dulzor, mayor sabor a mantequilla, no fue salada y menor sabor a vainilla; en base a la figura mostrada, podemos decir que por cantidad de encuestados las muestras 1000 y 5050 son las que más predominan en el gusto del consumidor.

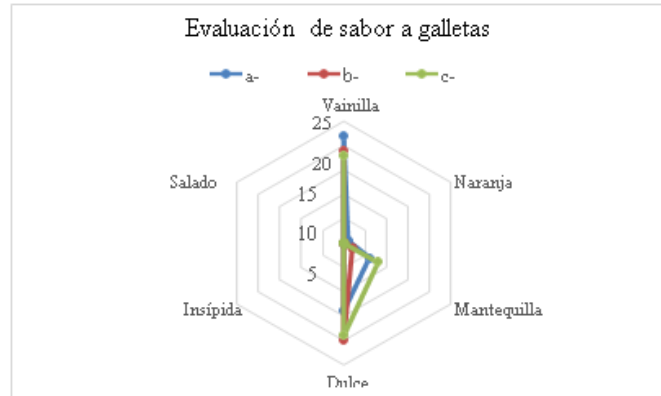


Figura 3. Evaluación sensorial en cuanto a sabor para las galletas.

Evaluación de textura

Para el análisis de textura a las galletas de harina de sorgo, como se muestra en la Figura 4 hay mucha similitud en las tres formulaciones, porque no se denotan cambios abruptos entre cada una de las muestras, de acuerdo a los datos, nos arrojaron mejores resultados respecto a la evaluación de textura a la galleta codificada 6040, porque vemos que los parámetros evaluados se perfila mejor a las características buscadas en los productos denominados galletas, encontrando que a los panelistas les parecieron secas, con fracturabilidad aceptada, y bajas en grasa, los que nos da la apertura de concluir que serían las más aceptadas por su factor de textura.

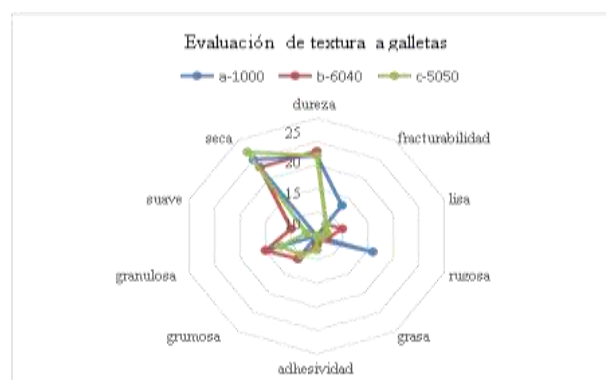


Figura 4. Evaluación de textura de galletas.

Evaluación del color

En la Figura 5 se puede apreciar que más de 10 persona de 30 percibieron que la muestra 1000 es la que tiene un color más oscuro, pardo, por otro lado, notaron que muestra c) es la que presenta el color beige



siendo este el color más claro también dijo la mayoría de los panelistas que la muestra 6040 tiene el color barbecho, lo que quiere decir que las galletas presentan unapigmentación más oscura, cuando la porción de harina de sorgo es mayor.



Figura 5. Evaluación de color en galletas.

Evaluación de pan con harina de sorgo

De acuerdo con los 30 panelistas evaluaron sensorialmente el pan a base de harina de sorgo se realizaron gráficos, para tener mayor visualización en los atributos que perciben en las dos muestras de pan, codificando de la siguiente forma 6040 pan elaborado con 60% de harina de sorgo y 40% de harina de trigo, 5050 pan elaborado con harina 50% sorgo y 50% trigo.

Evaluación de textura en pan

Se puede observar en el gráfico 6 que la muestra que presenta una miga más suave es la muestra 50, por otra parte, la mayoría de los panelistas percibieron con una corteza dorada y más crujiente la muestra codificada 6040, esto pudo deberse a las concentraciones de harina de sorgo con la que cuenta la muestra.

Evaluación de color

La mayoría de los panelistas están de acuerdo en que la muestra 6040 presenta un color más oscuro pardo, así como también coinciden en que la muestra b) pigmenta el color gamuza, resultado esperado debido a que son los colores que más se asemejan de acuerdo con la formulación al color característico del grano de sorgo. (Figura 6).



Figura 6. Evaluación de textura y color en pan.

Evaluación del olor

Para el análisis de olor a pan a base de harina se muestra en el gráfico que hay mucha similitud en las dos formulaciones, porque no se denotan cambios en cada una de las muestras, pues de acuerdo con los datos nos arrojaron mejores resultados respecto a la evaluación del pan resalta el olor a levadura seguido del olor a malta, esto puede deberse al leudado que tiene el pan durante su proceso.

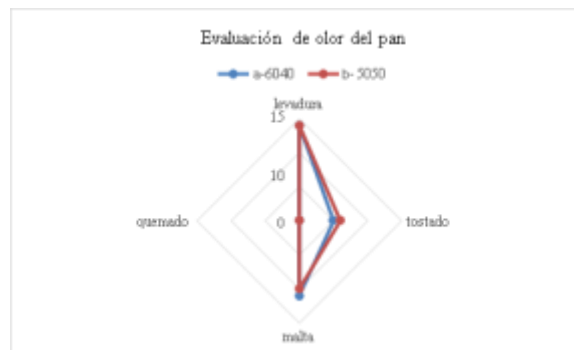


Figura 8. Evaluación de olor en pan.

De acuerdo con los resultados obtenidos con el producto de con la mezcla de harina de trigo y sorgo en cuanto al pan se puede decir lo siguiente; la cantidad de proteína que presenta mayor cantidad es en la formulación de 60% harina de sorgo y 40% harina de trigo respecto a la formulación de 50% harina de trigo y 50% harina de sorgo obtuvo menor cantidad de proteína después de haber elaborado el pan.

De acuerdo con el trabajo de Surco y Alvarado (2010), en donde utilizan harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación, en la mezcla de harina de trigo y sorgo en la elaboración de pan, el contenido de los nutrientes fue mejor en la mezcla de estas harinas respecto a solo utilizar harina de trigo para la elaboración de este producto. En las diferentes formulaciones utilizadas en este trabajo la proteína bruta



oscila entre 11.8 al 14.11%, cabe hacer la aclaración que las variedades utilizadas en la experimentación influyen determinantemente en la composición final del pan, respecto a la utilizada en la elaboración de subproductos de pan. Con relación a las características organolépticas el trabajo presentado por Surco y Alvarado (2010), menciona que el color de las harinas compuestas está en relación con la cantidad de harina de sorgo que se incorpore a la mezcla, lo cual influye significativamente en la percepción del consumidor que está acostumbrado al pan blanco.

En el caso del pan evaluado sensorialmente en sus diferentes formulaciones el panel de evaluadores mencionó que tiene un color pardo y gamuza del pan y esto es debido a la cantidad de sorgo empleado en las mezclas para la obtención del producto. En la evaluación del aroma en ambas muestras se percibe en gran mayoría el aroma a levadura. Respecto a la textura el panel de evaluadores percibe una textura crujiente y dorada para la formulación de 60% harina de sorgo y 40% harina de trigo con una miga suave; mientras que para la formulación 50% sorgo 50% harina de trigo perciben una textura menos dorada y crujiente per la miga es más suave que para la anterior formulación.

Respecto a la evaluación de las galletas relacionadas con la cantidad de proteína, se puede apreciar que la fórmula 100% harina de sorgo presenta mayor cantidad de proteína 3.25%, respecto a las demás formulaciones. Con relación al trabajo presentado por Guzmán y López, 2015 mencionan que la mezcla de harina compuesta de sorgo y amaranto presenta una cantidad de 8.76% de proteína en una mezcla de 50% de harina de trigo y 50% harina de amaranto. Lo anterior se resume en que la adición de sorgo con otras harinas eleva la cantidad de proteína a productos de panificación de mayor consumo por la población. En cuanto a la percepción del sabor de las galletas en las formulaciones presentadas a los evaluadores sensoriales perciben un sabor a vainilla, una textura seca y dura al igual que granulosa para las formulaciones, en relación con el color oscilan entre el color pardo, barbecho y gamuza y esto es debido a la cantidad de harina de sorgo adicionada a las formulaciones.

Conclusiones

La utilización del sorgo en diversos productos alimenticios es de reciente inclusión en el mercado de los alimentos, sin embargo, este cereal tiene aportes nutrimentales buenos para el ser humano, el llevar a cabo diferentes mezclas de la harina de sorgo y de otros cereales es una de las alternativas en la generación y desarrollo de nuevos productos, especialmente en el área de la panificación. Los



productos de panificación y especialmente las galletas forman parte de la dieta mundial y ofrecen una oportunidad de llevar elementos funcionales específicos a diferentes sectores de la población, en por ello que al ser un producto de fácil consumo la mezcla de harinas hace a la galleta una candidata ideal para que aporte además fibra, azúcares, grasas y proteínas vegetales a partir de las mezclas con harina. El pan es consumido de manera general entre la población, sin embargo, a este producto se relaciona más con el color al momento de consumirlo que con la cantidad de proteína que puede ofrecer, en el caso de la mezcla de harina de trigo con sorgo la coloración podría ser una desventaja para ser consumido por la población. La evaluación sensorial a partir de un panel de consumidores es de suma importancia al momento de la realización de nuevos productos, cambios en la composición o formulación de estos, ya que si estos productos no presentan características sensoriales agradables la población no lo consumirá. Cada año se presentan en el mercado nuevos productos y los consumidores cada vez buscan productos que sean nutritivos y que contengan elementos funcionales para su organismo, es por ello por lo que la incorporación de otros cereales a producto de consumo cotidiano abre la puerta para seguir mejorando e innovando en el sector de la panificación e incorporando cereales que ayuden a mejorar las propiedades nutricionales de los productos de consumo tradicional.

Agradecimientos

Los autores agradecen las facilidades otorgadas para llevar a cabo esta investigación al Tecnológico Nacional de México / ITS Cd. Serdán, Puebla, México.

Literatura Citada

Cutullé, B., *et al.* 2012. Desarrollo y evaluación sensorial de galletitas de jengibre con sustitución parcial de harina de trigo por harina de arroz y lenteja (Gallentinas). *Diaeta*, 30(138), 25-31.

Guzmán, M. P. and López, P. G. 2015. Propuesta de formulación de galletas elaboradas con harina compuesta de *Amaranthus cruentus* (Amaranto) y *Sorghum bicolor* L. Moench (Sorgo). Bachelor thesis, Universidad de El Salvador. Disponible en:



FAO. 1991. El sorgo y el mijo en nutrición humana. En línea. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0818S/T0818S05.htm> [consultado el 28 de febrero de 2022].

FAO. 1995. Structure et caractéristiques de L'économie mondiale du mil. CCP: GR90/4.Rome.15p. En línea. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T0818S/T0818S0b.htm> [consultado el 28 de febrero de 2022].

Iñarrute, N. 2001. Estudio de las características nutricionales de barras de cereal para niños. México, 2001. Arch Lat Nutr 2011; 41:222-97.

López, *et al.* 2007. Caracterización fisicoquímica de diferentes variedades de cebada cultivadas en la región centro México. Revista chilena de nutrición, 34(1), 1-6.

Montes, N., *et al.* 2012. Rb-paloma variedad de sorgo blanco para producción de grano y forraje. Rev Fitotec Mex, 35(2):185-187.

Ndife, J., *et al.* 2014. Production and quality assessment of enriched cookies from whole wheat and full fat soya. Eur J Food Sci Technol, 2(1), 19-28.

Obregón, A., *et al.* 2013. Evaluación sensorial y fisicoquímica de panes con sustitución parcial de la harina de trigo (*Triticum aestivum*) por harinas de maíz (*Zea mays*) y papas (*Solanum tuberosum*). Ciencia e Investigación, 16(2), 73-76.

Ramos, E. G., *et al.* 2012. Aporte calórico y macro nutricional de los menús infantiles de la comida rápida y convencional. Rev Chil Nutr, 39(3), 27-33.

Taylor, J.R.N., *et al.* 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. J Cereal Sci. 2006; 44: 252–271.

Torre, E.M., *et al.* 2007. Pan y Cereales. Biblioteca Virtual Madrid. España.



Tuinstra, M.R. 2008. Food-grade sorghum varieties and production considerations: a review. *J Plant Interactions*. 2008; 3 (1): 69-72.

Quizán, T., *et al.* 2011. Patrones alimentarios y su relación con el estado nutricional en escolares de primer grado de dos escuelas públicas de Hermosillo, Sonora. *Epistemos*, 10:15-20.

Serrem, C. A., *et al.* 2011. Nutritional quality, sensory quality and consumer acceptability of sorghum and bread wheat biscuits fortified with defatted soy flour. *International J Food Sci Technol*, 46(1), 74-83.

Surco, J.C. y Alvarado, J.A. 2010. Harinas compuestas de sorgo – trigo para anificación. *Revista Boliviana de Química* 27(1).

Vieira, V.A., *et al.* 2009. O Sorgo na Alimentação Humana. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa, Brasil. Circular Técnica 133: 1-9.



TRANSFERENCIA de TECNOLOGÍA





INNOVACIONES AL SISTEMA DE FERTIRRIEGO EN VIVEROS FORESTALES Y TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA

Miguel Ángel López López^{325*}, Luis Enrique Martínez Velasco³²⁵, Fanny Libertad González Torralva³²⁵,
Karla Ramírez Galicia³²⁵, Guadalupe Montserrat Valencia Trejo³²⁵, Rafael Ricardo Hernández Valera³²⁶,
Adriana Sánchez Guerrero³²⁵ y Ferman Juárez Mirón³²⁵

Resumen

La disponibilidad de agua dulce disminuye conforme incrementa la población humana y su actividad productiva. La producción de planta forestal en los viveros tecnificados consume cantidades importantes de agua, muchas veces en detrimento de otras actividades prioritarias de las comunidades, además de involucrar un uso ineficiente de productos químicos como fertilizantes, afectando el medio ambiente. El objetivo del presente proyecto fue desarrollar innovaciones al sistema tecnificado de producción de planta forestal, principalmente en lo relativo al sistema de fertirriego, para lograr un proceso de producción más amigable con el medio ambiente. Se realizó una serie de experimentos para probar la factibilidad del uso de un sistema de fertirriego por inundación, bajo diversas condiciones, intentando mantener, en la medida de lo posible, el uso de los mismos insumos utilizados en el sistema de producción tecnificada, con el objeto de facilitar la transición de los actuales viveros, hacia el sistema de inundación. Se determinó que el sistema de aspersión/regadera consume más del doble de agua, comparado con el de inundación, además de que la mayor parte de nutrimentos empleados en este último sistema son recuperables y reutilizables en algún otro proceso productivo, tal como la agricultura. El sistema está siendo adoptado por el Ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz; una comunidad con problema constante de escasez de agua.

Palabras clave: vivero forestal, riego por inundación, riego por aspersión, calidad de planta

³²⁵ Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. Autor de correspondencia: *lopezma@colpos.mx

³²⁶ Bosque de Aragón. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México.



Introducción

Los múltiples impactos de los seres humanos sobre el planeta han puesto en riesgo la disponibilidad de muchos de los recursos indispensables para la vida. Tal es el caso del recurso “agua”, cuyo ciclo natural se ha alterado, acelerándose su escurrimiento superficial hacia los océanos como consecuencia de la deforestación de regiones montañosas (Abbott *et al.*, 2019) y también, como resultado de la impermeabilización, mediante la pavimentación, de grandes superficies de terrenos ciudadanos (Chen *et al.*, 2022; Douville *et al.*, 2021). Una peligrosa consecuencia de la aceleración del ciclo del agua es la escasez que este recurso ha mostrado en muchas regiones del mundo, a la vez magnificada por el aumento de la demanda, debido al incremento de la población humana (Douville *et al.*, 2021).

Por otro lado, este recurso y otros más como el suelo han sido sujetos de severos procesos de contaminación con diversas sustancias entre las que destacan los desechos domésticos e industriales, producto de actividades antropogénicas (Rodríguez *et al.*, 2019).

Las actividades agrícolas en todo el mundo son destacables como generadoras, de manera importante, del tipo de impactos descritos anteriormente (Zúñiga y Mendoza, 2021). En efecto, 70% del agua dulce es utilizada actualmente en la producción agrícola. En estas tierras, año con año se aplica cantidades significativas de fertilizantes químicos y/u orgánicos, así como otros productos químicos, de manera más bien empírica, los cuales contribuyen a la contaminación de corrientes subterráneas y superficiales, así como todo tipo de cuerpos de agua, generando el fenómeno conocido como eutrofización (Rodríguez *et al.*, 2019).

Los viveros forestales tradicionales y tecnificados, hoy por hoy también contribuyen al consumo y contaminación del agua (Landis *et al.*, 1994). Por esta razón, un grupo de trabajo del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados ha centrado su esfuerzo en conocer estas deficiencias de los viveros forestales para buscar mecanismos para subsanarlas.

Se ha encontrado que la causa principal de la baja eficiencia en el uso del agua, así como de la contaminación de la superficie de suelo de los viveros forestales, es el sistema de riego por aspersión, comúnmente utilizado en este tipo de instalaciones (Mangiafico *et al.*, 2010). Diversos experimentos que se han desarrollado en el COLPOS indican que el uso de sistemas hidropónicos tales como el de subirrigación o el de inundación, resuelven la problemática mencionada, disminuyendo el consumo de agua y fertilizantes hasta en 89% (Ramírez *et al.*, 2022) y 73% (Juárez, 2023), respectivamente.



El presente trabajo tiene por objeto dar a conocer la innovación probada en los viveros forestales, así como el procedimiento de transferencia de la tecnología al ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz; una comunidad con escasez de agua.

Materiales y Métodos

Se realizaron seis experimentos de vivero, para probar la factibilidad del sistema de fertirriego por inundación en la producción de planta de siete especies forestales, variando algunos componentes y procesos del sistema. En todos los experimentos se ha procurado utilizar los materiales comúnmente usados en los viveros forestales tecnificados, con el fin de facilitar, en su momento, la transición hacia los viveros hidropónicos. En un primer experimento establecido en el predio Casa Redonda del Ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, se probó la producción de *Pinus patula* Schtl. et. Cham, *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ligelsch en zanjas de inundación, usando rejillas de 25 tubetes intercambiables. En este experimento se utilizó la solución nutritiva de Landis *et al.* (1989), a la cual se le adicionó 1.5 g/L de Cupravit® para prevenir la proliferación de hongos patógenos.

En el segundo experimento, el cual se desarrolló en el Bosque de Aragón, en la Ciudad de México, también se utilizó zanjas de inundación con rejillas de 25 tubetes. En este caso se estudió la producción de dos especies de pino: *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. y *Pinus greggii* Englem. La solución nutritiva utilizada para el fertirriego fue la sugerida por Landis *et al.* (1989), a la cual se le agregó 1 g/L de Captán®. Al mismo tiempo y en las mismas instalaciones se desarrollaron otros dos experimentos (tercero y cuarto). El tercero de los experimentos se desarrolló en zanjas de inundación, utilizando charolas de unicel (poliestireno) de 77 cavidades, para la producción de *Pinus patula* Schtl. et. Cham. En este experimento se probó los efectos de dos y tres fertirriegos por semana, así como el uso de dos fungicidas comerciales: Cupravit® y Captán®, además del uso o no de vermiculita en la mezcla de sustratos. El cuarto experimento se desarrolló en un cajón de madera impermeabilizado con plástico para invernadero, el cual sirvió como cama de crecimiento. Este experimento tuvo por objeto probar la producción de *Pinus montezumae* Lamb, así como el uso de un sustrato alternativo (biocarbón), en la mezcla de sustratos (peat-moss + biocarbón). El tipo de contenedor utilizado en este experimento fue la charola de poliestireno (unicel) de 77 cavidades. La solución nutritiva usada fue la de Landis *et al.* (1989), adicionada con 1 g/L de Captán®.



El quinto experimento tuvo por objeto, probar la producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en sistema de inundación. Se utilizó cajones de inundación de madera, establecidos sobre el nivel del suelo e impermeabilizados con plástico de invernadero. En este experimento se probó los efectos de tres sustratos preponderantes en las mezclas de sustratos: la turba de musgo (peat-moss), la fibra de coco y el aserrín; además, se probó tres tipos de envases (bolsa negra de plástico de 7X20 cm, charolas de poliestireno de 77 cavidades y rejillas con 25 tubetes intercambiables y dos sistemas de fertirriego: inundación y aspersion (con regadera). La solución nutritiva utilizada fue la de Landis *et al.* (1989), adicionada con 1 g/L de Captán®.

El último experimento Valencia-Trejo *et al.*, (en proceso) se estableció en un invernadero de la Universidad Autónoma Chapingo, sobre bancales de concreto en forma de cajas de 3X1.5X0.3 m (largo, ancho y alto, respectivamente). Utilizando rejillas de 25 tubetes intercambiables de 310 mL, se probó la producción de *Prosopis laevigata* (Humb. *et* Bonpl. ex Willd) bajo dos sistemas de fertirriego: inundación y aspersion (regadera); dos soluciones nutritivas: Landis, *et al.* (1989) y Peters® y tres mezclas de sustratos alternativas M1: turba de musgo (60%), perlita (30%) y vermiculita (10%); M2: turba de musgo (40%), corteza de pino triturada (20%), perlita (30%) y vermiculita (10%); M3: turba de musgo (40%), fibra de coco (20%), perlita (30%) y vermiculita (10%). La combinación de los niveles produjo 12 tratamientos, cada uno replicado cuatro veces. La cantidad total de plantas en el experimento fue de 1200 (600 de inundación y 600 de regadera).

En todos los experimentos se evaluó altura de planta (medido con regla graduada), diámetro basal (con vernier digital) y biomasa de parte aérea, radical y total (balanza analítica). Con estas mediciones se estimó los indicadores de calidad de planta (Índice de esbeltez [altura/diámetro], cociente biomasa aérea/biomasa radical e índice de Dickson, calculado mediante la siguiente fórmula (Villalón Mendoza *et al.* (2016):

Índice de Dickson = biomasa total / ((altura / diámetro basal) + (biomasa aérea / biomasa de raíz))

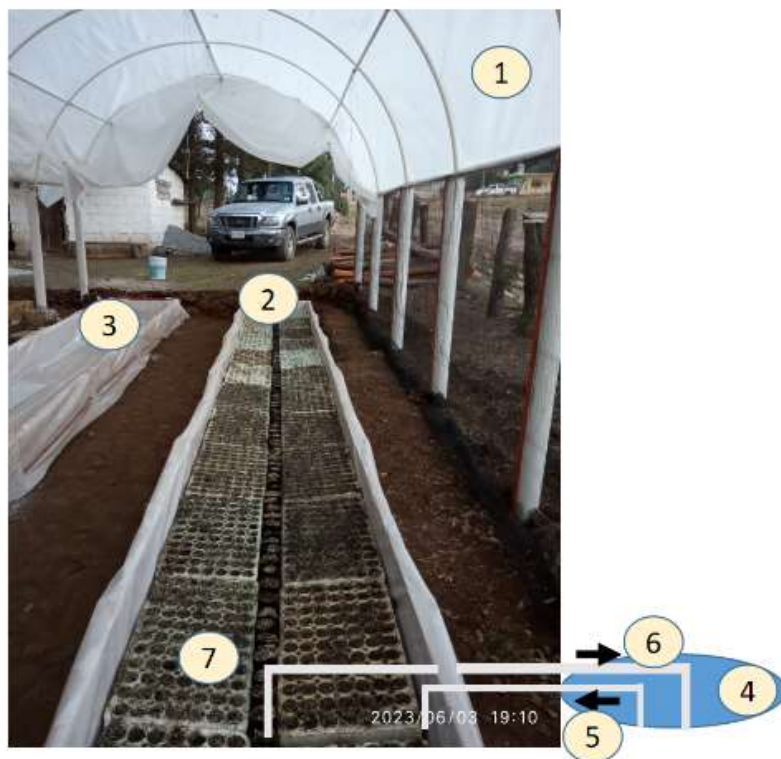
Donde los valores de las biomasa se inscriben en gramos, la altura en centímetros y el diámetro basal en milímetros.

Con excepción de los experimentos 1 y 3, el diseño experimental utilizado fue el completamente al azar. El experimento 1 se estableció de acuerdo con un diseño experimental de bloques completos al azar, mientras que el experimento 3 utilizó un diseño en parcelas subdivididas. Mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, se verificó la normalidad de las variables de respuesta. Cuando una variable no mostró distribución normal, se intentó lograr la normalidad mediante su transformación



raíz cuadrada o logaritmo natural. Habiéndose logrado la normalidad en todas las variables, éstas se analizaron mediante análisis de varianza, seguido por pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

El sistema de fertirriego consiste en establecer los contenedores con planta (componente 7, Figura 1) dentro de las zanjias o cajas de crecimiento (componente 2, Figura 1). Mediante una bomba sumergible instalada en el interior de la cisterna (componente 4, Figura 1), se eleva la solución nutritiva y se conduce, a través de la tubería de alimentación (componente 5, Figura 1), hacia las camas, cajas o zanjias de crecimiento. Esta operación puede hacerse dos o tres veces por semana, según las temperaturas bajo el techo o invernadero. Cuando el nivel de la solución nutritiva dentro de la caja de crecimiento alcanza el cuello de la raíz de las plantas, la solución nutritiva se regresa hacia la cisterna de almacenamiento, a través de la tubería de retorno (componente 6, Figura 1) por efecto sifón. La cantidad de solución nutritiva que regresa, sin embargo, no es la misma que se introdujo a la caja de crecimiento; parte de ella se queda en el sustrato. Por tanto, es importante rellenar con agua la cisterna después de cada inundación, para que siempre tenga el nivel original de solución nutritiva.



Componentes del sistema:

1. Techo
2. Caja de crecimiento
3. Plástico de invernadero para impermeabilización de caja
4. Cisterna bajo el nivel del suelo, con bomba sumergible y solución nutritiva
5. Tubo de alimentación
6. Tubo de retorno tipo sifón
7. Charolas de crecimiento

Figura 1. Diagrama general del sistema de fertirriego por inundación, para la producción de planta forestal.



Debido a que las plantas absorben los nutrimentos contenidos en la solución nutritiva en forma diferenciada, el balance nutrimental de la misma se desequilibra gradualmente, por lo que es necesario cambiar la solución nutritiva, preferentemente de manera quincenal. No obstante, esto puede representar un consumo importante de agua y de nutrimentos a lo largo del ciclo de producción.

Si bien implica un aumento en los costos de producción de planta, una manera probada de evitar este desperdicio de solución nutritiva y maximizar el ahorro de agua y de fertilizantes, consiste en determinar las concentraciones de nutrimentos en la solución nutritiva de manera quincenal si es posible, mediante análisis químico de la misma. De esta forma, se determina fácilmente la cantidad faltante de cada ion o radical dentro de la solución nutritiva después de 15 días de uso y simplemente se agregan las cantidades faltantes.

Dado que aún no se ha probado si es posible prescindir del uso de fungicidas en la solución nutritiva, es deseable agregar alguno de ellos para evitar la propagación de enfermedades de origen fúngico. En las pruebas realizadas se ha utilizado Cupravit® y Captán®, con buenos resultados en ambos casos.

Después del desarrollo de los mencionados experimentos, análisis de la planta en el vivero y de realizadas pruebas de sobrevivencia y crecimiento inicial en campo, se tiene la seguridad de la funcionalidad del sistema. Por esta razón, se hicieron negociaciones con las autoridades del Ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, para lograr la instalación de un pequeño techo de plástico con capacidad para producción de 8,000 plantas en charolas de poliestireno de 77 cavidades, aunque también se implementó la producción de 800 plantas en bolsa negra de 10 X 25 cm. Toda la producción se ha implementado mediante el uso de la mezcla clásica de turba de musgo (peat-moss), perlita y vermiculita, en proporción 6:3:1, vol:vol:vol). El inconveniente de la bolsa de plástico es que su volumen es bastante grande, lo que eleva los costos de producción, si se utilizan los mencionados sustratos inertes comerciales.

Resultados y Discusión

Sistema de fertirriego por inundación versus aspersión con regadera

El Cuadro 1 muestra que ni la altura de la planta (At) ni el diámetro basal (DB) de las coníferas estudiadas fueron afectados por el sistema de fertirriego, aunque en el caso de *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ligels, At sí fue estadísticamente superior (25%) con el fertirriego por aspersión con regadera,



comparado con el de inundación, no obstante que las plantas de fresno de inundación superaron el estándar indicado por la CONAFOR (2010) para altura de planta ($At > 20$ cm) en un período de crecimiento de cinco meses en el vivero.

Cuadro 1. Pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) para variables morfológicas e índice de Dickson de tres especies forestales crecidas en dos sistemas de fertirriego y dos mezclas de sustratos (de Ramírez *et al.*, 2022).

F.V.	<i>P. patula</i> Schl. et Cham			<i>P. pseudostrabus</i> Lindl.			<i>F. uhdei</i> (Wenz.) Ligelsch		
	At (cm)	DB (mm)	ID	At (cm)	DB (mm)	ID	At (cm)	DB (mm)	ID
Reg	36.96a	5.47a	0.64a	32.64a	5.16a	0.68a	30.46a	8.42a	2.41a
Inu	37.40a	4.92a	0.47b	31.96a	4.77a	0.44b	22.91b	8.39a	1.68a

F.V: Fuente de variación; Reg: Fertirriego con regadera; Inu: Fertirriego por inundación; At: Altura total de planta (cm), DB: Diámetro basal de planta (mm); ID: Índice de Dickson.

En el caso de las coníferas, la ausencia de diferencias significativas en At y DB entre los sistemas de fertirriego probados, indica que es indiferente la implementación de uno u otro sistema y que la decisión para adoptar el sistema de fertirriego debe basarse en criterios distintos a los factores probados.

De acuerdo con el índice de calidad de Dickson, sólo las coníferas se vieron afectadas por el sistema de fertirriego, habiendo sido estadísticamente superior el de regadera que el de inundación.

Los resultados anteriores contrastan con los correspondientes a *Pinus montezumae* Lamb. (Juárez, 2023), quien encontró que el sistema de fertirriego por inundación produjo mejores valores de las variables de crecimiento Peso Seco de Raíz (PSR) y Peso Seco de Follaje (PSF), así como del índice de Dickson (ID) (Figura 2), no obstante que las variables biomasa aérea/biomasa subterránea (Ba/Bs) e Índice de Robustez ($IR=Altura/diámetro$) presentaron mejores valores con el sistema de fertirriego de aspersión con regadera que con el de inundación, toda vez que valores mayores de estas variables indican menor calidad de planta (Quiroz *et al.*, 2009).

En el caso del mezquite (*Prosopis laevigata*) a seis meses de estancia de la planta en el vivero, Valencia-Trejo (en proceso) encontró que el sistema de inundación generó mayores valores en las variables altura (Alt), diámetro basal (DB), biomasa aérea (BA), biomasa de raíz (BR), biomasa total (BT) y número de hojas (NH), en comparación con el sistema de aspersión (regadera; Figura 3).

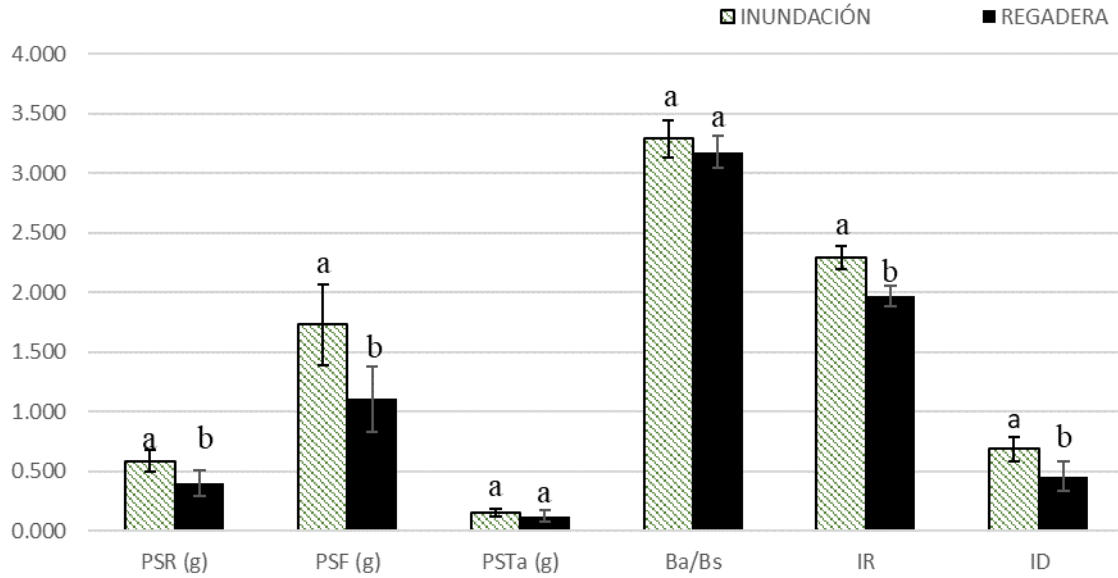


Figura 2. Pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$) para variables morfológicas y de calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. crecida bajo dos sistemas de fertirriego (de Juárez, 2023).

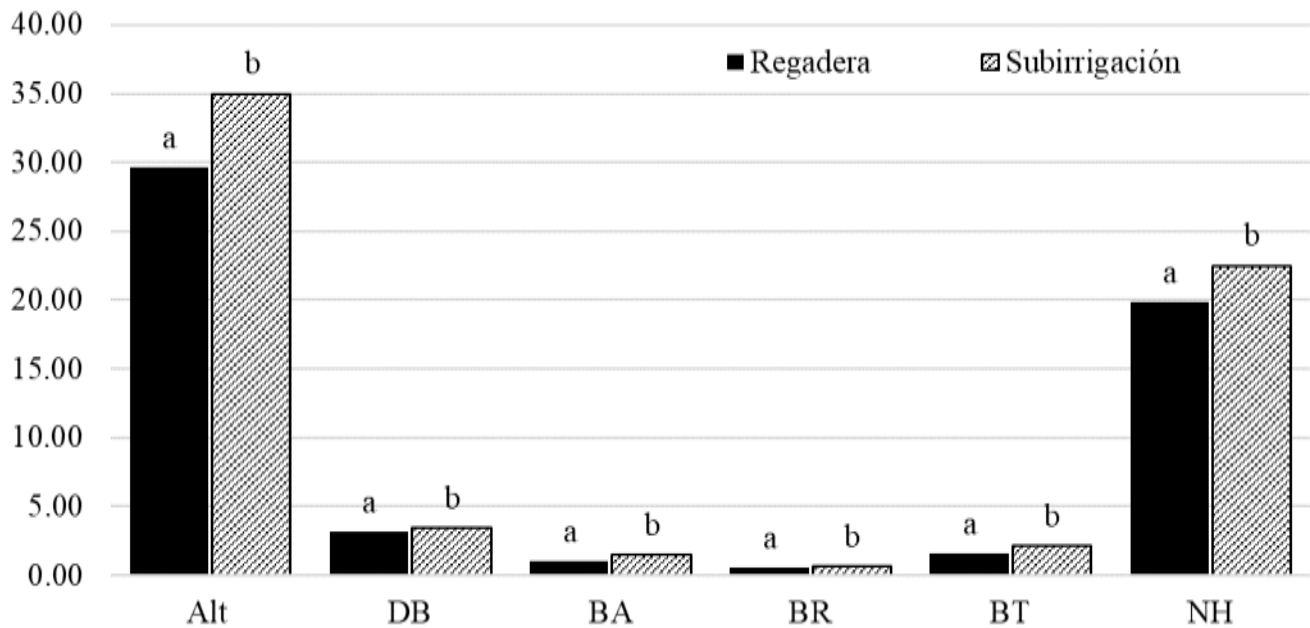


Figura 3. Comportamiento de variables morfológicas en plántulas de mezquite sujetas a dos sistemas de fertirriego (regadera e inundación). Alt: altura total (cm); DB: diámetro basal (mm); BA: biomasa aérea (g); BR; biomasa raíz (g); BT: biomasa total (g); NH: número de hojas. Para una variable de respuesta, letras iguales indican diferencias no significativas entre sistemas de fertirriego (Tukey $\alpha=0.05$).

En coincidencia con *Pinus montezumae*, *Prosopis laevigata* también mostró mayores valores de BA/BS e Ies bajo el sistema de inundación (Figura 4). Esto indica que este efecto del fertirriego por inundación



es consistente, aunque es un efecto negativo por corresponder a plantas con mayor biomasa aérea y menor biomasa subterránea, así como a plantas más altas y delgadas.

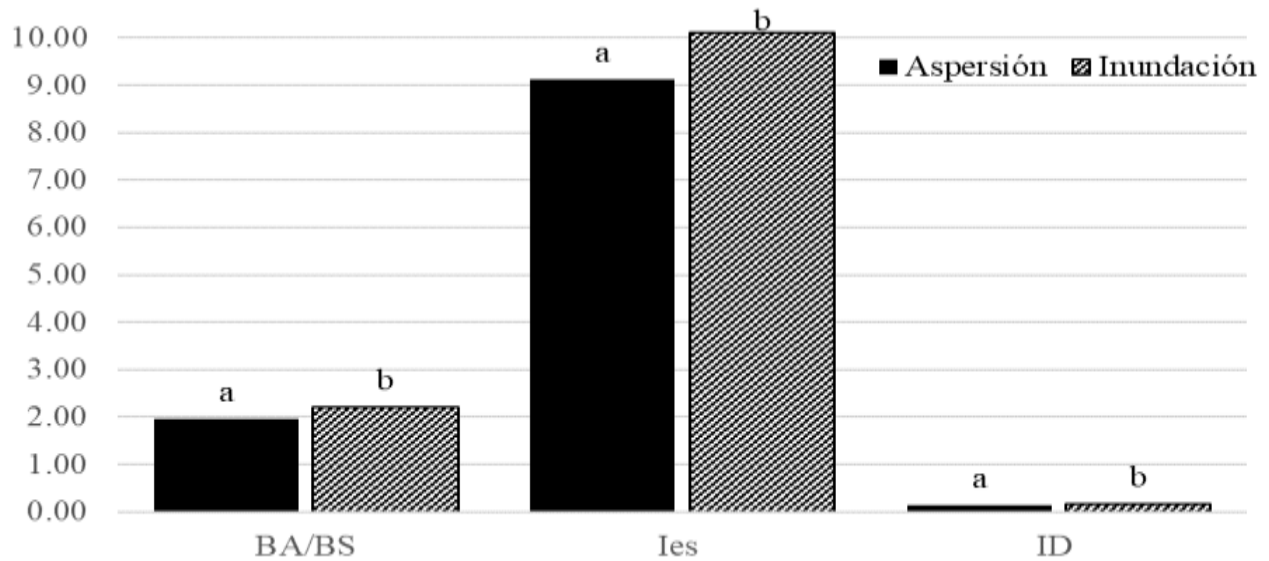


Figura 4. Comportamiento de variables de calidad en plántulas de mezquite sujetas a dos sistemas de fertirriego: aspersion (regadera) o inundación. BA/BS: relación biomasa aérea/biomasa subterránea; Ies: índice de esbeltez; ID: índice de Dickson. Para una variable respuesta, letras iguales indican diferencias no significativas entre sistemas de fertirriego (Tukey $\alpha=0.05$).

Martínez *et al.*, (en proceso) reporta valores estadísticamente superiores para las dimensiones de planta de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el sistema de fertirriego por aspersion con regadera que, por inundación, excepto en el caso de la altura de planta (Cuadro 2), variable que no mostró diferencias entre sistemas de fertirriego. Es menester mencionar que, tanto en el caso del estudio de Martínez *et al.*, (en proceso), como en el de Ramírez *et al.* (2022), las plantas sujetas a fertirriego por aspersion con regadera recibieron fertilización de liberación lenta mezclada en el sustrato (Multicote 18-06-12; 7 y 8 g/L, respectivamente). Este sistema de producción de planta forestal ha mostrado buenos resultados en cuanto a crecimiento y calidad de planta (González *et al.*, 2018). Sin embargo, la cantidad de fertilizante utilizada en el sistema y especialmente la cantidad de fertilizante no aprovechado por las plantas y eliminado hacia el suelo en forma de contaminante, a través de los lixiviados emitidos por los contenedores, es significativa (Dumroese *et al.*, 2006).



Cuadro 2. Pruebas de Tukey ($\alpha = 0.05$) para variables morfológicas de planta de *Pinus pseudostrabus* Lindl. cultivadas en dos sistemas de fertirriego (de Martínez *et al.*, en proceso).

Sistema de fertirriego	Diámetro basal (mm)	Altura (cm)	Biomasa radical (g)	Biomasa aérea (g)
Inundación	2.637 b	14.170 a	0.246 b	0.879 b
Aspersión/regadera	2.948 a	14.252 a	0.353 a	1.196 a

Dentro de una variable, letras distintas indican diferencias significativas entre sistemas de fertirriego (Tukey, $\alpha = 0.05$).

A diferencia de los estudios de Ramírez *et al.* (2022) y Martínez *et al.* (en proceso), en los estudios de Juárez (2023) y Valencia-Trejo (en proceso) no se utilizó fertilizante de liberación lenta. En estos casos, ambos sistemas de fertirriego utilizaron las mismas soluciones nutritivas (Landis *et al.*, 1989 en el caso del estudio de Juárez (2023), y Landis *et al.* (1989) y Peters en el caso del estudio de Valencia-Trejo (en proceso). En estos experimentos, el fertirriego por inundación produjo valores superiores en todas las variables (Figuras 2, 3 y 4), excepto PSTa y relación BA/BS (Figura 2). La diferencia en resultados entre estos experimentos y los de Ramírez *et al.* (2022) y Martínez *et al.* (en proceso), indica que 1) los menores valores obtenidos en el sistema de inundación por los últimos autores, fueron resultado de la baja capacidad de la solución nutritiva de Landis *et al.* (1989) para abastecer adecuadamente de nutrimentos a las plantas, en comparación con el fertilizante de liberación lenta y 2) en los mencionados estudios (Ramírez *et al.*, 2022 y Martínez *et al.*, en proceso), si se hubiese utilizado la misma fuente de fertilización en ambos sistemas de fertirriego (Landis *et al.*, 1989), las dimensiones de las plantas probablemente hubiesen sido iguales o incluso superiores, en el sistema de inundación que en el de aspersión/regadera, como sucedió en los estudios de Juárez (2023) y Valencia-Trejo (en proceso).

En cuanto al uso de agua en los sistemas de fertirriego por inundación y aspersión/regadera, los estudios de Ramírez *et al.* (2022) y Juárez (2023), indicaron que el sistema de aspersión/regadera consume 219% y 207% de agua, respectivamente, en comparación con el sistema de inundación. Con ahorros de agua de estas magnitudes en los viveros por inundación, aunados a la obtención de planta de igual o mejor calidad que la producida en sistemas de aspersión, no es posible soslayar las acciones que conduzcan hacia la adopción del sistema de inundación en los viveros forestales, ahora que este recurso es escaso en muchas partes del mundo (World Meteorological Organization, 2021).

En referencia al uso de fertilizantes en los viveros forestales, los estudios realizados por el grupo de trabajo del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados indican que el uso total de



nutrimentos en el sistema de inundación es variable y puede ser inferior o superior que en el sistema de aspersión/regadera (Cuadro 3). No obstante, si se considera que en el sistema de inundación se recupera la solución nutritiva al final de cada fase de crecimiento de la planta (iniciación, crecimiento exponencial y lignificación), la cantidad de nutrimentos “no recuperables” en este sistema es mínima, mientras que en el sistema de aspersión/regadera no es posible recuperar los nutrimentos usados en la operación del sistema. Considerando la recuperación de la mayor parte de nutrimentos en el sistema de inundación, aún en los casos en que se utilice mayor cantidad de fertilizantes en el sistema de inundación que en el de aspersión/regadera, la eficiencia general en el uso de estos materiales es muy superior en el sistema de inundación, dado que éste permite el reciclamiento de los nutrimentos y su reutilización en otro sistema productivo.

Cuadro 3. Cantidades totales de materiales fertilizantes utilizados en tres experimentos de producción de planta bajo sistemas de fertirriego por inundación y aspersión.

Autor	Sánchez <i>et al.</i> (en proceso)	Juárez (2023)	Martínez <i>et al.</i> (en proceso)
Cantidad de planta producida	1120	294	1,064
Inundación (g)	938.9	895.2	4,863
Aspersión (g)	---	3,374	2,725

Otro aspecto a tomar en cuenta, se refiere al desempeño en campo de las plántulas, debido a que éste representa la prueba final de la calidad del material producido en el vivero (Cetina *et al.*, 2002). Los resultados del estudio de Ramírez *et al.* (2021; Figura 5) indican que a seis meses de establecidas las plantas de *Pinus patula* y de *Pinus pseudostrobus* en el sitio de plantación, en ninguna de las especies hubo diferencias entre plantas provenientes de inundación o aspersión/regadera, ni en altura ni en diámetro basal. Esto implica que este criterio es irrelevante y la selección del sistema de fertirriego debiera basarse en otros criterios, tales como el consumo de agua y de nutrimentos y la contaminación que cada sistema puede generar.

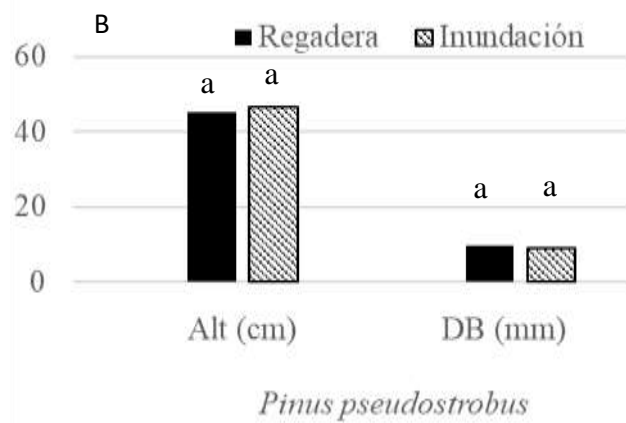
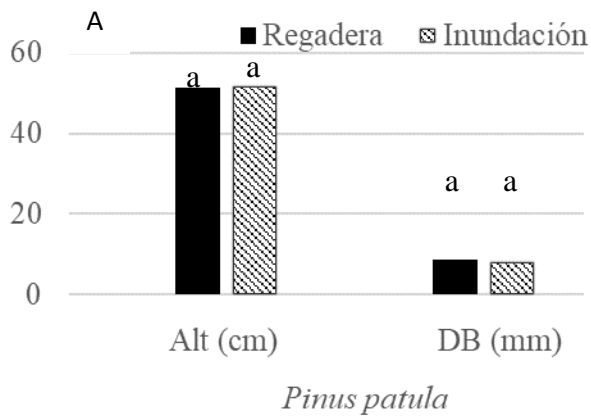


Figura 5. Comportamiento de la altura (Alt) y diámetro basal (DB) de plantas de A) *Pinus patula* y B) *Pinus pseudostrobus*, crecidas en dos sistemas de fertirriego y dos sustratos base. Dentro de un sistema de fertirriego o sustrato base, letras iguales significan diferencias no significativas.

Transferencia de la innovación al ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz

La innovación desarrollada por el grupo de trabajo está siendo transferida para su aplicación en el Ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz. Se trata de un ejido forestal en el que se ha adoptado la práctica de la regeneración artificial del bosque aprovechado; es decir, después de la corta de regeneración, se establece, por plantación, la regeneración. Esta práctica, sin embargo, ha representado algunos retos para la comunidad, toda vez que, con frecuencia, es necesario adquirir la planta en viveros comerciales de otras localidades.

La escasez de agua en la comunidad representa una limitante importante para el correcto funcionamiento del pequeño vivero forestal con el que se cuenta, ya que el ejido no tiene fuentes de agua propias, sino que el agua para la comunidad proviene de otra localidad. En estas condiciones, la introducción de la innovación está resultando de gran utilidad para mitigar la problemática de la escasez de agua en la comunidad.

Conclusiones

1. El sistema de inundación permite un ahorro de alrededor de la mitad del agua utilizada en el sistema de aspersión/regadera, y la calidad de planta es similar o mejor en el sistema por



inundación respecto al tecnificado, considerando las variables morfológicas e índices de calidad más importantes.

2. El sistema de inundación disminuye la contaminación de los suelos por el uso de los fertilizantes; así también se puede implementar con materiales de más bajo costo, especialmente en regiones donde hay escasez de agua.

Agradecimientos

Al Ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Ver. por las facilidades brindadas y el interés en la adopción de la innovación. Al Colegio de Postgraduados, por el apoyo para el desarrollo del proyecto.

Literatura Citada

Abbott, B.W., K. Bishop, J. P. Zarnetske, D.M. Hannah, R.J. Frei, C. Minaudo. *et al.* 2019. A wáter cycle for the anthropocene. Wiley. Hydrological Processes, 1–7. DOI: 10.1002/hyp.13544.

Chen, C.F., J. Lin W. and J. Lin Y. 2022. Hydrological Cycle Performance at a Permeable Pavement Site and a Raingarden Site in a Subtropical Region. Land 11(951). 1-16. <https://doi.org/10.3390/land11060951>.

Cetina, Á. V. M, V. A. González H., Ma. L. Ortega D., J. Vargas H. y A. Villegas M. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggi* Engelm. Previamente sometido a podas y sequía en vivero. Agrociencia 36(2): 233- 241.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. Prácticas de Reforestación. Manual Básico. Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración. Comisión Nacional Forestal. SEMARNAT. México, D. F. México. 66 p.



Douville, H., K. Raghavan, J. Renwick, R.P. Allan, P.A. Arias, M. Barlow. *et al.* 2021. Water Cycle Changes. p. 1055–1210. In: Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, *et al* (eds.). *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.010.

Dumroese, K. R., J. Pinto R., D. Jacobs F., A. Davis S and B. Horiuchi. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal* 7(3): 253-261.

González O. M. M., J. Á. Prieto R., A. Aldrete, J. C. Hernández D., J. A. Chávez S. y R. Rodríguez L. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(48):203-226. DOI:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i48.125>.

Juárez M, F. 2023. Sistemas de fertirriego y sustratos en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. 42 p.

Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald, and J. P. Barnett. 1994. Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Vol 1. Manual Agrícola 674. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América, Servicio Forestal. México. 188 p.

Mangiafico, S.S., J. Newman, M. Mochizuki, D. Zurawski, D.J. Merhaut, and B. Faber. 2010. Nurseries surveyed in southern California adopt best practices for water quality. *Calif. Agr.* 64:26–30.



- Quiroz M. I., E. García R., M. González O., P. Chung G. y H. Soto G. 2009. Vivero Forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. INFOR, Ministerio de Agricultura. Concepción, Chile. 128 p. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26345/INFOR-0049.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado en junio del 2023].
- Ramírez G. K., M. Á. López L., V. M. Cetina A. y L. Mohedano C. 2022. Prototipo de vivero forestal con fertirriego por subirrigación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 13(74): 174-185. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1195> .
- Rodríguez E., N., McLaughlin, M. y Pennock, D. 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO. (<https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>). 130 p.
- Sánchez G. A., M. Á. López L., T, M, González M, y R. R. Hernández V. 2023. Aspectos de manejo en la producción de planta de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en sistema de inundación. En prensa.
- Valencia T. G. M. 2023. Labores culturales para la producción de planta de calidad de especies nativas en el Parque Estatal Sierra de Guadalupe. Tesis de Doctorado en Ciencias. Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. En Proceso
- Villalón M. H., J. C. Ramos-Reyes, J. A. Vega-López, B. Marino, M. Á. Muños-Palomino y F. Garza-Ocañas. 2016. Indicadores de calidad de planta de *Quercus canby Trel.* (encino) en vivero forestal. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 12(1): 46-52.
- World Meteorological Organization. 2021. Wake up to the looming water crisis, report warns. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wake-looming-water-crisis-report-warns>.



TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE GUAYABA MEDIANTE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES HERBÁCEOS

Jaime Negrín Ruiz³²⁷, Wendy Espinoza Sandoval^{327*}, Tania Romero Figueira³²⁷, Sandra Luz Hernández Valladolid³²⁷, Anastasio Nanco Ortiz³²⁷ y Monserrat Sorcia Morales³²⁷

Resumen

Se realizó una producción de plantas mediante el enraizamiento de esquejes herbáceos de guayaba en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, Cuitláhuac, Veracruz. Fueron cortados esquejes herbáceos de guayaba (cv. Emira y EEA 1-23) y sometidos durante 15 minutos en una solución de ácido indol acético (AIA) a 5 mg/L y colocados en bolsas con un sustrato de suelo con arena (relación vol./vol. 5:2). Las bolsas se colocaron en camas con un sistema de riego automatizado con nebulizadores que garantizaba una humedad relativa superior al 80%. A las 13 semanas las plántulas fueron fertilizadas con NPK 17-17-17 fórmula completa a razón de 5 g/bolsa. Se realizaron podas de brotes con la finalidad de dejar un único tallo por planta para ser comercializadas con una altura de 40 a 50 cm. Se realizó un análisis económico de la actividad teniendo en cuenta los costos de construcción del lecho de enraizamiento y el vivero, 3ws2 para un tiempo de vida útil de cinco años. Se determinaron los costos por planta, el punto de equilibrio y el valor neto actualizado (VAN) para cinco años. Los resultados arrojaron un enraizamiento del 80% (1360 plantas en cada ciclo de producción de seis meses). El análisis económico arrojó un costo de \$5.15/plántula. Se obtuvo un valor actualizado neto (VAN) de \$ 249,112.52 recuperándose la inversión en el primer año.

Palabras clave: enraizamiento, guayaba, plantas

³²⁷ Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. * Autor de correspondencia wendy.espinoza@utc.edu.mx



Introducción

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una de las frutas tropicales con más perspectiva de desarrollo agrícola fundamentalmente de cultivares con un alto potencial productivo (Cañizares, 1968; Peña, Álvarez y Rodríguez, 1996; MINAGRI, 2010). Este cultivo es muy versátil al ser consumida cruda o en conservas. En el estado de Veracruz existe un limitado número de áreas dedicadas a la producción de esta especie. El área dedicada a producir en el 2015 este frutal de forma comercial es de solo 22 hectáreas con un rendimiento promedio de 8.9 t/ha de genotipos locales no selectos de baja calidad comercial (SIAP, 2016). Sus frutas se caracterizan por ser pequeños, con muchas semillas, bajo porcentaje de pulpa, de color amarillo y ácido. Los árboles tienen una baja producción y son de porte medio lo que dificulta la cosecha. La propagación se realiza fundamentalmente de forma sexual (por semillas) en viveros no especializados, dilatándose el tiempo de producción de las plántulas en más de un año y de baja calidad comercial. Este método no garantiza plántulas de alta calidad además de incrementarse el periodo pre productivo de las mismas una vez establecida la huerta frutal. Otro inconveniente que presenta es que el ciclo de producción en viveros dilata alrededor de 14 meses. Los aspectos antes mencionados conllevan a las bajas producciones y a no ser atractivo su cultivo, así como la producción de plántulas en viveros. Sin embargo, las condiciones de clima y suelo de la región son aptas para el cultivo, además de existir en otros estados de México cultivares nacionales o foráneos con mayor calidad de fruta y potencial productivo. Por otro lado, se han desarrollado métodos más eficientes de propagación que acortan el tiempo de producción de plántulas en viveros haciendo más rentable esta actividad. Dentro de estos métodos sobresale la propagación por enraizamiento de esquejes herbáceos empleando un sistema de riego de alta frecuencia que evita la deshidratación del material de propagación conjuntamente con el empleo de enraizadores (Ramírez *et al.*, 2003; Padilla *et al.*, 2010, Ramos *et al.*, 2013).

Esta tecnología se ha desarrollado con mucho éxito en Cuba y Venezuela permitiendo acortar el ciclo de producción de plántulas, mayor producción por unidad de superficie y un menor costo (Rodríguez *et al.*, 2005; Díaz, 2006).

Estas tecnologías requieren de un alto porcentaje de humedad para evitar la deshidratación del material de propagación lo cual se logra con la automatización del riego mediante circuitos electrónicos (Tejeda *et al.*, 2013).



El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un proceso de producción de plantas de guayaba mediante enraizamiento de esquejes herbáceos en la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, realizando un análisis económico de esta tecnología.

Materiales y Métodos

Producción de plántulas

El presente trabajo se realizó entre los meses de diciembre del 2018 a agosto del 2020 en áreas de campo de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz (UTCV), municipio Cuitláhuac, Veracruz.

Se utilizó un invernadero rústico que fungía como lecho de enraizamiento el cual tenía dos camas de block de 0.4 m de altura por 1.10 m ancho y 7.0 m de largo. Las camas estaban rellenas con 15 cm de grava gruesa. Estas fueron esterilizadas con formol al 3% y tapadas con plástico durante 36 horas para la posterior colocación de bolsas (Figura 1).



Figura 1. Esterilización de camas con formol al 3% y posterior cubrimiento con plástico por 36 horas.

Se emplearon bolsas de polietileno de 30x15 cm, las cuales se rellenan con sustrato extraído de la rivera de ríos con un buen drenaje y materia orgánica. Los últimos 5 cm de la bolsa se rellenan con arena. Las bolsas se colocaron en las camas (Figura 2)



Figura 2. Relleno de bolsas con sustrato y arena colocadas en las camas de block.

En campo, se cortaron esquejes herbáceos de guayabo de los cultivares de porte bajo EEA 1-23 y Emira. Para ello se emplearon tijeras de vivero contando ramas herbáceas terminales a las que se le eliminó las hojas apicales tiernas por ser de fácil deshidratación. Cada esqueje contaba con dos pares de hojas las cuales se les cercenó la mitad de las mismas. Posteriormente fueron colocados los esquejes durante 15 minutos en una solución de AIA a 5 mg/L. Los esquejes fueron colocados en las bolsas (Figura 3)



Figura 3. Corte de esquejes en campo y colocación en las bolsas ubicadas en las camas.

El lecho de enraizamiento contó además con un sistema de riego automatizado mediante un Arduino programado para la apertura de electroválvulas, simultáneamente con el encendido de una bomba eléctrica de riego, aplicándose el agua a las camas con nebulizadores. El encendido del sistema riego se realizó de forma cíclica con el objetivo de mantener una humedad relativa por encima del 80% para evitar la deshidratación de los esquejes (Figura 4).



Figura 4. Circuito Arduino empleado en la programación automatizada del sistema de riego.

Una vez enraizado los esquejes, se disminuyó el tiempo de riego y se realizaron podas de brotes con el objetivo de dejar un solo brote por plántula y que la misma alcanzara una altura de 40 cm que es la recomendable para la venta. El ciclo de producción tiene una duración de 6 meses. Se determinó el porcentaje de plántulas enraizadas y de sobrevivencia en el proceso productivo.

Análisis económico

Se determinó el costo de construcción del invernadero y la amortización del mismo para 6 meses (ciclo de una producción de plántulas) considerando el tiempo de vida útil del mismo para cinco años (Anexo I). Se estimaron los costos fijos y variables en un ciclo de producción y a partir de estos, y considerando un precio de venta \$30.00 por plántulas, se calculó el costo por plántula y las utilidades. Se realizó una corrida financiera para cinco años determinándose la Valor Neto Actualizado (VAN) y el Tiempo de Recuperación de la Inversión (TIR) empleando una tasa de interés del 12% anual.

Resultados

La Figura 5 muestra el desarrollo del enraizado en diferentes etapas productivas. Se puede apreciar un excelente desarrollo radicular de las plántulas lo que garantiza un acelerado crecimiento posterior al aplicar la fertilización mineral.

Se obtuvo, para ambos cultivares de guayabo, un 85% de enraizamiento de las plántulas y una sobrevivencia del 80% una vez enraizadas con el tamaño adecuado para la venta (30 cm de altura). También se pudo comprobar la precocidad productiva que le infiere esta forma de propagación a las

plántulas ya que un 83% de las mismas presentaban botones florales, flores o frutos al alcanzar la calidad para la venta (Figura 6).

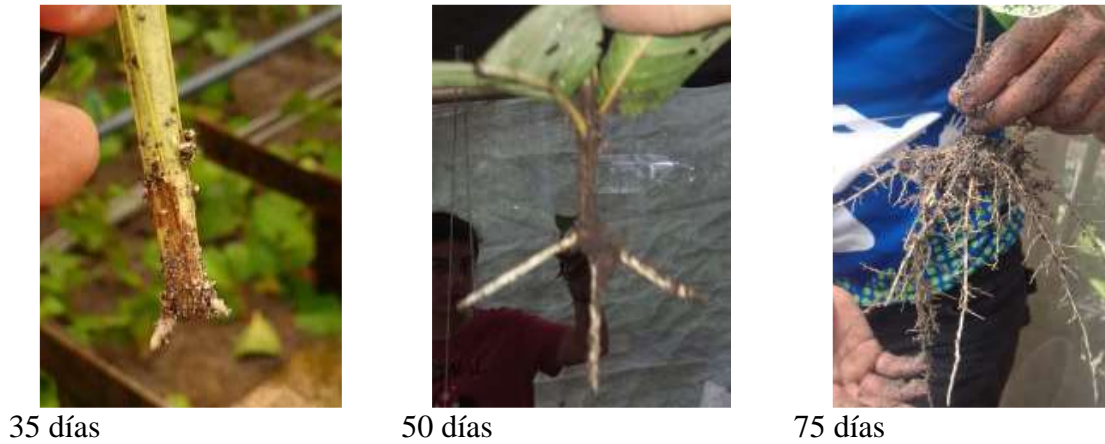


Figura 5. Evolución de la emisión de raíces en los esquejes herbáceos sometidos a 5 mg/L de AIA y a una humedad relativa superior al 80%.



Figura 6. Evolución de la parte aérea de plántulas de guayaba posteriores al enraizamiento de los esquejes. Obsérvese la presencia de botones florales, flores o frutos.

Análisis económico

El Anexo I muestra que el costo total de construcción del invernadero es de \$ 18 539.00 y la tasa de amortización en un ciclo de producción \$1853.90 por ciclo. Para su cálculo se asumió que el tiempo de vida útil del invernadero es de cinco años y un ciclo de producción de seis meses.



En el Anexo II, se observa el consumo de agua del sistema de riego en las diferentes semanas del proceso de producción ya que los tiempos de riegos aplicados fueron variables dependiendo de la presencia o no de raíces y la emisión de brotes vegetativos. El Cuadro 1 muestra los costos fijos en un ciclo de producción de seis meses, observándose que los principales gastos están relacionados con la amortización del invernadero.

Cuadro 1. Determinación de los costos fijos por planta en un ciclo de producción.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Costo
Electricidad	kW	25 kW/h	\$ 0.793 kW/h	\$ 19.82
Agua	m ³	2.289	\$ 14.33/m ³	\$ 32.80
Amortización invernadero	-	-	-	\$ 1853.90
Total				\$ 1906.52

En cuanto a los costos unitarios (Cuadro 2) se observa que tiene un valor de \$ 3.75 por planta (sin considerar los costos fijos)

Cuadro 2. Determinación de costos unitario (por planta) para una capacidad de 1700 plántulas por ciclo de producción y un 80% de eficiencia del proceso de enraizamiento (1360 plántulas).

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Costo	Costo/planta
Arena	m ³	2	\$ 220.00/m ³	\$ 440.00	\$ 0.3234
Sustrato de río	m ³	5	\$ 185.00/m ³	\$ 925.00	\$ 0.6801
Bolsas (15x30) cm	kg	16	\$ 32.00/kg	\$ 512.00	\$ 0.3764
Llenado bolsa	horas	40	\$ 30.00/h	\$ 1200.00	\$ 0.8823
Esquejes	u	1700	\$ 0.5/u	\$ 850.00	\$ 0.6250
Corte de esquejes	horas	8	\$ 30.00/h	\$ 240.00	\$ 0.1764
Hormonas (AIA)	Litros	8	\$ 50.00/L	\$ 400.00	\$ 0.2941
NPK (17-17-17)	kg	20.4	\$ 15.00/kg	\$ 306.00	\$0.2250
Fertilización	horas	8	\$ 30.00/h	\$ 240.00	\$0.170
Total				\$ 5113.00	\$ 3.7527



A partir de estos valores de costos fijos y unitarios y partiendo una producción de 1360 plántulas por ciclo de producción (80% de los esquejes enraizados), se calcularon las utilidades brutas y el punto de equilibrio en un ciclo productivo, entendiéndose este último, como el mínimo de esquejes necesarios para no obtener pérdidas en el proceso.

$$U = I - CT$$

U: Utilidades

I: Ingresos

CT: Costos Totales

$$U = I - CT$$

U: Utilidades

I: Ingresos

CT: Costos Totales

$$U = I - CT$$

U: Utilidades

I: Ingresos

CT: Costos Totales

$$CT = CF + CV$$

CF: Costos Fijos

CV: Costos Variables

$$CV = CuxQ$$

Cu: Costo unitario

Q: Número de Unidades

El cálculo de las utilidades arroja una ganancia bruta de \$ 33790.76 (no se tiene en cuenta tasas de interés o inflación) en cada ciclo de producción.

$$U = PxQ - (CF + CuxQ)$$

$$U = \$30.00 \text{ plántula} \times 1360 \text{ plántulas} - (\$ 1906.52 - \$ 3.7527 \times 1360 \text{ plántulas})$$

$$U = \$ 40800.00 - (\$ 1906.52 + \$ 5102.62) = \$ 40800 - \$ 7009.24 = \$ 33790.76$$

Al calcular el punto de equilibrio para un ciclo productivo se obtienen aproximadamente 91 esquejes. Este valor indica el número de esquejes necesarios a plantar para no obtener pérdidas durante el proceso de producción.

Punto de equilibrio (U=0)

$$1. PxQ - (CF + CuxQ) = 0$$

$$PxQ - CF - CuxQ = 0$$

$$PxQ - CuxQ = CF$$

Factor común Q

$$2. Q(P - Cu) = CF$$

Despejando Q

$$3. Q = CF / (P - Cu)$$

$$Q = \$ 1906.52 / (\$30.00/\text{plántula} - \$ 3.7527/\text{plántula})$$

$$Q = 72.6 \text{ plántulas enraizadas.}$$

Al enraizar el 80% de los esquejes entonces

$$72.6 \text{ ----- } 80\%$$

$$X \text{ ----- } 100\%$$

$$X = 90.75 \text{ esquejes aprox } 91 \text{ esquejes.}$$



En cuanto al costo por plántula se obtiene un valor de \$ 5.15 por lo que, partiendo de un precio de venta de \$ 30.00/ plántula se obtiene una utilidad de \$24.85/plántula lo que implica una alta rentabilidad del proceso productivo.

Costo/Plántula= $CT/Q = \$ 7009.24/1360 \text{ plántulas} = \$ 5.15/\text{plántula}$

Utilidad/plántula= $\$ 30/\text{plántula} - \$ 5.15/\text{plántula} = \$ 24.85/\text{plántula}$.

Al realizar una corrida financiera durante los cinco años de vida útil del invernadero (Cuadros 3, 4 y 5) y aplicar una tasa de 12% de interés se obtiene un VAN de \$249,112.52 con una inversión total de \$55294.70 por lo que se obtiene un ingreso de \$4.50 por peso invertido lo que demuestra la elevada rentabilidad de este sistema.

Cuadro 3. Costos durante los cinco años de vida útil del invernadero (pesos mexicanos).

Concepto	0	1	2	3	4	5	Total
Construcción invernadero	18539.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18539.00
Llenado de bolsas		6154.00	6154.00	6154.00	6154.00	6154.00	30770.00
Fertilización		1092.00	1092.00	1092.00	1092.00	1092.00	5460.00
Agua y electricidad		105.14	105.14	105.14	105.14	105.14	525.70
Total	18539.00	7351.14	7351.14	7351.14	7351.14	7351.14	55294.70

Cuadro 4. Ingresos durante los cinco años de vida útil del invernadero.

Concepto	0	1	2	3	4	5	Total
No. de plántulas	0.00	2720.00	2720.00	2720.00	2720.00	2720.00	13600.00
Precio (\$/plántula)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Total	0.00	81600.00	81600.00	81600.00	81600.00	81600.00	408000.00

Cuadro 5. Corrida financiera durante los cinco años de vida útil del invernadero.

Concepto	0	1	2	3	4	5	T o t a l
Ingresos	0.00	81600.00	81600.00	81600.00	81600.00	81600.00	408000.00
Costos	18539.00	7351.14	7351.14	7351.14	7351.14	7351.14	55294.70
otal	-18539.00	74248.86	74248.86	74248.86	74248.86	74248.86	352705.30
VAN	-18539.00	66293.63	59190.74	52848.87	47186.49	42131.79	249112.52
Acumulado	-18539.00	47754.63	106945.36	159794.23	206980.73	249112.52	



Conclusiones

- Se obtuvo un índice de enraizamiento y sobrevivencia de las plántulas de 80%.
- El Valor Actualizado Neto (VAN) para cinco años es de \$ 249112.52 con una recuperación de la inversión en el primer año.
- El costo por plántula es de \$5.15 obteniéndose un ingreso de \$ 4.50 por peso invertido.

Literatura Citada

Cañizares, J. 1968. La guayaba y otras frutas myrtáceas (Español, Trans.). La Habana: Edición Revolucionaria.

Díaz, H. O. 2006. El enraizamiento de esquejes en los frutales tropicales. *Revista CitriFrut*, 23(2), 63-64.

MINAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2010. Instructivo Técnico para el cultivo de la guayaba. Ministerio de la Agricultura de Perú. <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/4330/index.pdf>. [Consultado el 07 noviembre de 2016].

Padilla R. S., M. A. Cruz P. D. L., E. González G., H. R. Reyes P., and J. Mena C. 2010. Programa de transferencia de tecnología en guayaba., <http://www.inifapnortecentro.gob.mx/files/nodos/TGuayaba.pdf> [Consultado el 22 enero de 2017].

Peña, H., J. A. Alvarez D. and T. Rodríguez, M. 1996. Fruticultura Tropical. Vol. Tomo II). Habana: Edit. Felix Valera.

Ramírez, R., N. Cruz and O. Fanchialfaro. 2003. Uso de estimuladores de la reproducción de guayaba (*P. Guajava*) mediante el enraizamiento de esquejes. *Cultivos Tropicales*, 24(1), 59-63.



Ramos H. L., N. J. Arozarena D., J. Lescaille A., F. García C., Y. Tamayo A.Y., E. Castañeda H., et al. 2013. Dosis de pectimorf® para enraizamiento de esquejes de guayaba var. Enana Roja Cubana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (6), 1093-1105.

Rodríguez, L., Leal, M., & Chong, C. (2005). Generalización de la tecnología cubana para la automatización del riego en los Centros de Reproducción Agámica de guayaba (CRAS), *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 14(3), 4-8.

SIAP. (2016). Estadística de la información agrícola en el 2015. Servicio de Información Agraria y Pesquera. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>. [Consultado el 18 octubre de 2017]

Tejeda, M., Rinaudo, L., Pilla, G., & Palazzo, D. (2013). Jarduino, Sistema de riego manejado por Arduino. Retrieved 23 nov, 2016, from <http://www.interorganic.com.ar/josx/Jarduino.pdf>

Anexos

Anexo I Costo del invernadero y tasa de amortización en un ciclo de producción.

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Total (\$)
Cita métrica (costo por uso)	unidad	2	\$ 20.00	40.00
Barreta (costo por uso)	unidad	2	\$ 10.00	20.00
Cabahoyo (costo por uso)	unidad	2	\$ 10.00	20.00
Barreta (costo por uso)	unidad	1	\$ 20.00	20.00
Cita métrica (costo por uso)	unidad	1	\$ 30.00	30.00
Machete (costo por uso)	unidad	4	\$ 20.00	80.00
Pala (costo por uso)	unidad	3	\$ 10.00	30.00
Cuchara (costo por uso)	unidad	2	\$ 10.00	20.00
Taladro (costo por uso)	unidad	1	\$ 30.00	30.00
Pinzas (costo por uso)	unidad	2	\$ 10.00	\$20.00



Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Total (\$)
Tijeras (costo por uso)	unidad	2	\$ 3.00	\$6.00
Pico (costo por uso)	unidad	1	\$ 10.00	\$10.00
Niveleta(costo por uso)	unidad	1	\$ 10.00	\$10.00
Arena	m ³	4.2	\$ 220.00/ m ³	\$ 924.00
Grava	m ³	4.1	\$ 290.00/ m ³	\$ 1189.00
Cemento	Bulto (50kg)	5	\$ 160/bulto	\$ 800.00
Hilo rafia	Rollo	2	\$ 30.00/rollo	\$ 60.00
Baras de bambú	unidad (6m)	26	\$ 20.00/unidad	\$ 520.00
Arandela	unidad	120	\$ 0.5/unidad	60.00
Tuerca	unidad	120	\$ 0.25/unidad	30.00
Brochas	unidad	1	\$ 30.00/unidad	30.00
Pintura	Litros	4	\$ 45.00/L	\$180.00
Esparrago (1.2m)	unidad	15	\$ 25.00/unidad	\$375.00
Manguera polietileno negro	Metros	54	\$ 10.00/m	\$ 540.00
Plástico de invernadero	Rollo	1	\$ 1600.00/rollo	\$1600.00
Perfil	Pieza (3 m)	9	\$ 45.00/pieza	\$405.00
Varilla acero 1/2"	pieza 12m	2	\$ 180.00/pieza	\$360.00
Malla antiáfido	rollo 30x3.6	1	\$ 2855.00/rollo	\$ 2855.00
Alambre quemado	kg	2	\$ 30.00/kg	\$60.00

Anexo I Costo del invernadero (continuación).

Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Block	unidad	300	\$ 5.00/unidad	\$ 1500.00
Manguera transparente	m	9	\$ 15.00/m	\$ 135.00
Cal	Bolsa 25 kg	1	\$ 75.00/bosa	\$ 75.00
Codos de ½"	unidad	6	\$ 8.00/unidad	\$ 48.00
T de ½"	unidad	2	\$ 9.00/unidad	\$ 18.00
Abrazaderas	unidad	20	\$5.00/unidad	\$ 100.00
Electrobomba de 0.5 hp	unidad	1	\$750.00/unidad	\$ 750.00



Concepto	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Microaspersores	unidad	20	\$ 2.5/unidad	\$ 50.00
Conectores microaspersor	unidad	20	\$ 1.00/ unidad	\$ 20.00
Capilares microaspersores	metros	5	\$ 12/m	\$ 60.00
Electroválvula	unidad	2	\$170.00/unidad	\$ 340.00
Alambre	metro	20 m	\$3.00/m	\$ 60.00
Swich	unidad	1	\$150.00/unidad	\$ 150.00
Caja de madera	unidad	1	\$200.00/unidad	\$ 200.00
Arduino	unidad	1	\$750.00/unidad	\$ 750.00
Relevadores	unidad	2	\$60.00/unidad	\$ 120.00
Temporizador Steren	unidad	1	\$270.00/unidad	\$ 270.00
Cable diam 14	m	20 m	\$ 10.00/um	\$ 200.00
Conectores electroválvula	unidad	4	\$ 15.00/unidad	\$ 60.00
Albañil	horas	91	\$ 32/h	\$ 2912.00
Electricista	horas	24	\$ 37.5/h	\$ 900.00
Total				\$ 18539.00

Anexo Ia. Determinación de la tasa de amortización del invernadero por ciclo productivo (seis meses) para un tiempo de vida útil de la instalación de cinco años.

Costo del invernadero	TA ¹ /año	TA ¹ /ciclo
\$ 18 539.00.	\$ 3 707.80/año	\$ 1853.90/ciclo

¹Tasa de Amortización.

Anexo II Consumo de agua del sistema de riego a partir de los tiempos de programación de la cámara de enraizamiento.

Semana	Gasto	Tiempo Riego/sem.	Número de microaspersores	Total (m ³)
1	60 L/h	8h	27	0.480
2	60 L/h	2.9h	27	0.173
3	60 L/h	1.87h	27	0.112
4	60 L/h	1.87h	27	0.112



Semana	Gasto	Tiempo Riego/sem.	Número de microaspersores	Total (m³)
5	60 L/h	1.87h	27	0.112
6	60 L/h	1.32 h	27	0.079
7	60 L/h	1.32 h	27	0.079
8	60 L/h	1.32 h	27	0.079
9	60 L/h	1.32 h	27	0.079
10	60 L/h	1.37 h	27	0.082
11	60 L/h	1.37 h	27	0.082
12	60 L/h	1.37 h	27	0.082
13	60 L/h	1.37 h	27	0.082
14	60 L/h	1.37 h	27	0.082
15	60 L/h	1.37 h	27	0.082
16	60 L/h	1.37 h	27	0.082
17	60 L/h	1.37 h	27	0.082
18	60 L/h	1.37 h	27	0.082
19	60 L/h	1.37 h	27	0.082
20	60 L/h	1.37 h	27	0.082
21	60 L/h	1.37 h	27	0.082
Total				2.289



IMPORTANCIA DE LAS LEGUMINOSAS PARA LA SUSTITUCIÓN DE GLIFOSATO Y OTRAS BONDADDES

Manuel Ángel Gómez Cruz^{328*}, Laura Gómez Tovar³²⁸ y Remedios Jaqueline Sánchez López³²⁸

Resumen

En México, por el Decreto presidencial emitido el 31 de diciembre de 2020, y actualizado el 13 de febrero del 2023, que busca la sustitución del glifosato para el 31 de marzo del 2024, se ha dado un realce al desarrollo de prácticas agroecológicas, siendo importante el manejo de las arvenses usando coberteras de leguminosas. En el norte de Veracruz hay casos exitosos de productores, que demuestran la viabilidad del manejo de arvenses y la producción de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), sin usar herbicidas y con su establecimiento. El objetivo de este trabajo fue resaltar la importancia que tienen las leguminosas para sustituir al herbicida con ingrediente activo glifosato y otras bondades. Durante el año 2022 se desarrolló el proyecto CONAHCYT 321118, que planteó la puesta en marcha de parcelas demostrativas con coberturas de leguminosas. Se seleccionaron 30 casos aleatoriamente con una herramienta de Excel, en cuatro municipios del norte del Estado de Veracruz: Papantla, Tihuatlán, Espinal y Álamo. Para la selección se consideró lo siguiente: 1) ser pequeños productores, menores de 10 ha, 2) cultivo principal de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), y 3) la utilización de alguna leguminosa como mínimo en 1/ha. El estudio se realizó mediante la aplicación de encuestas donde se obtuvo información respecto a: 1) especie más cultivada, 2) motivos de selección y 3) costos de producción. Además, de visitas a parcelas, para observar beneficios de estas plantas. Los resultados mostraron que su uso para el manejo de arvenses, representa una disminución de hasta un 28.36% de costos comparado con el uso de herbicidas y, por el contrario, complementa con otras ventajas, por ello, deberían estar ubicadas en el centro de toda política agrícola en relación, no sólo con la naranja tardía, sino también con otros cítricos y demás frutales.

Palabras clave: coberturas, manejo de arvenses, sustitución de herbicidas, reducción de costos y nutrición de plantas

³²⁸ CIIDRI-Universidad Autónoma Chapingo. *Autor de correspondencia: magomezcruz@live.com



Introducción

Uno de los antecedentes en esta exploración sobre el uso de las leguminosas, es el decreto presidencial sobre el glifosato, mismo que encomienda al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) la coordinación, articulación y apoyo en las investigaciones científicas, desarrollos tecnológicos e innovaciones que le permitan sustentar y proponer, a las secretarías de Agricultura y Desarrollo Rural y de Medio Ambiente y Recursos Naturales alternativas para la sustitución gradual del glifosato (DOF, 2023).

A partir del decreto, la innovación en la sustitución del herbicida glifosato, con coberturas vivas, ha ido en incremento con productores/as citrícolas en el norte del estado de Veracruz, sobre todo utilizando las coberturas vegetales vivas que pertenecen principalmente a las leguminosas. Entendidas estas coberturas como aquellas plantas que cubren el suelo, y en forma temporal o permanente y están sembradas en asociación con otras plantas o que pueden sembrarse de manera intercalada, en relevo y/o por rotación (Gómez *et al.*, 2022b).

Las leguminosas son plantas pertenecientes a la familia *Fabaceae*, con crecimiento herbáceo, arbustivo o arbóreo, cuya característica más sobresaliente es la producción de frutos en legumbre, el cual crece en vaina. La importancia de estas plantas, radica en la parte ambiental, productiva y alimenticia, ya que, reciclan nutrimentos para la fijación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes al suelo, reducen la pérdida de humedad, y que, además de estos servicios, generen productos útiles para el bienestar de las familias campesinas por su doble propósito para alimento humano y animal (Ayala *et al.*, 2019), también contribuyen en el manejo de plagas y enfermedades, son de crecimiento agresivo frente a las arvenses y son resistentes a condiciones climáticas adversas (Gómez *et al.*, 2022b).

El Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarios (INIFAP) realizó una búsqueda exhaustiva en diversos repositorios para el período 2000-2023 sobre uso de leguminosas, en zonas tropicales y encuentra que las coberturas de leguminosas juegan un papel más importante aún porque mejoran el nivel de nutrientes del suelo superficial, lo que permite a las plantas explotar las reservas de nutrientes más profundas, recuperar lixiviados, aportar restos orgánicos que se depositan en la superficie, beneficiando a microorganismos que contribuyen a su incorporación (Matías *et al.*, 2023). Por mencionar un ejemplo; la cantidad de nitrógeno que requiere una huerta con un promedio de 20 toneladas por hectárea es de 112 (Sastre, 2014 citado en Gómez *et al.*, 2021a) y la soya forrajera



(*Neonotonia wightii*) proporciona sin problema dicha cantidad, pues según la revisión bibliográfica fija entre 60 a 168 kg/ha (Leyva y Pohlan, 2005 citado en Gómez *et al.*, 2021a).

Dados los beneficios que brindan estas plantas, es que el presente trabajo en el Norte Veracruz, buscó analizar: a) el comportamiento de los costos de producción con la siembra de leguminosas para el control de arvenses, en lugar del herbicida con ingrediente activo de glifosato, y b) el uso e importancia de estas plantas para los productores de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) que ya las han incorporado en su sistema de producción; lo anterior con el objetivo de determinar la viabilidad económica del establecimiento de estas plantas y los beneficios que han logrado observar los productores en campo. Dados los beneficios que brindan estas plantas, es que el presente trabajo en el Norte Veracruz, buscó analizar: a) el comportamiento de los costos de producción con la siembra de leguminosas para el control de arvenses, en lugar del herbicida con ingrediente activo de glifosato, y b) el uso e importancia de estas plantas para los productores de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) que ya las han incorporado en su sistema de producción; lo anterior con el objetivo de determinar la viabilidad económica del establecimiento de estas plantas y los beneficios que han logrado observar los productores en campo.

Se espera que este trabajo sea de utilidad para seguir revisando los beneficios del manejo de arvenses con esta estrategia de coberturas naturales, pero además que la información cada vez pueda llegar de una forma comprensible a los productores, no solo de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), sino de otros frutales.

Materiales y Métodos

Durante el año 2022 se desarrolló el proyecto CONAHCYT 321118, el cual planteó la puesta en marcha de parcelas demostrativas con coberturas de leguminosas. Se seleccionaron 30 casos de manera aleatoria con una herramienta de Excel, en cuatro municipios del norte del Estado de Veracruz: Papantla, Tihuatlán, Espinal y Álamo. Para la selección se consideró lo siguiente: 1) ser pequeños productores, menores de 10 ha, 2) cultivo principal de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) y 3) la utilización de alguna leguminosa como mínimo en 1/ha. La encuesta aplicada se tornó en los siguientes rubros: 1) el comportamiento de los costos de producción con la siembra de leguminosas para el control de arvenses, en lugar del herbicida con ingrediente activo de glifosato, y 2) el uso e



importancia de estas plantas para los productores de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck) que ya las han incorporado en su sistema de producción; lo anterior con el objetivo de determinar la viabilidad económica del establecimiento de estas plantas y los beneficios que han logrado observar los productores en campo. Otra parte del estudio constó de realizar visitas a las parcelas, con el objetivo de verificar la siembra de leguminosas en la superficie acordada, como parte del compromiso adquirido en su ingreso al proyecto, además de escuchar sus experiencias sobre los cambios observados en sus parcelas con la introducción de estas plantas.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en las encuestas, donde se aborda el tema relacionado con la temporalidad que los productores llevan utilizando leguminosas en sus huertas (Cuadro 1), la soya forrajera ha predominado durante más años, sobre todo en el municipio de Tihuatlán. El resto de las leguminosas se han establecido entre uno y seis años, y algunos productores apenas inician en el proceso de apropiación de esta práctica agroecológica para el control de arvenses.

Cuadro 1. Tipo de leguminosa y tiempo de establecimiento en huertas cítricas de Veracruz, 2022.

Tiempo con leguminosas	Leguminosa
16 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
6 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
6 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
6 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
5 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
4 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
3 años	Soya forrajera (<i>Neonotonia wightii</i>)
6 años	Mucuna (<i>Mucuna pruriens</i>)
1 año	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>), Frijol gandul (<i>Cajanus cajan</i>)
2 meses	Canavalia (<i>Canavalia ensiformes</i>), Crotalaria (<i>Crotalaria juncea</i>), Mucuna (<i>Mucuna pruriens</i>)



Tiempo con leguminosas	Leguminosa
5 meses	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>), Frijol de guía (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)
6 meses	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>)

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En relación con el resto de los productores entrevistados que habían sido seleccionados por sembrar leguminosas no fueron considerados porque la gran mayoría tuvo poca germinación, las plantas se murieron por falta de humedad y de atención y en otros casos sólo cubrían pequeñas superficies.

Por otro lado, como se puede observar en el Cuadro 2, en promedio, el costo de utilizar soya forrajera, después del primer año de implantada significa sólo el 28.36% de los gastos que ocasiona al utilizar el herbicida glifosato. Aunado a esto se debe considerar que existen otras ventajas complementarias del uso de la leguminosa porque también proporciona materia orgánica al suelo, apoya en la nutrición con minerales, conserva la humedad, puede ser utilizada para complementar algunos bioinsumos, entre otras (Matías e Hidalgo *et al*, 2023), a diferencia de los daños que ocasiona el glifosato al medio ambiente, la salud y el suelo como se puede consultar en diversos estudios (Rossi, 2020).

Cuadro 2. Costos de producción anual por hectárea en el establecimiento y mantenimiento de leguminosas vs. Glifosato, para manejar arvenses en el cultivo de naranja valencia (*Citrus sinensis L. Osbeck*) en el norte de Veracruz, 2022.

Tiempo con leguminosas	Leguminosa	Total (establecimiento + Mantenimiento)		Porcentaje leguminosas vs glifosato
		Año 1	Año 2	Año 2/glifosato %
3 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$1,350.00	\$250.00	6.6
6 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$1,790.00	\$500.00	13.0
4 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$2,000.00	\$625.00	16.6
16 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$4,000.00	\$750.00	19.9
6 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$2,165.00	\$750.00	19.9
5 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$4,800.00	\$1,250.00	33.2
6 años	Soya (<i>Neonotonia wightii</i>)	\$6,500.00	\$3,000.00	79.7



Tiempo con leguminosas	Leguminosa	Total (establecimiento + Mantenimiento)		Porcentaje leguminosas vs glifosato
		Año 1	Año 2	Año 2/glifosato %
6 años	Mucuna (<i>Mucuna pruriens</i>)	\$1,640.00	\$625.00	16.6
1 año	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>) Frijol gandul (<i>Cajanus cajan</i>)	\$4,125.00	\$1,875.00	49.8
5 meses	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>) Frijol de guía (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>)	\$1,500.00	\$500	--
2 meses	Canavalia (<i>Canavalia ensiformes</i>) Crotalaria (<i>Crotalaria juncea</i>) Mucuna (<i>Mucuna pruriens</i>)	\$550.00	\$550	--
6 meses	Cacahuatillo (<i>Arachis pintoi</i>)	\$8,250.00	\$3,750.00	--
*Uso de herbicida Faena (4 veces al año/ha. (2 litros por cada vez, con 2 jornales a \$220.00/litro y \$250.00 el jornal)		\$3,760.00	\$3,760.00	--

*Datos para comparación. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Pero la soya no es la única leguminosa que está teniendo esta importancia, ya que en otros municipios son la mucuna (*Mucuna pruriens*), el cacahuatillo (*Arachis pintoi*), la crotalaria (*Crotalaria juncea*), el frijol gandul (*Cajanus cajan*), la canavalia (*Canavalia ensiformes*) y otros frijoles de guía (*Phaseolus vulgaris*) los que han sido preferidos por los productores.

Al analizar los motivos y ventajas que indicaron los productores para utilizar leguminosas (Figura 1), se encontró que tanto productores de los municipios de Papantla como de Álamo señalan que lo principal es obtener varios beneficios de las leguminosas, además de considerar el manejo de arvenses, pues buscan una segunda opción relacionada principalmente con el complemento de la alimentación, así productores en estos municipios prefieren sembrar frijol común para coadyuvar en la mejora del



suelo y obtener un alimento. Los productores encuestados mencionaron que al cultivar leguminosas dan preferencia a las plantas nativas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) o el frijol gandúl (*Cajanus cajan.*), porque las semillas se pueden adquirir más fácilmente.

También es muy importante mencionar que los productores del municipio de Espinal utilizan las leguminosas porque son importantes en la disminución del uso de agrotóxicos (glifosato y otros herbicidas como 2, 4D, paraquat y glufosinato que son Ingredientes activos de algunos productos), o por lo menos ese es de los mayores impactos que ha tenido la siembra de cacahuatillo (*Arachis pintoii*) en dicho lugar.

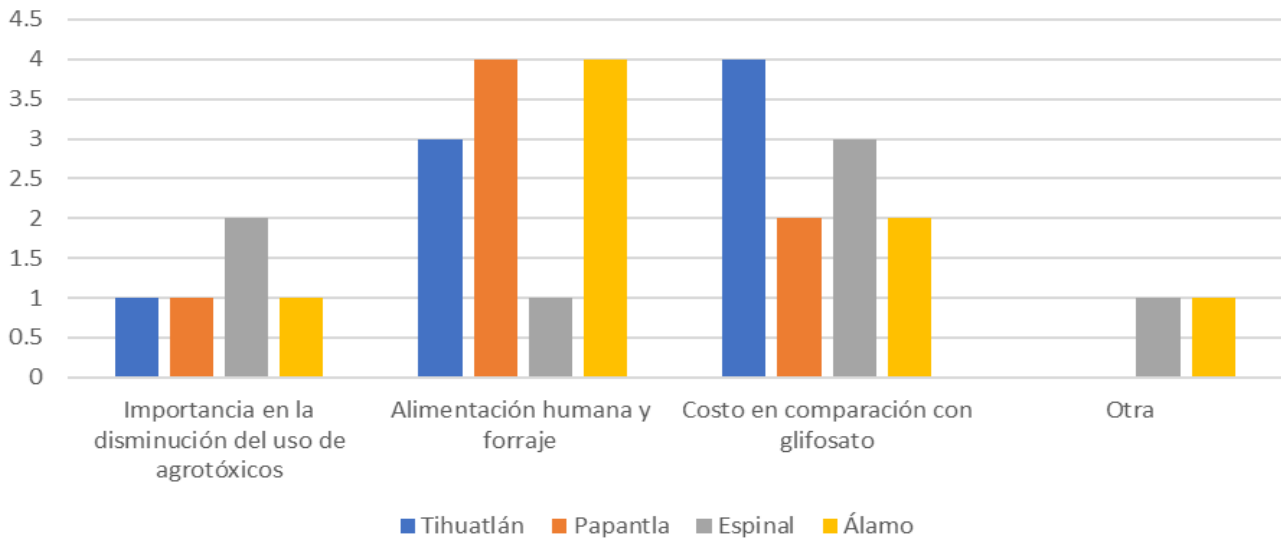


Figura 1. Motivos por los cuales las personas encuestadas utilizan las leguminosas en sus huertas de naranja valencia (*Citrus sinensis L. Osbeck*). Fuente: Realización propia 2022.

Finalmente, al observar el Cuadro 3, se aprecia que en los cuatro municipios estudiados predominan dos leguminosas, una perenne y otra de ciclo corto soya forrajera (*Neonotonia wightii*) y frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y en menor proporción los productores incursionan con otras coberteras perennes como el cacahuatillo (*Arachis pintoii*), y otras de ciclo corto como la mucuna (*Mucuna pruriens*), la crotalaria (*Crotalaria juncea*) y la canavalia (*Canavalia ensiformes*).



Cuadro 3. Leguminosas más sembradas por los productores/as encuestados/as, por municipio, 2022.

Leguminosa	Total de productores/as por municipio				Total
	Papantla	Tihuatlán	Espinal	Álamo	
Soya forrajera	3	4	0	3	10
Frijol	2	2	2	3	9
<i>Crotalaria</i>	0	0	0	1	1
Cacahuatillo	0	0	5	0	5
Mucuna	1	1	0	1	3
Canavalia	0	1	0	1	2
Total	6	8	7	9	30

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Si bien hasta el momento se ha hablado de la importancia en la reducción de costos que traen algunas leguminosas, como la soya forrajera (*Neonotonia wightii*), y aquellas bondades que aportan al manejo de arvenses, es importante rescatar otros beneficios que se han documentado en diversas fuentes como la investigación de (Matías e Hidalgo et al, 2023) en la cual se señala que otro punto a favor tiene que ver, no sólo con la aportación de nitrógeno al suelo, sino que también pueden incorporar biomasa (carbono) y otros nutrientes como potasio, fósforo, calcio y magnesio, motivo por el cual en países como Perú y Uganda la canavalia (*Canavalia ensiformes*) y mucuna (*Mucuna pruriens*), respectivamente, son las más empleadas, situación que no sucede en el norte de Veracruz, que dicho sea de paso la cobertera vegetal más utilizada es la soya forrajera (*Neonotonia wightii*), misma que no se enlista en la investigación, siendo que hay productores que desde hace más de 16 años han observado las ventajas de su utilización.

Uno de los puntos que si compartimos en este trabajo con Matías e Hidalgo *et al* (2023), es la crítica a la falta de un enfoque participativo en la investigación y procesos de difusión pues el enfoque de las estrategias gubernamentales no visibiliza las fortalezas que trae la instrumentación de las leguminosas y se tiene un gran desconocimiento de sus bondades.

Es necesario que los resultados de estos trabajos que realizan los Institutos, universidades y/o centros de investigación, pueda llegar con un lenguaje claro, sencillo y entendible a los productores, que al



final, son quienes están modificando sus planes de manejo con la integración de este tipo de prácticas agroecológicas.

Se pudo detectar a partir de una revisión en algunas páginas oficiales de centros que desarrollan investigación, así como algunas universidades, que prestan poca atención a los temas relacionados con las leguminosas como parte estratégica en el manejo de arvenses, y por ende en la reducción del uso de glifosato, ejemplo de ello es que en INIFAP, de un total de 334 investigaciones que se estuvieron desarrollando de enero a junio del 2022, únicamente 2 de ellas tienen como tema principal las leguminosas, pero ambas con un enfoque hacia los beneficios en el forraje, más no en los impactos al suelo, medio ambiente y dieta humana.

Por otro lado, se encuentra en el Segundo Foro de avances y resultados de los Proyectos de Desarrollo- UAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro), llevado a cabo los días 26 y 27 de septiembre del año 2022, de un total de 52 proyectos y 21 carteles, ninguno está enfocado en el tema y/o rescate de la práctica de las bondades de las coberturas con leguminosas.

De acuerdo con la experiencia desde el CIIDRI-UACH es necesario mirar el uso de leguminosas como un factor nodal en esta tarea para la disminución de los agrotóxicos, las bondades y aportes nutrimentales al suelo, pero, sobre todo, como una estrategia con doble propósito, al incluir leguminosas que son parte de la dieta humana o para forraje. Si los programas gubernamentales, tanto federales, estatales y municipales la integraran dentro de sus estrategias, su uso se masificaría, generando un gran impacto en la producción agrícola.

Conclusiones

Por el hecho de que las leguminosas presentan menor costo que el uso de herbicidas deberían estar ubicadas en el centro de toda política agrícola en relación con la naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), otros cítricos y demás frutales.

Las investigaciones no son suficientes si no se hace llegar con los actores principales en el cultivo de naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck), por esto es necesario que la información llegue de manera oportuna y entendible así el productor pueda dimensionar el impacto que ha generado su esfuerzo y dedicación de años en las prácticas agroecológicas como el uso de coberturas vegetales y conocer sus bondades.



Finalmente, existe un serio descuido en los responsables de los programas de gobierno, escuelas de Agronomía, universidades y tecnológicos, y técnicos agrícolas para no promover las ventajas y fortalezas del uso de leguminosas en nuestro país.

Literatura Citada

Ayala, S. A., Krishnamurthy, L. 2019. Tierra Latinoamericana. Leguminosas de cobertera para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000100008. [Consultado el 14 de julio del 2023].

Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (Consultado el 10 de julio 2023). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5679405&fecha=13/02/2023.

Gómez, C. M. A., González, S. A, R., Gómez, T. L., Bernabé, I. L., Hernández, C. Alejandro., Martínez. H. E F. et al. 2022a. Sustitución del glifosato en el cultivo de naranja valencia. Universidad Autónoma Chapingo. Edo. De México. 13 p.

Gómez, C. M. A., Hernández, A. M. A., Gómez, T. L. 2022b. Manual manejo de hierbas sin líquidos (herbicidas) en el cultivo de naranja valencia en el Norte de Veracruz. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México. 32p.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícola y Pecuarias). Lista de proyectos a junio 2022. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap/documentos/lista-de-proyectos-a-junio-2022>.

Leyva, G. A. y P. Jürgen. 2005. Agroecología en el trópico- Ejemplos de Cuba. Editorial Shaker Verlag, Alemania. 198p.



Matías, R. M., M. Hidalgo, C. I., P. Fuentes M., M. Delgadillo, D. Julián, M., E. Dionisio, J. 2023. Potencial de especies de leguminosas mejoradoras de la fertilidad del suelo en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(4).

Rossi, E. M. 2020. Antología Toxicológica del Glifosato. +1000 evidencias científicas publicadas sobre los impactos del glifosato en la salud, ambiente y biodiversidad. *Naturaleza de Derechos* en: <http://www.naturalezadederechos.org/antologia5.pdf>.

UAAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). 2do Foro de avances y resultados de los Proyectos de Desarrollo-UAAAN 2022. Disponible en: <https://www.uaaan.edu.mx/2022/09/23/2-foro-avances-y-resultados-de-los-proyectos-de-desarrollo-2022/>



APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS EN TOMATE (*Solanum lycopersicum*) MODIFICADO CON EL SILENCIAMIENTO DEL GEN *TomLoxB*

Wendy Marisol Mazón Abarca³²⁹, Elizabeth León García^{330*}, José Alberto Ramírez De León³³¹,
Javier De la Cruz Medina³²⁹ y Hugo Sergio García Galindo³²⁹

Resumen

Los tratamientos post-cosecha son ampliamente aplicados en los frutos a fin de conservar sus atributos en óptimas condiciones, a partir de la cosecha y hasta llegar al consumidor. Actualmente también se emplean técnicas de ingeniería genética, que permiten mejorar los cultivos en cuanto a la resistencia a las sequías, al ataque de patógenos y mejoramiento nutricional, así como prolongar su vida post-cosecha. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles Semperfresh® al 1%, Cera de candelilla y combinación de ambos (50:50), para extender la vida post-cosecha en el tomate genéticamente modificado (GM). Se aplicaron los recubrimientos comestibles antes mencionados, en tomates silvestres (WT) y GM, posteriormente los frutos fueron almacenados a 25 °C durante 30 días. Se determinaron los parámetros de: cambios en la apariencia, pérdida de peso, color y firmeza. La formulación a base de cera de candelilla mostró conservar los atributos de los tomates GM durante 30 días de almacenamiento, mostrando lentos cambios en la apariencia durante el almacenamiento, menor pérdida de peso, así como mayor luminosidad, ángulo hue y firmeza, en comparación al tomate WT con recubrimientos, que presentó una apariencia aceptable hasta el día 18 de almacenamiento, mientras que para el tomate GM sin tratamiento su vida post-cosecha fue de 21 días y su testigo WT, 12 días.

Palabras clave: genéticamente modificado, semperfresh®, cera de candelilla, parámetros fisiológicos, vida post-cosecha

³²⁹ Tecnológico Nacional de México – Veracruz. UNIDAD. Laboratorio de manejo post-cosecha.

³³⁰ *INIFAP – Campo Experimental La Posta, Veracruz.

³³¹ UAT – Unidad Académica de Trabajo Social y Ciencias para el Desarrollo Humano. Centro Universitario, Cd. Victoria, Tamaulipas.
*eliibq@gmail.com



Introducción

Por su gran consumo a nivel mundial en México, el tomate es considerado como un producto hortícola perteneciente a la canasta básica. Año con año incrementa su volumen de exportación. Se ha reportado que, en los últimos 5 años, se han destinado alrededor de 143 mil toneladas mensuales para exportación (SIAP, 2023). Por lo anterior, es de importancia conservar los atributos del tomate en óptimas condiciones para su comercialización. Para cumplir con ello, se emplean los tratamientos post-cosecha, cuya función es retrasar la maduración y conservar los atributos de los frutos cosechados por más tiempo, también contrarrestar las pérdidas post-cosecha que pueden ocasionarse por un manejo deficiente, daño mecánico, deterioro fisiológico o por ataque de patógenos (Mederos-Torres *et al.*, 2020).

Entre los tratamientos post-cosecha se encuentran los recubrimientos. Su aplicación ha demostrado regular el intercambio gaseoso de la respiración y transpiración de los productos hortícolas tratados, modificando su atmósfera interna. Los beneficios que aporta son: mejoramiento de la apariencia y disminución en la pérdida de humedad, debido a que se forma una barrera entre el fruto y el medio de almacenamiento, lo cual retrasa los procesos bioquímicos, confiriendo un incremento en la vida útil (Télles-Pichardo *et al.*, 2013; Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013; Mederos-Torres *et al.*, 2020).

Un recubrimiento comestible es el Semperfresh® el cual está constituido a base de ésteres de ácidos grasos de sacarosa. Está certificado por la FDA. Su mecanismo de acción es reducir la transferencia de oxígeno y dióxido de carbono desde el interior del fruto, manteniendo la presión de vapor de agua, permitiendo conservar un aspecto de frescura y previniendo las pérdidas post-cosecha mediante la reducción de la disponibilidad del O₂ (Bayindirli *et al.*, 1995; Kumar *et al.*, 2017). Este producto ha sido aplicado en concentraciones de 1% (p/v) en tomate (*Lycopersicon esculentum* cv. 144), reportando mantener por mayor tiempo la firmeza, reducir la pérdida de peso, el contenido de sólidos solubles totales, así como la síntesis de licopeno (Taşdelen y Bayindirli, 1998).

De origen vegetal, la cera de candelilla proviene de una planta endémica de zonas áridas de México y sureste de Estados Unidos. Su composición química es a base de ésteres de ácidos grasos y ácidos grasos de cadena larga, es considerado seguro para consumo humano por la FDA y la FAO/OMS (Rojas Molina *et al.*, 2011). Contiene agentes microbianos y antioxidantes, además otorga la permeabilidad adecuada para reducir el crecimiento bacteriano, evitando los sabores extraños



(Saucedo-Pompa *et al.*, 2009). Su aplicación en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv Saladette) a concentraciones de 0.15%, 0.2% y 0.25% ha reportado menor pérdida de peso, mantiene la firmeza y retrasa la aparición del color rojo, propio de la maduración (Ruíz-Martínez *et al.*, 2020).

Por otro lado, la incursión de técnicas de ingeniería genética aplicadas sobre frutas y vegetales, con el propósito de mejorar su composición nutrimental, así como prolongar su vida útil al mantener la firmeza y retrasar su senescencia, son otra herramienta a considerar (Asrey *et al.*, 2021). Con respecto a las modificaciones genéticas, León-García y col. (2017) transformaron explantes de tomate var. TA234 con el gen de *TomLoxB* (lipoxigenasa B en tomate) en antisentido con la finalidad de silenciar al gen y disminuir la expresión de la enzima, la cual está asociada con los procesos que desencadenan la maduración en el fruto, así como con el etileno. Obteniendo como resultado mayor firmeza y prolongación de la vida post-cosecha del fruto. Se han realizado estudios sobre el tomate transformado que han permitido conocer su fisiología, sin embargo, aún falta por dilucidar más al respecto. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos como Semprefresh[®], cera de candelilla y combinación de ambos, sobre el tomate silenciado con el gen *TomLoxB*.

Materiales y Métodos

Para este estudio se emplearon plantas de tomate modificadas previamente por León-García y col. (2017), que contenían el gen silenciado de la enzima lipoxigenasa B (*TomLoxB*). La transformación se realizó via *Rhizobium radiobacter* (antes *Agrobacterium tumefaciens*). Se emplearon tomates variedad TA234. Los frutos de la misma variedad sin modificar se usaron como testigos (WT). Se utilizaron frutos modificados (GM), pertenecientes a la F1. Ambos tipos de tomate fueron sembrados, cultivados y cosechados en el periodo de diciembre de 2019 a mayo de 2020 en el invernadero del laboratorio de manejo post-cosecha del Instituto Tecnológico de Veracruz en el puerto de Veracruz. Los frutos se mantuvieron a T ambiente de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ dentro del laboratorio.

Semprefresh[®] se preparó siguiendo la metodología de Taşdelen y Bayindirli (1998). Se disolvió 1.5 g del recubrimiento en 150 mL de agua destilada. La cera de candelilla se elaboró siguiendo la metodología de Muñiz-Márquez y col. (2017). En 150 mL de agua destilada se disolvieron 2.25 g de pectina cítrica, manteniéndose en agitación hasta disolver completamente. Posteriormente se añadieron



0.23 g de cera de candelilla y se calentó a 80°C por 4 minutos, manteniéndose en agitación constante a 1000 rpm. Durante el enfriamiento se agregaron 0.52 g de glicerol. Por último, se realizó una combinación al 50% de *Semperfresh*[®] y Cera de candelilla, a temperatura ambiente con una agitación constante de 1000 rpm durante 5 minutos.

Las tres formulaciones de los recubrimientos, se aplicaron sobre los tomates por inmersión durante 5 segundos, después se colocaron sobre una rejilla hasta que el recubrimiento se adhirió y se aplicó una segunda cobertura bajo las mismas condiciones. Se almacenaron a 25°C durante 30 días. Para ambas líneas de tomates (WT y GM) se designaron frutos testigo (C), con *Semperfresh*[®] (S), con cera de candelilla (CW) y mezcla de ambos recubrimientos (S+CW).

Los cambios en la apariencia durante el periodo de estudio fueron registrados fotográficamente con una cámara (Canon Power Shot mod SX500IS), al inicio del tratamiento y en los días 0, 6, 18 Y 30.

Se determinó la pérdida de peso (% PP), utilizando una balanza analítica (Sartorius, modelo BL 2100), llevando el registro del peso al inicio y cada 6 días durante el almacenamiento. La pérdida de peso se expresó como el porcentaje de pérdida con respecto al peso inicial. El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab Modelo 4500L (Reston, Virginia, USA). Se midió en tres puntos sobre la zona ecuatorial. Los parámetros medidos fueron: L*, a* y b*, se utilizaron para calcular los valores de luminosidad y ángulo hue (h°) Calculado con la fórmula:

$$\arctan \frac{b}{a}$$

La firmeza se determinó por punción, en tres puntos sobre la zona ecuatorial, mediante un analizador de textura de frutos, Modelo GS25 (Strand, South Africa), empleando una sonda de acero inoxidable de aguja de 8 mm. La firmeza se expresó en Newton (N).

Los datos fueron analizados mediante un diseño de bloques completamente al azar, aplicando un ANOVA. Para comparar las medias se empleó una prueba de Tukey (P < 0.05), utilizando el software estadístico Minitab versión 18. Se consideraron 5 réplicas en cada análisis.

Resultados y Discusión

Los cambios en la apariencia durante el almacenamiento en los tomates WT comenzaron a ser perceptibles a partir del día 21, observándose deshidratación en los tomates con recubrimientos y en el

testigo. La deshidratación en los tomates GM se presentó hasta el día 30. En particular, los tomates GM con cera de candelilla (GM-CW) mostraron una lenta aparición del color rojo durante todo el almacenamiento, signo de retraso en la maduración en el fruto. Incluso en el día 30, fueron los únicos que no mostraron deshidratación (Figura 1). Estos resultados son consistentes con lo reportado por Ruíz-Martínez y col. (2020), en tomate recubierto con cera de candelilla, mostrando cambios menores en su apariencia visual externa, prolongando su vida útil hasta por 10 días. Lo que confirma el efecto favorable de la aplicación del recubrimiento.

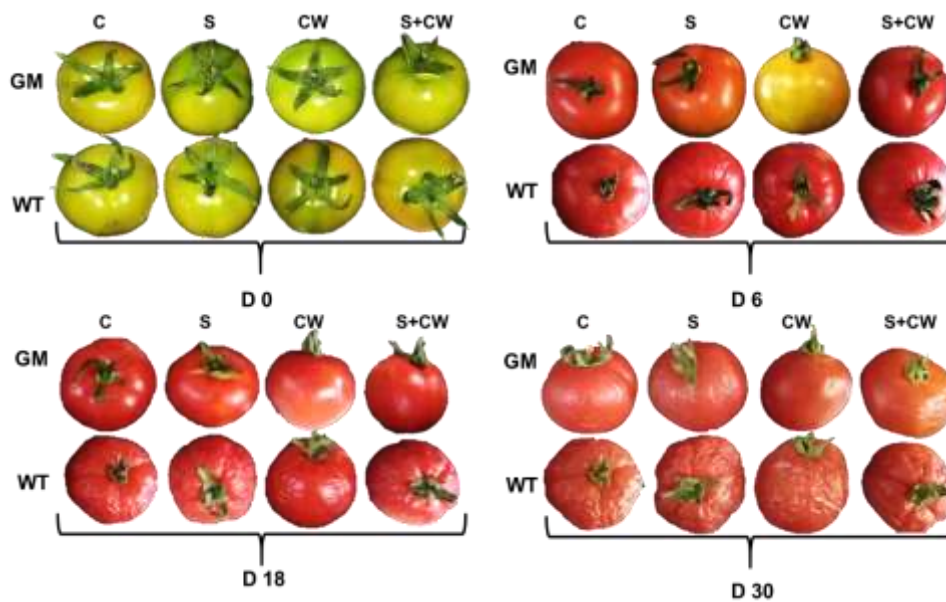


Figura 1. Cambios en la apariencia durante la maduración en tomates con recubrimientos comestibles: Semperfresh® (S), Cera de candelilla (CW) y Semperfresh® + Cera de candelilla (S+CW) en tomates WT (wild type) y GM (genéticamente modificado) al inicio y en los días 6, 18 y 30 almacenamiento. Los tomates testigos de ambas líneas se designan con la letra C.

Los tomates GM-C mostraron una pérdida de peso de 17.25% en el día 30, valor significativamente menor ($p < 0.05$) en comparación a los valores de WT-C con el 34.18% (Figuras 2 A y B). Estos resultados se pueden atribuir al efecto de la modificación genética en el tomate, que ha demostrado presentar tasas de respiración y producción de etileno bajas (Velázquez-López *et al.*, 2020). En el día 30, los tomates GM-CW mostraron una pérdida de peso de 11.17%, siendo significativamente menor ($p < 0.05$) en comparación a los tomates GM-S (16.79%) y GM-S+CW (14.22%) (Figura 2B). Los tomates WT-CW mostraron una pérdida de peso de 17.04%, significativamente menor ($p < 0.05$) en comparación a los tomates WT-S (26.09%) y WT-S+CW (22.40%) (Figura 2A). Los resultados

muestran que el recubrimiento de cera de candelilla permitió regular la transferencia de vapor de agua desde el interior de los tomates, tanto para los GM como WT. Este efecto podría deberse a la naturaleza hidrofóbica de la cera de candelilla, la cual le permite crear una atmósfera interna que actúa como barrera impermeable (Vázquez-Briones y Guerrero-Beltrán, 2013).

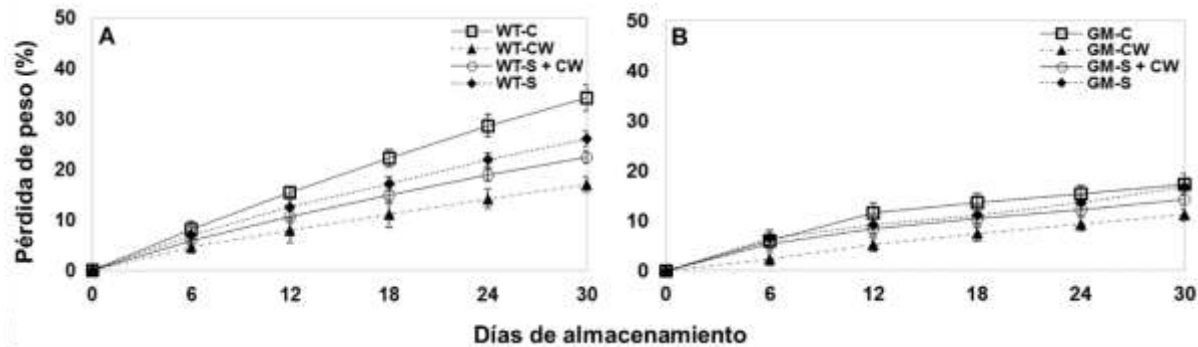


Figura 2. Pérdida de peso en tomates con recubrimientos comestibles: Semperfresh® (S), Cera de candelilla (CW) y Semperfresh® + Cera de candelilla (S+CW) en tomates WT (wild type) (A) y GM (genéticamente modificado) (B). Los tomates testigos de ambas líneas se designan con la letra C.

Los tomates recubiertos WT-S (48.783), WT-CW (49.49) y WT-S + CW (50.113) presentaron valores significativamente mayores de luminosidad ($P < 0.05$), en comparación con el tratamiento WT-C (44.113), hasta el día 6 de almacenamiento (Figura 3A). Por otro lado, los tratamientos GM-CW tuvieron valores de luminosidad mayores de 56.257 ($P < 0.05$) en comparación a los registrados por GM-C de 48.377, GM-S de 51.537 y GM-S + CW de 52.71, durante los primeros 12 días (Figura 3B). Se puede inferir que la cera de candelilla clarificada por sus características fisicoquímicas, otorgaron al recubrimiento mayor luminosidad y permitieron que se mantuviera por más tiempo, en comparación con los frutos no recubiertos y los tratados con otros recubrimientos. Los tomates GM mostraron valores mayores de luminosidad en comparación de los tomates WT. Este hecho puede ser atribuido a la transformación genética, ya que se ha demostrado que la enzima TomLoxB influye en la producción de etileno (Velázquez-López *et al.* 2020), enzima que contribuye a los cambios bioquímicos en el tomate, ralentizando la producción de pigmentos indicadores del inicio de la maduración.

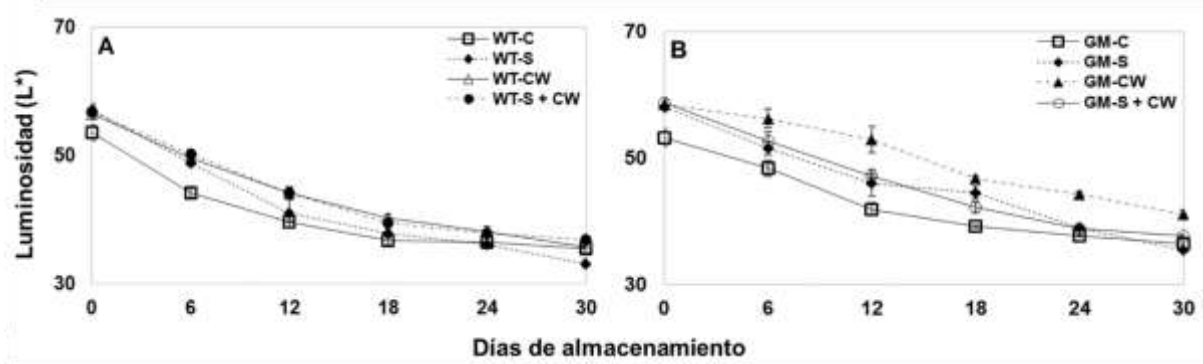


Figura 3. Luminosidad en tomates con recubrimientos comestibles: Semperfresh® (S), Cera de candelilla (CW) y Semperfresh® + Cera de candelilla (S+CW) en tomates WT (wild type) (A) y GM (genéticamente modificado) (B), durante 30 días de almacenamiento. Los tomates testigos de ambas líneas se designan con la letra C.

Los tomates WT-CW mantuvieron la coloración verde-amarillo (67.16) durante los primeros 6 días de almacenamiento. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) con el resto de los tomates WT tratados (WT-S con 56.27 y WT-S + CW con 57.17) y el testigo (WT-C, 52.43) (Figura 4A). Por otro lado, los tomates GM-CW mantuvieron valores de 77.84 hasta el día 6 de almacenamiento, indicando un retraso en la aparición del color rojo, propio de la maduración del tomate, no así para los tomates GM-S (60.95), GM-S + CW (66.66) y el testigo (56.34) (Figura 4B).

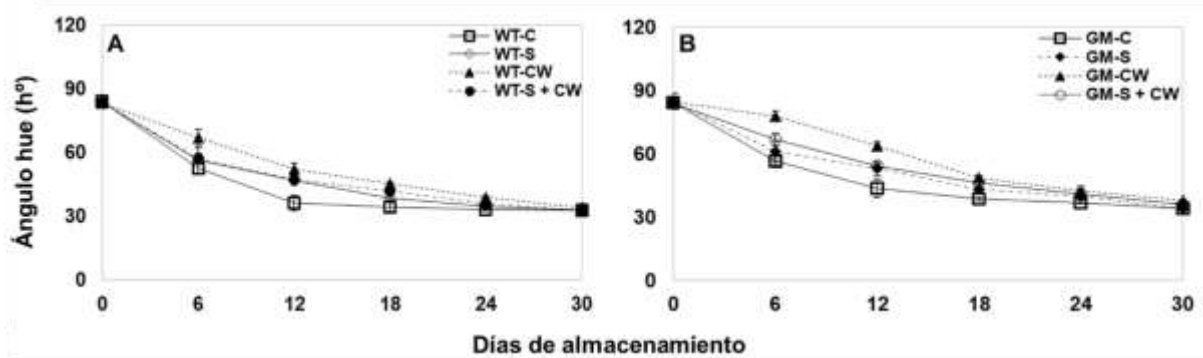


Figura 4. Ángulo hue en tomates con recubrimientos comestibles: Semperfresh® (S), Cera de candelilla (CW) y Semperfresh® + Cera de candelilla (S+CW) en tomates WT (wild type) (A) y GM (genéticamente modificado) (B), durante 30 días de almacenamiento. Los tomates testigos de ambas líneas se designan con la letra C.

Estos resultados podrían indicar un retraso en la degradación de la clorofila y en la transición de los cloroplastos a cromoplastos, indicadores de la madurez en el tomate (Zapata et al., 2007), por lo tanto,



la cera de candelilla en los tomates GM causó el retraso en la aparición del pigmento rojo, indicando un retraso en su desarrollo para alcanzar la maduración.

En cuanto a la firmeza, los tomates GM-CW mostraron valores de 6 N, significativamente mayores ($p < .05$), en comparación al resto de los tratamientos en tomates GM (4.1 N - 4.5 N) y WT (3.8 N - 5 N) hasta el día 18 de almacenamiento (Figuras 5 A y B). Se observó una retención de la firmeza por más tiempo en los tomates GM-CW, por el efecto regulador del recubrimiento de cera de candelilla, el cual tiende a disminuir el etileno del fruto (Hagenmaier y Shaw, 1992), sumado al silenciamiento del gen *TomLoxB*, se ralentizó la actividad de las enzimas presentes en la pared celular, responsables del ablandamiento del fruto, el cual incrementa hasta alcanzar la senescencia (Saucedo-Pompa *et al.*, 2009; Bouzayen *et al.*, 2010).

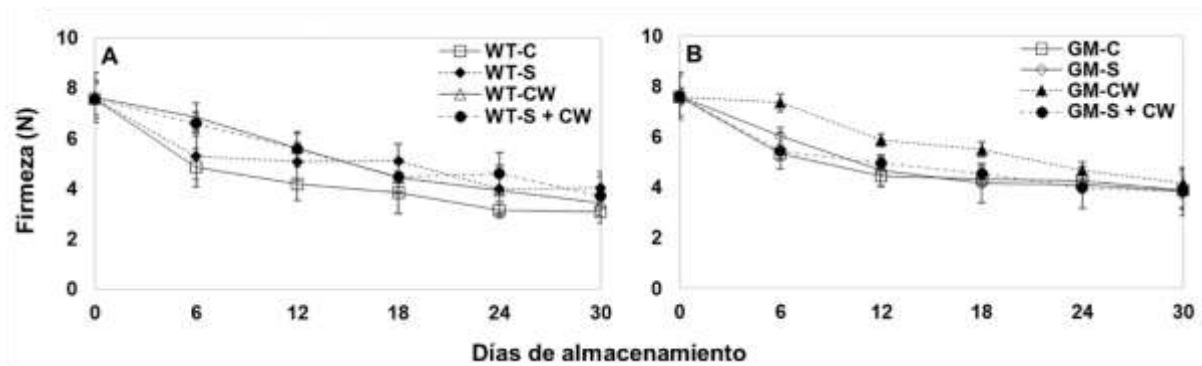


Figura 5. Firmeza en tomates con recubrimientos comestibles: Semperfresh® (S), Cera de candelilla (CW) y Semperfresh® + Cera de candelilla (S+CW) en tomates WT (wild type) (A) y GM (genéticamente modificado) (B). Los tomates testigos de ambas líneas se designan con la letra C.

Conclusiones

1. La cera de candelilla fue el recubrimiento que mostró los mejores resultados para conservar la vida post-cosecha del tomate GM, prolongando su vida útil hasta por 30 días, sin embargo, para los tomates WT con recubrimiento solo se prolongó hasta el día 18. Los tomates GM no mostraron signos de deshidratación hasta el día 30, confirmado por una mayor firmeza y menor pérdida de peso, así como una ralentización de la aparición del color rojo, el cual es signo de retraso en la maduración en el fruto.



2. Los recubrimientos S+CW y S en el tomate GM, mostraron ligeros signos de deshidratación no encontrándose diferencias significativas en la prolongación de su vida útil. De la misma manera, los tomates WT con estos recubrimientos tampoco mostraron diferencias significativas en cuanto a la prolongación con los tomates sin tratamiento de la misma línea.
3. La aplicación de recubrimientos comestibles permitió incrementar hasta un 40% la vida post-cosecha del tomate modificado genéticamente (GM) con la inserción del gen *TomLoxB* en anti sentido.

Recomendaciones y Alcances

Se sugiere analizar la producción de etileno y CO₂, a fin de conocer el efecto de los diferentes recubrimientos sobre la respiración de los frutos con el silenciamiento. Se recomienda realizar un análisis micro estructural de la piel del fruto WT y GM con la aplicación de los recubrimientos empleados en este trabajo.

Los resultados en este trabajo sientan las bases científicas para el uso de recubrimientos en frutos silenciados con este y otros genes relacionados con enzimas del ablandamiento. Los usuarios potenciales son comercializadores e importadores de frutos GM que puedan aprovechar esta tecnología, con lo cual reducirían pérdidas poscosecha debido al desconocimiento del manejo del fruto durante su vida útil.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada que le permitió la dedicación exclusiva a la investigación (CVU 271647).



Literatura Citada

- Asrey, R., K. Barman, U. Prajapati, S. Sharma y A. Yadav. 2021. Genetically modified fruit and vegetable-An overview on senescence regulation, postharvest nutraceutical quality preservation and shelf life extension. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(3), 271-287.
- Bayindirli, L., G. Şümnü, y K. Kamadan. 1995. Effects of semperfresh and jonfresh fruit coatings on poststorage quality of “satsuma” mandarins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19(5), 399-407.
- Bouzayen, M., A. Latché, P. Nath, y J.C. Pech. 2010. Mechanisms of fruit ripening. *Plant Development Bioogy and. Biotechnology* 1:319-339.
- Hagenmaier, R. D. and P. E. Shaw. 1992. Gas permeability of fruit coating waxes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117(1):105-109.
- Kumar, P., S. Sethi and R.R. Sharma. 2017. Combined effect of edible coatings and low temperature on plum fruit quality. *International Journal of Current Microbiology and Applied*, 6(7), 4210-4218.
- León-García, E., G. Vela G., O. A. Del Ángel C., C. Torres P., J. De La Cruz M., M.A. Gómez L. and H. S. García. 2017. Increased postharvest life of *TomLox B* silenced mutants of tomato (*Solanum lycopersicum*) Var. TA234. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 380-387.
- Mederos Y.T., P. Bernabé G., y M.A. Ramírez A. 2020. Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultivos Tropicales*, 41(3).
- Muñiz M. D. B, J. E. Wong-Paz, P. Aguilar Zárata y R. Rojas M. 2017. Aplicación de recubrimientos comestibles a base de pectina, glicerol y cera de candelilla en frutos cultivados en la Huasteca Potosina. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(10), 20-28.



- Rojas M. R., S. Saucedo P., M.A. De León Z., D. Jasso C. y C.N. Aguilar. 2011. Pasado, presente y futuro de la candelilla. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(6),7-18.
- Ruíz M. J., J.A. Aguirre J., R. Rojas., A. Vicente, M.A. Aguilar G., R. Rodríguez H. y C.N. Aguilar. 2020. Candelilla wax edible coating with *Flourensia cernua* bioactives to prolong the quality of tomato fruits. *Foods*, 9(9), 1303.
- Saucedo P. S., R. Rojas M., A.F. Aguilera C., A. Saenz G., H. de La Garza., D. Jasso C., *et al.* 2009. Edible film based on candelilla wax to improve the shelf life and quality of avocado. *Food Research International* 42(4):511-515.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Dirección de Análisis Estratégicos. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/832155/Jitomate_Mayo.pdf. Revisado el 12 de julio de 2023.
- Taşdelen, Ö. y L. Bayindirli. 1998. Controlled atmosphere storage and edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 22(4), 303-320.
- Télles P. R., K. Cruz A., E. Ochoa R., C.N. Aguilar, y R. Rojas. 2013. Cubiertas Comestibles de Cera y Polifenoles de Candelilla: Una Alternativa de Conservación d Conservación de Papaya (*Carica papaya* L.) *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 5(10).
- Vázquez B. M. C., y J. A. Guerrero B. 2013. Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 5-14.
- Velázquez L. A. A., J. De la Cruz M., H. García S., G. Vela G., C. Torres P. y E. León G. 2020. Lipoxigenase and Its Relationship with Ethylene During Ripening of Genetically Modified Tomato (*Solanum lycopersicum*). *Food Technology and Biotechnology* 58: 223–229.



Zapata, L., L. Gerard, C. Davies, L. Oliva. y M. Schvab. 2007. Correlación matemática de índices de color del tomate con parámetros texturales y concentración de carotenoides. Ciencias exactas y naturales- Ingeniería y Tecnología. Ciencia, Docencia y Tecnología, 18(34),207–226.



OBTENCIÓN DE CUBOS DE MANGO DESHIDRATADOS A PARTIR DE MANGO MANILA CLASIFICADO COMO REZAGA

Nayeli Johana Ramírez Roano³³², Elizabeth León García^{333*}, Alejandra Ramírez Martínez³³⁴, Irving Rabasa³³⁵, Héctor Cabrera Mireles³³⁶ y Javier De la Cruz Medina³³²

Resumen

El mango (*Mangifera indica* L.) manila es la variedad más importante en el estado de Veracruz, ya que representa el 96% (95,211 t) del total de la producción de mango del estado (99,153 t). Sin embargo, se estima que entre el 12 y 40% de la producción se pierde debido a factores como sobremaduración y enfermedades provocadas por un manejo inadecuado del fruto. Esto provoca, a su vez, que los frutos no tengan una buena calidad comercial y sean descartados como “rezaga”. Es posible comercializar esta pérdida como conserva, puré, pulpa congelada y deshidratada. De hecho, la deshidratación aumenta más de nueve veces su valor comercial. Asimismo, el secado combinado con otras técnicas, tales como el infrarrojo y el secado osmótico, permite conservar características nutricionales y reducir tiempos y costos de producción. Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la combinación de infrarrojo (IR, 3 y 5 min de tratamiento) y el secado convectivo (SC, 50 y 60°C) en cubos de mango manila obtenidos de pulpa fresca y osmodeshidratada (OD), clasificados como rezaga. Para evaluar el efecto de la combinación de tratamientos, se obtuvieron las cinéticas de secado, actividad de agua y contenido de ácido ascórbico en muestras testigo (sometidas sólo a SC) y en muestras sometidas a OD, IR y SC. Los tratamientos OD más IR (3 y 5 min) y SC a 60°C mostraron valores de $a_w < 0.60$, contenido de ácido ascórbico entre 7.14-17.54 mg/100 g de fruta fresca y tiempos de secado entre 280-346 min, mientras que los tratamientos control (SC 50 y 60°C) mostraron menores valores de ácido ascórbico (1.97mg/100g y 5.76 mg/100g de Vit C, respectivamente) y mayores tiempos de secado (543 min y 421 min, respectivamente). En ambos casos, la a_w fue de 0.47. Estos resultados muestran que el tratamiento OD + IR (3 y 5 min) + SC (60°C) aplicados en cubos de mango

³³² Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Veracruz. *Autor por correspondencia: elibq@gmail.com

³³³ C.E. La Posta- CIR Golfo-Centro/ INIFAP.

³³⁴ Posgrado en Agroecosistemas Tropicales, Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

³³⁵ Food Processing Lab. Biological Systems Engineering UC Davis. ⁵ C.E. Cotaxtla- CIR Golfo-Centro/ INIFAP

³³⁶ C.E. Cotaxtla- CIR Golfo-Centro/ INIFAP



manila, permiten reducir tanto el tiempo de secado, así como retener el contenido de ácido ascórbico, por lo que son excelentes alternativas para el aprovechamiento de mango manila de rezaga.

Palabras clave: pérdidas poscosecha, fruta deshidratada, secado convectivo, tratamiento infrarrojo, osmodeshidratado

Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) ocupa el quinto lugar de producción dentro de los productos frutícolas a nivel mundial, así como el cuarto lugar en México, sólo después de la naranja, limón y plátano (SIAP, 2023). Durante 2021 y 2022, la producción de mango en México fue de 2.15 y 2.17 millones de toneladas, respectivamente. El mango manila es la variedad más importante en el estado de Veracruz, ya que representó el 96% (95, 211 t) del total de la producción de mango del estado (99, 153 t) durante el 2022; y en ese mismo año, el 55% de la producción se concentró en los municipios de Actopan, Soledad de Doblado, Cotaxtla, Manlio Fabio Altamirano y Medellín de Bravo (SIAP, 2023).

A pesar del buen nivel de producción de mango manila, una parte importante de la producción se pierde (entre el 12 y 40%) debido a factores tales como su corta vida poscosecha, enfermedades y el no cumplimiento de los criterios de calidad estética, lo que ocasiona, a su vez, pérdidas económicas a los productores (Osorio y Fernie, 2013). A nivel internacional, también existen pérdidas económicas debido al no cumplimiento de los criterios de calidad estética (color, tamaño o defectos de apariencia). Normalmente, los frutos que no cumplen con los criterios de calidad comercial son descartados como “rezaga” por lo que su aprovechamiento representa una ventana de oportunidades para comercializar el fruto en otras presentaciones (pulpa congelada, puré o deshidratado). EUA, por ejemplo, ha optado por importar mango deshidratado (1.5% del total de las importaciones de mango) y de esta manera no correr riesgos asociados con los principales problemas fitosanitarios que se presentan en mango fresco, como es el caso de la mosca de la fruta y antracnosis. México tiene una participación del 16.5% de las importaciones de mango deshidratado en EUA, siendo así el tercer principal proveedor para este país (SAGARPA, 2021).

Además de los impactos en la conservación del fruto, el precio del mango deshidratado es superior a su comercialización en fresco (9.5 veces), e incluso congelado (4.5 veces). Ya que la rezaga se deshecha,



utilizarla podría aumentar dichos márgenes de ganancia. Ya que el principal importador de frutas tropicales deshidratadas en el mundo es EUA, y dada nuestra cercanía y frecuentes tratos comerciales con este país, es razonable pensar que existe una buena oportunidad para la exportación de productos deshidratados de mango manila de la región de Veracruz, incluyendo a la rezaga. Considerando lo anterior, se buscó desarrollar un producto deshidratado, a partir del mango manila clasificado como rezaga, sometiéndolo a un proceso de osmodeshidratado, seguido de un secado convectivo asistido por infrarrojo. Los resultados obtenidos permitirán evaluar si dichos tratamientos constituyen una alternativa para el tratamiento de la rezaga de mango manila.

Materiales y Métodos

Materia prima

Se utilizaron mangos de la variedad manila, procedentes del Campo Experimental Cotaxtla, ubicado en la Esmeralda, municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. Los frutos se recolectaron durante los meses de junio, julio y agosto del 2022. Todos los mangos recolectados tenían características de mango de rezaga. Se tomaron como defectos aceptables aquellas condiciones en donde la pulpa de los frutos no estuviese expuesta, por lo que se trabajó con frutos verdes golpeados, frutos manchados por lodo o látex, frutos con leve presencia de antracnosis, así como frutos pequeños de acuerdo con el estándar de la Norma NMX-FF-058-SCFI-2006. Por el contrario, no se procesaron los mangos que estuvieran partidos, picados por insectos o aves por el posible impacto en la calidad e inocuidad del producto deshidratado.

Los mangos se lavaron para retirar la suciedad de la cáscara. Se seleccionaron y pesaron mangos suficientes para formar lotes de 1000 g de pulpa. Con un cuchillo se realizaron dos cortes a lo largo de la semilla, y dos cortes más a los costados para retirar la pulpa restante. Con ayuda de una cuchara se separó la pulpa de la cáscara. Las semillas y cáscaras se pesaron y desecharon. Los registros del peso de la pulpa se llevaron a cabo en una balanza analítica (Sartorius, modelo BL 2100, Alemania). Se tomaron muestras de la pulpa rebanada para realizar los análisis fisicoquímicos tales como acidez titulable, sólidos solubles, pH, contenido de humedad, textura y contenido de ácido ascórbico. Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de Poscosecha del Instituto Tecnológico de Veracruz.



Geometría del corte del fruto

Con el fin de definir el tamaño idóneo de los cubos, se realizaron ensayos previos con cubos de distintos tamaños (0.7 cm, 1.2 cm, 1.5 cm). Los resultados mostraron que los cubos de 0.7 cm se quedaban pegados en la charola y se perdía mucho producto al recuperarles, además de que colapsaban y no su color no era agradable a la vista. Los cubos de 1.5 cm podían recuperarse con mayor facilidad y tenían un buen aspecto, sin embargo, los tiempos de secado se prolongaban. Los cubos de 1.2 cm eran fáciles de recuperar, presentaban un buen aspecto y se deshidrataban en tiempos más cortos comparados con los de 1.5 cm. Considerando lo anterior, se seleccionaron los cubos de 1.2 cm con el objetivo de ofrecer un producto intermedio (para manufactura) fácil de adicionar a granolas, cereales, snacks, entre otros productos.

Deshidratación osmótica como pretratamiento

Para realizar el pretratamiento osmótico (OD), se preparó jarabe de azúcar de caña a 60 °Bx, y 1% de ácido cítrico, con una relación jarabe-fruta de 2:1. El proceso de OD se realizó en recipientes de vidrio de 10 L, tapados y almacenados a 20 °C. Todos los pretratamientos de OD alcanzaron 35 °Bx de acuerdo a las prácticas de productores de la región. Se separaron los trozos de mango del jarabe mediante un tamiz y se enjuagaron con agua purificada para eliminar el exceso de jarabe y así evitar la formación de caramelo en la superficie de los cubos. Finalmente, se dejaron en el tamiz por 5 minutos con el objetivo de eliminar el exceso de agua.

Pretratamiento de Infrarrojo y secado por convección

Se utilizó un secador catalítico piloto localizado en el ITV/UNIDA el cual acopla el secado por infrarrojo y el secado por convección (Becri, México; Figura 1).



Figura 1. Secador combinado piloto.



El equipo cuenta con un tablero donde se configura el tiempo de acción del infrarrojo, así como la temperatura del secador por convección. También cuenta con un termómetro integrado para monitorear la temperatura establecida en el set-point.

La parte del equipo en donde se realizó el tratamiento IR cuenta con dos lámparas de halógeno con recubrimiento de oro ubicadas a 15 cm de la bandeja superior. Dichas lámparas emiten una radiación con una longitud de onda de 2.5 μm y 2000 W de potencia. La parte del equipo en donde se realizó el secado convectivo (63 x 65 x 63 cm) cuenta con cuatro bandejas en las cuales se colocó el producto a tratar.

Tratamiento de las muestras

Posterior al secado osmótico, 500 g de muestra fueron colocados en la charola superior del equipo mostrado en la Figura 1 y se sometieron a radiación IR por 3 y 5 minutos. Al concluir el tratamiento infrarrojo, los cubos de mango se sometieron a un secado por convección en la misma cámara (50 y 60°C, y 2 m/s de velocidad de aire). En ambos tratamientos, se midió la pérdida de peso de las muestras. En el caso del secado por convección, el tratamiento se detuvo al alcanzar un contenido de humedad del 20%, el cual es el criterio empleado en una deshidratadora comercial.

Análisis fisicoquímicos

Humedad y actividad de agua

El contenido de humedad se determinó por la técnica descrita en el AOAC (1990), fundamentado en la pérdida de humedad por secado. Para ello se utilizó una estufa de laboratorio (Thelco Precision 70D, USA) donde se colocó la muestra a 105°C a presión atmosférica, hasta alcanzar peso constante tras 24 h. El contenido de humedad se calculó de acuerdo con la fórmula (1) (Cockerell *et al.*, 1971)

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100 \quad \text{Fórmula (1)}$$

en donde % *Humedad* se refiere a la humedad en base seca de las muestras expresada en porcentaje, *Peso inicial* se refiere al peso registrado al inicio del proceso (g) y *Peso seco* es el peso constante registrado al final del proceso. La actividad de agua se determinó con un higrómetro Aqualab (Decagon, Devices, modelo Serie 3, Suiza) a $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

pH y acidez titulable

El pH se determinó de acuerdo con la metodología descrita en la NOM-F-317-S-1978. Para ello, se molió pulpa de mango en un mortero, se tomaron 30 g de pulpa molida en un vaso de precipitado y se realizó la medición de pH con un potenciómetro (Ohaus Starter 2100, USA).



La acidez titulable se determinó neutralizando el ácido contenido en una muestra de 10 g de pulpa de mango con una solución estándar de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador (NOM-FF-6-1982).

Sólidos Solubles

Para determinar los sólidos solubles se midieron los °Brix del jugo extraído del fruto. Se utilizó un refractómetro ABBE (Leica modelo Mark II, Buffalo, NY). El refractómetro fue verificado previamente con agua destilada.

Firmeza

En fruto fresco se realizó la prueba de punción en la pulpa (penetrabilidad), con un punzón de 8 mm de diámetro, configurado para perforar 10 mm de la pulpa a una velocidad de descenso de 20 mm/s. Se retiró la cáscara de un costado en cada mango muestreado y se realizó la punción de forma perpendicular a la pulpa, en tres puntos del mesocarpio.

Concentración de ácido ascórbico (Vit C)

Las determinaciones de ácido ascórbico se realizaron en muestras empacadas en bolsa triple barrera tras dos meses de almacenamiento en cámara refrigerada a 20°C. La concentración de Vit C se determinó por el método usado por el Departamento de Agricultura de Canadá con algunas modificaciones (Ward, 1963). En este, se tomaron 20 g de pulpa fresca o cubos de mango deshidratado, dependiendo del tipo de tratamiento. Posteriormente, se colocaron en vasos de precipitado de 250 mL. A cada vaso se le adicionaron 140 mL de solución de ácido oxálico al 0.4% y se licuaron durante 3 min. Enseguida se centrifugaron en tubos de ensayo de 20 mL a 585xg por 10 min para separar la materia sólida. Se colectó el sobrenadante sin pulpa y se traspasaron a tubos Eppendorf de 2 mL, los cuales se centrifugaron a 12,732xg por 10 min para separar el sobrenadante clarificado. Finalmente, se filtró el sobrenadante con acrodiscos de nylon de 0.22 µm para obtener un extracto cristalino y proceder a la titulación con 2,6-diclorofenol-indofenol. De las muestras tituladas se tomaron alícuotas para ser leídas en un espectrofotómetro con arreglo de diodos marca Agilent Technologies®, (model 8453, Waldbronn, Germany) a una longitud de onda de 540 nm previa lectura del testigo. La curva de calibración se elaboró con cantidades conocidas de ácido ascórbico puro disuelto en una solución acuosa de ácido oxálico 0.4%. Se tomó una alícuota de 1 mL de la solución y se tituló con 18 mL de solución de 2,6-diclorofenol-indofenol 0.0012%. Se midieron las absorbancias de las muestras tituladas a una longitud de onda de 540 nm.



Resultados y Discusión

Caracterización de los frutos de rezaga

Los mangos recolectados de rezaga se eligieron siguiendo el criterio descrito en la metodología. En el Cuadro 1 se presentan los valores del perfil fisicoquímico de los mangos recolectados y usados en la experimentación. En general, estos valores se encuentran en el mismo orden que los valores reportados por Mercado (2012) y varios de los valores reportados por Maldonado-Astudillo *et al.* (2016), a excepción de la humedad (69.3%) y °Brix (11.3), lo cual puede explicarse por la diferencia en la textura de las muestras analizadas por Maldonado-Astudillo *et al.* (2016) y las del presente trabajo. Un aspecto importante de los valores del Cuadro 1 es que corresponden a muestras que son normalmente descartadas, notándose que cuentan con propiedades físicas (Índice de sabor de 59.71) y nutricionales (ácido ascórbico) que pueden ser aprovechadas por los productores.

Osmodeshidratado

En el Cuadro 2 se pueden observar las características que presentó la pulpa de mango manila al concluir el tratamiento de inmersión en la solución osmótica de azúcar de caña.

Cuadro 1. Caracterización del mango manila recolectado como rezaga.

Atributo	Valor n= 90
Textura (N)	3.17±0.68
Acidez titulable (%)	0.32±0.13
°Bx	19.11±2.40
pH	4.42±0.42
Humedad %	81.68±3.37
Ácido ascórbico (mg/100g fruta)	37.79±0.91

Cuadro 2. Caracterización de la pulpa de mango en cubos, después del tratamiento osmótico.

Atributo	Valor
Acidez titulable (%)	0.51±0.07
Sólidos solubles (°Bx)	40.29±3.19
pH	3.32±0.18
Humedad (%)	58.70±3.62



El contenido de sólidos solubles se incrementó casi al doble (40.29°Bx) mientras que la humedad se redujo en un 25% ya que, durante el tratamiento osmótico, ocurre transferencia de masa de la solución hipertónica a la matriz alimentaria, y como resultado de ello, el fruto pierde humedad y gana sólidos solubles (Rincon y Kerr, 2010; Sánchez, 2016) (Figura 2). La osmodeshidratación también aumentó la acidez en las muestras, lo cual puede atribuirse a que los ácidos se concentran por la pérdida de agua y contribuye a la aceptabilidad del mango (Moreno *et al.*, 2010).

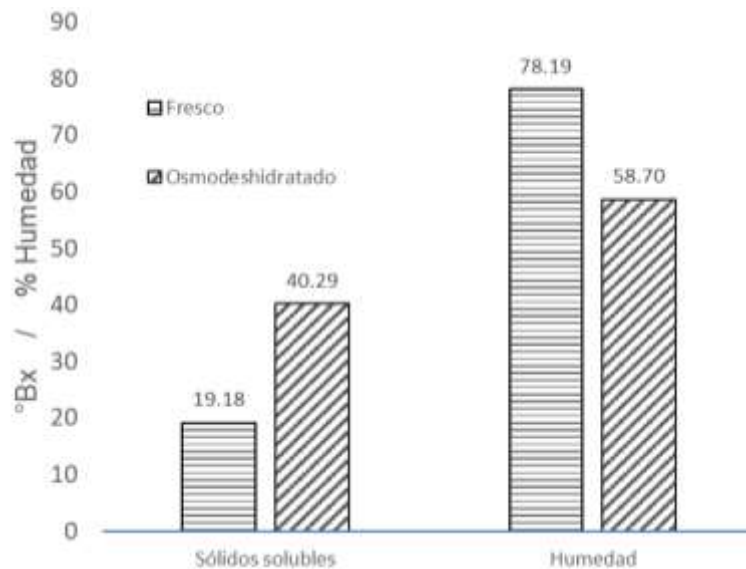


Figura 2. Comparación de los sólidos solubles y humedad del mango fresco y osmodeshidratado.

Tratamientos combinados

En el Cuadro 3 se presentan los 12 tratamientos evaluados, sus medias de tiempo de secado y la actividad de agua (a_w). Los tiempos para alcanzar una humedad del 20% al utilizar secado convectivo (Secado convectivo a 50 y 60°C, 543 y 421 min, respectivamente) fueron mayores a los registrados cuando se aplicó OD (280-510 min) e Infrarrojo (361-534 min). En general, los tratamientos que incluyen OD presentaron mayor actividad de agua (0.468-0.585) y los tratamientos que no incluyen OD presentaron la menor actividad de agua, siendo los más bajos aquellos con 3 minutos de infrarrojo (0.454 y 0.445) ($p < 0.05$). En el caso de la interacción del OD con la temperatura de secado, se observa que los tratamientos a 50°C presentaron una marcada diferencia de medias entre los tratamientos con y sin OD, mientras que a 60°C las medias están más cercanas entre sí. Lo anterior puede explicarse porque la velocidad de secado es mayor a 60°C lo que disminuye las actividades agua. A pesar de las diferencias entre los valores de actividad de agua, la mayoría se encuentra por debajo del valor crítico



para el crecimiento de microorganismos (0.6), condición fundamental para la mayor estabilidad microbiológica durante el almacenamiento de esos productos.

Cuadro 3. Tiempos de secado y contenido de humedad en base húmeda en los distintos tratamientos de secado de cubos de mango manila.

ID	Tratamiento	Tiempo de secado (min)	Valor (a_w)
1	Convección 50°C	543	0.470±0.06 ^{bc}
2	IR3 + C 50°C	534	0.445±0.06 ^c
3	IR5 + C 50°C	443	0.460±0.06 ^c
4	OD + C 50°C	510	0.585±0.01 ^a
5	OD + IR3 + C 50°C	508	0.476±0.05 ^{bc}
6	OD + IR5 + C 50°C	410	0.609±0.02 ^a
7	Convección 60°C	421	0.470±0.06 ^{bc}
8	IR3 + C 60°C	418	0.454±0.02 ^c
9	IR5 + C 60°C	361	0.493±0.05 ^{bc}
10	OD + C 60°C	360	0.518±0.07 ^b
11	OD + IR3 + C 60°C	346	0.479±0.05 ^{bc}
12	OD + IR5 + C 60°C	280	0.468±0.02 ^{bc}

Las medias que no comparten letras son significativamente diferentes.

Cinéticas de secado

Las cinéticas expresan el cambio de humedad a lo largo del secado. En el presente trabajo, el cambio de humedad fue expresado como una razón de humedad (X/X_0) donde X es humedad del mango en un tiempo t, y X_0 es la humedad inicial. En lo que respecta a los tratamientos con infrarrojo y secado convectivo se observó un comportamiento similar en las curvas de secado de los tratamientos a 50°C y a 60°C (Figura 3). La reducción de humedad vs tiempo fue significativa en ambos niveles de infrarrojo (3 min y 5 min), obteniéndose los productos con menor humedad aplicando 5 min de IR y secado convectivo a 60°C (Figura 3). La misma tendencia se observó en la combinación OD, IR y secado convectivo, en donde los menores valores de humedad y tiempo se observaron con 5 min de IR y 60°C de SC. Al observar las cinéticas de secado es posible notar una diferencia en las pendientes de los tratamientos, recordando que pendientes más pronunciadas implican velocidades de secado más altas.



Por ejemplo, en la Figura 4 se presenta la cinética de los tratamientos OD expuestos al Infrarrojo (3 y 5 min) y secados a 60°C. Se observa una pendiente menos pronunciada que en aquellos tratamientos sin el OD (Figura 3) debido a la saturación de las células del mango por la sacarosa, lo que ocasionó mayor dificultad a la salida del agua y a que la exposición prolongada a la radiación puede caramelizar los azúcares en la superficie de las muestras dificultando la salida del agua.

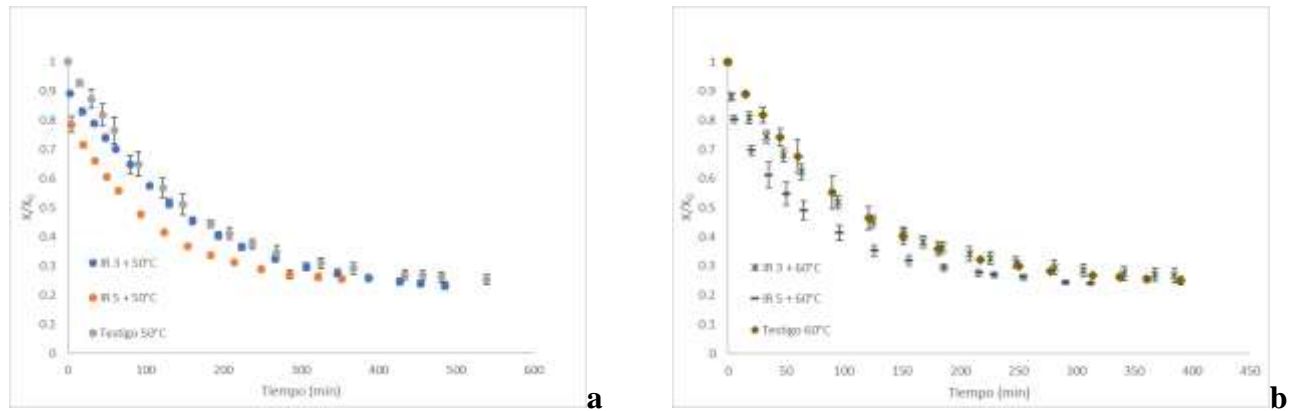


Figura 3. Razón de humedad (X/X_0) versus tiempo durante el secado convectivo a 50°C (a) y 60°C (b) de cubos de mango manila con tratamiento Infrarrojo (IR) durante 3 y 5 min.

Asimismo, se puede apreciar que en los primeros minutos de secado (Figura 3 y 4) la aplicación de infrarrojo reduce el periodo de inducción y aumenta la velocidad de secado tanto en los tratamientos con OD como sin OD. Al realizar el ANOVA con un nivel de confianza del 95% todos los factores y sus interacciones reportaron tener un efecto estadísticamente significativo en el tiempo de secado ($p < 0.05$).

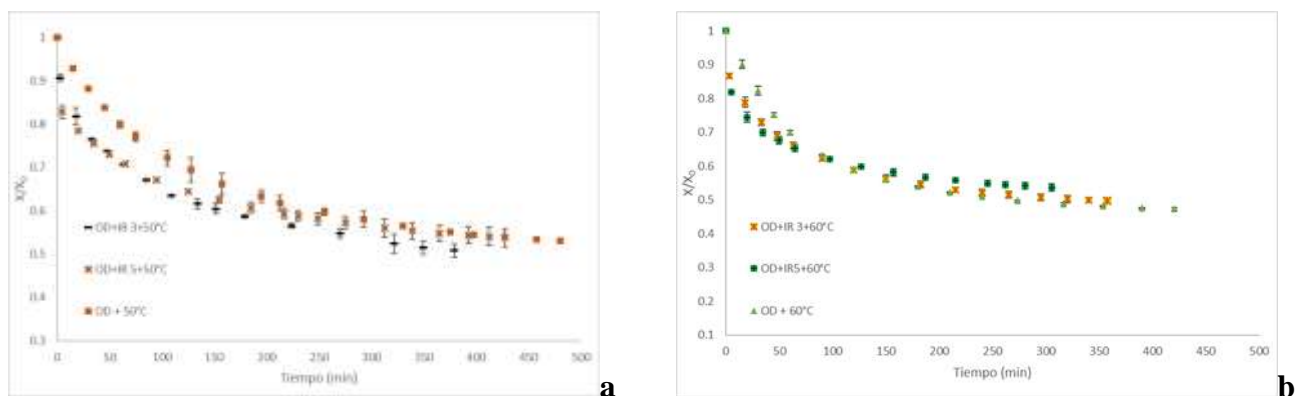


Figura 4. Razón de humedad (X/X_0) versus tiempo durante el secado convectivo a 50°C (a) y 60°C (b) de cubos de mango manila con tratamiento Osmótico e Infrarrojo (IR) durante 3 y 5 min.



Vitamina C

Las determinaciones de ácido ascórbico se muestran en el Cuadro 4. Tanto el OD como la aplicación de infrarrojo (3 o 5 min) tienen un efecto positivo en el contenido de ácido ascórbico. Los tratamientos testigos a 50°C y 60°C obtuvieron los valores más bajos de vitamina C (1.97 y 5.76 mg Vit C/100 g fruta fresca). El contenido más alto se detectó en cubos de mango OD a los cuales se les aplicó 3 minutos de infrarrojo y posterior secado a 60°C. Al realizar el ANOVA con un nivel de confianza de 95%, se confirma que el OD ($p=0.001$), el infrarrojo ($p=0.032$) y su interacción combinada ($p=0.002$) tienen un efecto estadísticamente significativo en el contenido de ácido ascórbico. Está reportado que a 50 y 60°C la Vit C se degrada ya que es termosensible por lo que era de esperarse que durante el proceso de secado se presentara degradación de esta (Ordoñez y Yoshioka, 2012; Ortiz *et al.*, 2012). Sin embargo, en la presente investigación se logró aminorar dicha degradación ya que el mejor tratamiento retuvo el 46.4% del contenido original de Vit C (Cuadro 4) mientras que los secados convectivos sin pretratamientos presentaron 95% de degradación ($T=50^{\circ}\text{C}$) y 85% de degradación ($T=60^{\circ}\text{C}$). Lo anterior pone de manifiesto una vez más la importancia de los pretratamientos aplicados.

Cuadro 4. Contenido de Ácido Ascórbico en cubos de mango manila deshidratados.

ID	Tratamiento	Ácido ascórbico (mg/100 g)	% Retención de Vit C en pdto final
1	Convección 50°C	1.97 ^c	5.21%
2	IR3 + C 50°C	8.94 ^{abc}	23.66%
3	IR5 + C 50°C	11.74 ^{abc}	31.07%
4	OD + C 50°C	14.66 ^{ab}	38.79%
5	OD + IR3 + C 50°C	15.90 ^{ab}	42.07%
6	OD + IR5 + C 50°C	10.69 ^{abc}	28.29%
7	Convección 60°C	5.76 ^{bc}	15.24%
8	IR3 + C 60°C	8.66 ^{abc}	22.92%
9	IR5 + C 60°C	10.07 ^{abc}	26.65%
10	OD + C 60°C	11.59 ^{abc}	30.67%
11	OD + IR3 + C 60°C	17.54 ^a	46.41%
12	OD + IR5 + C 60°C	7.14 ^{bc}	18.89%

Las medias que no comparten letras son significativamente diferentes.



Selección del mejor tratamiento

Para seleccionar los mejores tratamientos se tomaron en cuenta tres criterios:

- a) Que el producto pudiera mantenerse estable a temperatura ambiente, por lo que se descartaron aquellos con a_w mayor a 0.60.
- b) El contenido de ácido ascórbico como un aspecto nutricional, seleccionándose los 5 tratamientos que presentaron el mayor contenido de Vit. C después de dos meses de almacenamiento.
- c) El tiempo de secado.

De esta manera, los tres mejores tratamientos correspondían al 9 (IR5 + 60°C), 10 (OD + 60°C) y 11 (OD + IR3 + 60°C).

Conclusiones

La aplicación de IR por 5 minutos previo al secado convectivo y posterior al secado osmótico disminuyó el tiempo de secado total, aumentando la velocidad de secado en comparación con el secado convectivo sin pretratamiento. A pesar de que el secado osmótico generó las muestras con mayores actividades de agua, aumentó la firmeza de los productos y tuvo un efecto positivo en la retención de ácido ascórbico. La combinación del secado osmótico, infrarrojo y secado convectivo permitió retener una mayor proporción de ácido ascórbico por lo que son una buena opción para el aprovechamiento de la rezaga del mango manila.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud al CONAHCyT-México por la beca recibida para el primer autor NJRR (779170).

Literatura Citada

AOAC. 1990. Official methods of analysis of the AOAC, 15th ed. Methods 932.06, 923.03. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.



Cockerell, D. 1971. Bookbinding, and the Care of Books: A Text-book for Bookbinders and Librarians. Association of Research Libr.

Maldonado A.Y.I., H. A. Navarrete G., O.D. Ortiz M., J. Jiménez H., R. Salazar L., I. Alia T. y P. Álvarez F. 2016. Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de Guerrero. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 39(3): 207 - 214.

Mercado, E. 2012. Estado del arte del manejo poscosecha del mango cv Manila. The National Mango Board. https://www.mango.org/wp-content/uploads/2018/03/Manila_Mangos_Final_Report_Spn.pdf.

Moreno, A., D. León., G. Giraldo., and E. Ríos. (2010). Estudio de la cinética fisicoquímica del mango (*Mangifera indica* L. Var. Tommy Atkins) tratado por métodos combinados de secado. *Dyna*, 77(162), 75-84.

NMX-FF-058-SCFI-2006. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano, fruta fresca-Mango (*Mangifera indica* L.).

NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en Alimentos.

NOM-FF-6-1982, Productos Alimenticios no industrializados, para uso humano fruta fresca terminología.

Osorio, S., and A.R. Fernie. 2013. Chapter two Fruit Ripening in Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. University of Technology of Sidney Eds.

Ordóñez, L.E. y L.S. Yoshioka. 2012. Cinética de degradación térmica de vitamina C en pulpa de mango (*Mangifera indica* l.). *Vitae*, Universidad de Antioquia Medellín, Colombia, 19, (1): 81-83.



Ortíz, G., T. Romero, J.A. Cuervo, L. Tamayo, A. Morales, G.C. Rodríguez, M.A. García, and V.J. Robles, 2012. Degradación del ácido ascórbico durante el secado convectivo de papaya Maradol (*Carica papaya*). IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina.

Rincón, A., and W. L. Kerr. 2010. Influence of osmotic dehydration, ripeness and frozen storage on physicochemical properties of mango. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(5), 887–903.

SAGARPA. 2015. Estudio para la determinación de alternativas de aprovechamiento tecnológico y productivo para la rezaga de mango de las variedades Kent, Keitt y Haden. Reporte Ejecutivo Octubre.

Sánchez G.E.M. 2016. Optimización del proceso osmo-convectivo en la deshidratación del mango (*Mangifera indica l.*) Tesis de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SIAP 2023. Consultado en junio de 2023. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Tirado, D., P. Montero, y D. Acevedo, 2014. Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(2), 3-10.

Veliz L.L.I. 2016. Conservación de frutas tropicales mediante los métodos combinados de osmodeshidratación y deshidratación por aire caliente. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Quevedo. Los Ríos, Ecuador.

Ward, G.M. 1963. Ascorbic acid in tomatoes. Distribution and method of assay. *Canadian Journal of Plant Science*. 43: 206-213.



MANUALES PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE HUMEDALES CONSTRUIDOS: UN ESTUDIO COMPARATIVO

Nelson Andrés Losada Rodríguez^{337*}, José Luis Marín Muñiz³³⁷ y María del Carmen Célis Pérez³³⁷

Resumen

Los Humedales Construidos (HC) como una solución ecológica, económicamente viable y socialmente aceptable para el tratamiento de aguas residuales (AR) están adquiriendo una creciente relevancia en el ámbito gubernamental. Diversos gobiernos alrededor del mundo están publicando este tipo de información en sus sitios oficiales, brindando acceso general a las comunidades para que puedan adoptar enfoques más ecológicos en la gestión de sus AR. El objetivo de este estudio se centró en una primera instancia en identificar y recopilar documentos representados en manuales que contuvieran información sobre los HC y que hubieran sido publicados en sitios web oficiales de gobierno. En una segunda instancia, se extrajeron, analizaron y compararon los elementos correspondientes al diseño, construcción, operación y mantenimiento de los HC contenidos en los manuales objeto de estudio. Para llevar a cabo este estudio descriptivo-cualitativo, se llevó a cabo una revisión y análisis de contenidos mediante herramientas de búsqueda de información científica para su posterior clasificación, análisis y representación de los datos. Se detectó que Australia, España, EE. UU., México, Países Bajos, Irlanda del Norte y Escocia, y un programa de las Naciones Unidas: ONU-HÁBITAT, han publicado en sus sitios web manuales que contienen información sobre los HC. Entre las consideraciones a tomar en cuenta para construcción de los HC se identificó que la excavación del terreno en donde se va a instalar el HC, el dimensionamiento del área y el mantenimiento de la vegetación son elementos comunes presentes en la mayoría de los manuales. Mientras que otras cuestiones de diseño son dependientes del tipo de humedal a utilizar. Se concluye entonces que, los HC están adquiriendo cada vez mayor presencia en las agendas globales de los gobiernos como una solución basada en la naturaleza (SbN) para el tratamiento de AR. Finalmente, el manual 3 correspondiente a la oficina de investigación de

³³⁷ El Colegio de Veracruz - Academia de Derecho y de Desarrollo Regional Sustentable. *Autor por correspondencia: andres1323@live.com



Cincinnati, Ohio, EE. UU., fue el que aportó mayor cantidad de elementos (26) en conjunto para el diseño, construcción, operación y mantenimiento, mientras que los otros documentos solo incluyeron entre 15 y 23 elementos.

Palabras clave: aguas residuales, fitorremediación, soluciones basadas en la naturaleza, agenda global del agua, medio ambiente

Introducción

En la actualidad, más del 80% de las AR colectadas se están vertiendo sobre los cuerpos de agua sin ningún tratamiento previo (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos (PMNUERH), 2018). Este aumento progresivo de la contaminación del agua a nivel global ha volcado el interés de los gobiernos de todos los niveles a implementar SbN como los HC para el tratamiento de las AR. Los HC son definidos como sistemas que imitan los procesos físicos, químicos y biológicos de los humedales naturales y son creados exclusivamente para la purificación de las AR y la remediación de los ecosistemas locales (Marín-Muñiz, 2018; Zitácuaro y Marín, 2020).

Los HC se clasifican de acuerdo con el flujo del agua en superficial (HS) y subsuperficial (HSS) (Figura 1). En el HS, el agua fluye por encima del sustrato y se encuentra en contacto permanente con la atmósfera, mientras que, en el HSS, el agua fluye por debajo del sustrato.

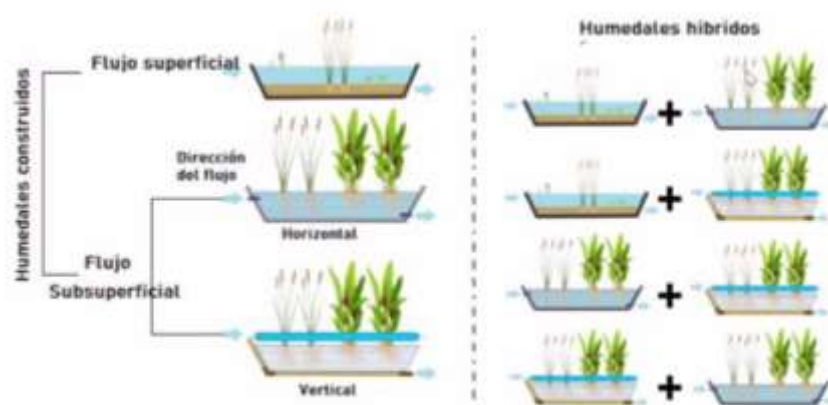


Figura 1. Clasificación de los Humedales Construidos por tipología y flujo hídrico. Fuente: Marín-Muñiz *et al.*, 2023a.



Asimismo, el HSS puede presentar una dirección de flujo vertical (FV) u horizontal (FH) (Figura 1). En algunas ocasiones, para lograr una mayor remoción de contaminantes, es posible emplear una combinación de distintos sistemas, por ejemplo, integrando HS con HSS y, a su vez, estos con los FV y FH, llamados entonces humedales híbridos (Figura 1).

Los componentes principales de un HC son: el medio filtrante como el sustrato compuesto de grava, arena o piedra porosa de río; la vegetación, compuesta en su mayoría por plantas fitorremediadoras, es decir, plantas que tienen la capacidad de absorber y adsorber contaminantes del agua y del suelo; y los microorganismos, los cuales se encargan de remover la mayor parte de los contaminantes del agua. El agua solo es el medio para tratar (Marín-Muñiz et al., 2020).

Según David et al. (2023) es de suma importancia considerar una elección adecuada de la vegetación, el sustrato como medio filtrante, el flujo del agua y el modo de operación de un HC. Por ello, en varios países alrededor del mundo y a través de diferentes instituciones de medio ambiente, los gobiernos están publicando manuales, guías, directrices, orientaciones e información relacionada con el diseño, la construcción, operación y mantenimiento de los HC para el tratamiento AR.

En México, en el año 2018, a través de la Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], se publicó un manual titulado "*Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales - Humedales Artificiales*", que contiene los lineamientos de construcción de un Humedal Artificial (HA) para el tratamiento de AR. Este documento describe los principios y aspectos técnicos para tener en cuenta durante la implementación y operación de un HA. De acuerdo con el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, en el 2021 en México se reportaron 230 HA en funcionamiento, lo que representa el 8,01% del total de plantas de tratamiento instaladas en el país (CONAGUA, 2021).

Diversos países alrededor del mundo como Australia, España, EE. UU., Países Bajos, entre otros, ya poseen documentos publicados en forma de manuales en sus sitios web que brindan información sobre los HC en sus diferentes representaciones para tratar distintos tipos de AR.

Esta investigación se centra en destacar dos puntos fundamentales. En primer lugar, evidenciar la existencia de documentos relacionados con los HC y publicados por parte de instituciones de gobierno. En segundo lugar, resaltar la relevancia cada vez mayor que los HC han adquirido en la agenda global del agua como una SbN para el tratamiento de AR y que aporta beneficios significativos a nivel social, ambiental y económico para la sociedad. En este contexto, el objetivo de este estudio es identificar los elementos en común y datos relevantes que convergen entre ocho manuales emitidos por siete países y



un programa de las Naciones Unidas que abordan los aspectos más importantes para la implementación de HC. Además, se busca determinar cuál manual es el más completo y aporta mayor cantidad de elementos al estudio.

Materiales y Métodos

Esta investigación tiene un enfoque descriptivo-cualitativo, se utilizó la técnica de revisión y análisis de documentos (Guix, 2008) apoyada de herramientas como Scopus y Excel para buscar y analizar los datos (Figura 2). El estudio tuvo un diseño no experimental (Hernández et al., 2014). Para llevar a cabo este estudio, se tomaron como referencia ocho manuales de HC de siete países y un programa de las Naciones Unidas mediante un muestreo intencional inducido (Pérez, 1994). Los países identificados fueron: Australia, España, EE. UU., México, Países Bajos, Reino Unido (Irlanda del Norte y Escocia), y un programa de las Naciones Unidas: ONU-HÁBITAT. Se consideraron los elementos de construcción, diseño, mantenimiento y operación de los HC de cada uno de los manuales. El estudio se llevó a cabo en tres etapas:

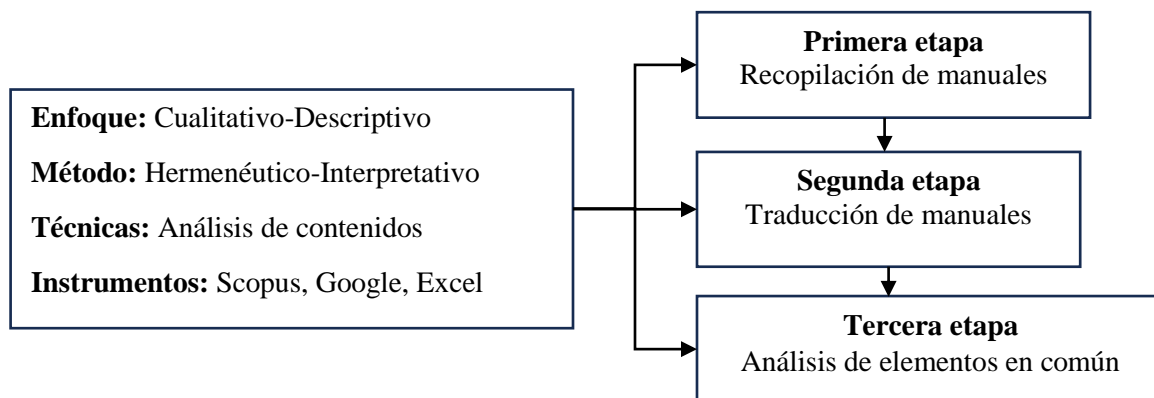


Figura 2. Diseño metodológico del estudio. Adaptado de Hernández *et al.*, (2014), Pérez (1994) y Vargas (2011).

Primera etapa

En esta fase, se buscó literatura científica utilizando métodos booleanos como: TITLE-ABS ("Constructed wetlands" OR "Treatment wetlands") AND ("manual"), con el apoyo de bases de datos como Scopus para identificar publicaciones de autores que hicieran énfasis en la existencia de



manuales para la implementación de HC. Posteriormente, se buscaron los manuales identificados por los autores haciendo uso del idioma oficial de cada país en cada una de las páginas oficiales apoyados del buscador Google. Para presentar una información resumida, se asignó una etiqueta a cada manual (manual 1, manual 2, etc.) con el fin de identificarlos de manera clara y concisa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Caracterización de los manuales en el diseño de HC.

Origen	Nombre	Alcance
ONU-HÁBITAT (Manual 1)	Manual de Humedales Construidos	HSS
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos Región III (Manual 2)	Manual de Humedales Construidos	HS HSS H1
Oficina de Investigación y Desarrollo Cincinnati, Ohio, EE. UU. (Manual 3)	Manual: Tratamiento de Aguas Residuales Municipales mediante Humedales Construidos	HS HSS
Comisión Nacional del Agua de México (Manual 4)	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales	HS HSS
Ministerio de Medio Ambiente y medio Marino de España (Manual 5)	Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones	HS HSS
Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de Países Bajos (Manual 6)	Manual de filtros de helófitas para sistemas de IBA (Tratamiento individual de aguas residuales)	HSS
Agencia de Medio Ambiente de Irlanda del Norte y Agencia de Protección del Medio Ambiente de Escocia (Manual 7)	Humedales agrícolas construidos (CFW, e Irlanda del Norte)	HS
Corporación Estatal del Agua de Melbourne, Australia. (Manual 8)	Diseño, Construcción y Establecimiento de Humedales Construidos	HS

Nota. HS: Humedal Superficial; HSS: Humedal Subsuperficial; H1: Híbridos (HS+HSS).

Fuente: (Brown *et al.*, 2000; Carty *et al.*, 2008; CONAGUA, 2018; Corporación Melbourne Water, 2020; Davis, 1995; Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 1998; Ortega *et al.*, 2011; UN-HABITAT, 2008).



Segunda etapa

En esta fase, los manuales fueron traducidos al español desde el idioma oficial de cada país mediante el uso de la herramienta Traductor de Google. El objetivo principal de esta tarea fue facilitar el análisis y asegurar una comprensión adecuada de los manuales.

Tercera etapa

En esta etapa, se llevó a cabo la recopilación de los elementos comunes mediante la creación de una matriz en Microsoft Excel. Posteriormente, se utilizaron los datos recopilados en una tabla de frecuencias para generar las gráficas.

Resultados y Discusión

Elementos en común en el diseño de Humedales Construidos

Un elemento común destacado que estuvo presente en la gran mayoría de los manuales fue el dimensionamiento del área y profundidad del humedal (Figura 3a). De ahí en adelante los resultados no tuvieron una variación significativa. Elementos como las características del medio filtrante como la grava y la arena (5), las estructuras de entrada y salida del agua (5) y los aspectos hidráulicos, como el control del flujo y la derivación del caudal (5), presentaron resultados similares en los manuales (Figura 3a).

Los manuales también coincidieron en otros elementos clave para el diseño de los HC o resaltando el uso de sistemas de tratamiento previos al HC, ya que éste último funcional principalmente como tratamiento secundario o terciario, presentando resultados afines: Tratamiento primario —tanque séptico, rejillas, trampas de lodos, separador de grasas, desarenadores— (4), la impermeabilización o sellado de la cama del área (4), la vegetación (4), la disponibilidad y selección de terreno, así como la superficie necesaria (4), los canales o celdas (4) y el tanque receptor de aguas tratadas (4) (Figura 3a). La topografía (3) y las tuberías (3) tuvieron una menor presencia en los manuales estudiados (Figura 3a). Los manuales 3 y 4 fueron los documentos que aportaron más elementos de diseño en el estudio, con un total de 12 cada uno (Figura 3d). El manual que aportó menos elementos fue el manual 7 (3 en total) (Figura 3d).

Elementos en común en la Construcción de Humedales Construidos.

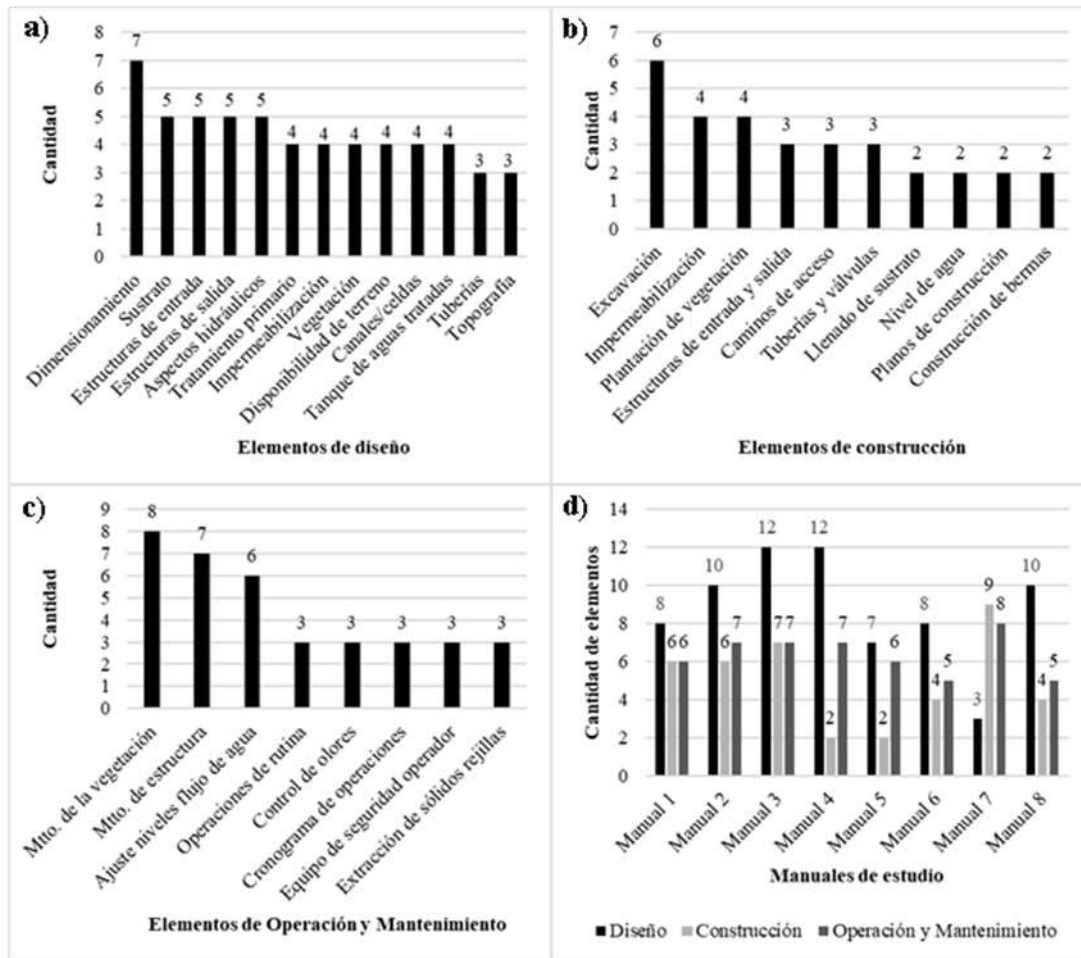


Figura 3. Elementos comunes de diseño, construcción, operación y mantenimiento de HC en países de estudio. Fuente: (Brown et al., 2000; Carty et al., 2008; CONAGUA, 2018; Corporación Melbourne Water, 2020; Davis, 1995; Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, 1998; Ortega et al., 2011; Un-Habitat, 2008).

El elemento con mayor presencia en los manuales de estudio para la construcción de HC es la excavación incluye limpieza de terreno y rodillo vibratorio—, con un total de seis menciones (Figura 3b). A partir de este punto, los datos revelaron resultados variados en las siguientes categorías: Impermeabilización (4), plantación de vegetación selección de especies (4), estructuras de entrada y salida (3), caminos de acceso (3) y tuberías y válvulas (3). Por otro lado, los elementos con menor presencia fueron el llenado de sustrato (2), la estructura hidráulica (2), la inclusión de planos de construcción (2) y la construcción de bermas (2) (Figura 3b). De todos los manuales analizados, los documentos 3 y 7 se destacaron al proporcionar más elementos de construcción, con 9 elementos



encontrados en el manual 7 y 7 en el manual 3 (Figura 3d). Además, se encontró que los manuales 4 y 5 presentaron la menor cantidad de elementos aportados, solo dos en cada caso (Figura 3d).

Elementos en común en la Operación y Mantenimiento de Humedales Construidos

En todos los manuales analizados, se encontró que el elemento relacionado con el mantenimiento de la vegetación estuvo presente de forma uniforme (Figura 3c). El mantenimiento de la estructura (7) y los ajustes de niveles de agua (6 manuales) también fueron elementos de gran relevancia en los manuales analizados.

A partir de este punto, se observó que elementos como operaciones de rutina (3), control de olores (3), cronograma de operaciones (3), equipo de seguridad del operador (3) y extracción de sólidos de las rejillas (3) mantuvieron resultados consistentes en todos los manuales analizados. De los manuales analizados, el manual 7 se destacó al proporcionar ocho elementos de operación y mantenimiento al estudio (Figura 3d). Se encontró que los manuales 6 y 8 presentaron la menor cantidad de elementos aportados en cuanto a la operación y mantenimiento, solo cinco en cada caso (Figura 3d).

La incorporación de SBN en las agendas gubernamentales de los países analizados representa un progreso significativo en la adopción de ecotecnologías para el tratamiento de AR. De acuerdo con los resultados obtenidos, se destaca que el dimensionamiento de los HC, incluyendo la determinación del área, profundidad y proporciones largo por ancho de las celdas, es el factor más relevante para considerar en el diseño de este tipo de sistemas de tratamiento. No obstante, en los manuales examinados no se hallaron recomendaciones específicas acerca de las dimensiones que debería tener el área para llevar a cabo su implementación.

Por otro lado, el manual 8 incluye un dato interesante dentro del diseño de HC, destaca la importancia del diseño paisajístico y la mejora del hábitat, la biodiversidad y el paisaje como elementos clave para tener en cuenta en la implementación de los HC. En la actualidad, varios estudios han incorporado elementos paisajísticos y de biodiversidad en sus diseños de HC. Por ejemplo, se han instalado HC en forma de mariposa en la Isla Koh Phi Phi en Tailandia (figura 4b), a razón de que la forma de la isla presenta una morfología que se asemeja al cuerpo de una mariposa. En forma de tortuga en Nautla, Veracruz, México (figura 4a), ya que en este lugar además de que concurren tortugas marinas de forma masiva, existen reservas para su protección y conservación. Asimismo, se pueden encontrar otros ejemplos con un diseño estético, biodiverso, paisajístico y ornamental en la localidad de Pastorías en Actopan, Veracruz, México (figura 4c), así como en el Instituto Tecnológico Boca del Río, Veracruz, México (figura 4d), en donde el uso de plantas ornamentales embellece el paisaje.

Estos ejemplos resaltan la manera en la que se ha aplicado la creatividad y la integración de elementos con el entorno para lograr espacios únicos y funcionales. En México, según lo mencionado por Marín-Muñiz et al. (2023b), se destacan autores como la Dra. Florentina Zurita, el Dr. José Luis Marín-Muñiz y el Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo, quienes han realizado importantes contribuciones y redes de colaboración al emplear plantas ornamentales en el diseño y la construcción de HC con propósitos estéticos, paisajísticos y de fitorremediación.



Figura 4. Casos de éxito de HC que incorporan conceptos de paisajismo, biodiversidad y hábitat en su diseño. Fuente: Brix et al., 2011, Laertes, 2022; Reynoso y Castañeda, 2021.
Nota. a) Nautla, Veracruz, México; b) Isla Koh Phi Phi; c) Pastorías, Actopan, Veracruz, México; d) Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México.

Por otro lado, los manuales 3 y 4, emitidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la oficina de investigación de Cincinnati, Ohio, en Estados Unidos, fueron las fuentes que más elementos de diseño aportaron a este estudio. Además, el manual de la EPA hace hincapié en que el diseño de los HC debe ser simple para lograr un mantenimiento mínimo, debe ser capaz de integrar la topografía natural con el diseño del HC. Por otra parte, la construcción de una estructura de un HC no solo implica la selección y limpieza del sitio y una planificación adecuada, sino que también requiere llevar a cabo una



serie de acciones específicas. De acuerdo con los resultados obtenidos, la excavación del terreno es la acción principal de construcción que se debe llevar a cabo en el sitio para la instalación del HC. El manual 7 aporta otros elementos importantes, por ejemplo, el operador de la maquinaria y el supervisor de la obra deben ser competentes y estar calificados para su función. Además, con el objetivo de que la población local se logre pueda apropiar de buena manera esta ecotecnología, alienta la participación de los agricultores en la construcción de este tipo de estructuras.

Con relación al manual 8, este indica que los contratistas deben contar con la acreditación de Capacitación en Conciencia Ambiental del Sitio (SEAT) y un plan de gestión ambiental del sitio aprobado antes de que comiencen las obras. El SEAT es una especie de capacitación que se le brinda a los administradores, supervisores y trabajadores de una constructora para aumentar la conciencia ambiental sobre los impactos de las obras en el sitio en el que construirán (Darvishmotevali, y Altinay, 2022).

La operación y el mantenimiento son dos procesos fundamentales que forman parte del ciclo de vida de los HC y deben llevarse a cabo de forma simultánea para garantizar su vida útil de manera efectiva. El mantenimiento de la vegetación, que incluye plantas macrófitas y fitorremediadoras, tanto ornamentales como no ornamentales, es un elemento presente en los ocho manuales de estudio. Un apunte de gran importancia es que, tras el análisis de los elementos, se encontró en los manuales 4 y 7 que como parte de la operación del HC, se debe extraer el agua ya tratada con fines de riego agrícola. Lo anterior toma relevancia, ya que uno de los objetivos primordiales de los HC es proporcionar una segunda vida al agua, permitiendo su aprovechamiento tanto en labores agrícolas como en labores domésticas (Marín-Muñiz, 2018). Finalmente, es relevante destacar el creciente interés de los gobiernos en considerar este tipo de SbN para el tratamiento de AR, ya que aportan beneficios ambientales, sociales y económicos en las comunidades donde se implementan.

Conclusiones

Los hallazgos presentados en esta revisión aportan nuevas perspectivas sobre el alcance que pueden llegar a tener los HC sobre la agenda global y gubernamental del agua. Además, se pudo constatar que, en diversos países existen documentos en forma de manuales que recopilan información sobre los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de este tipo de estructuras. Este tipo de



manuales están siendo publicados por instituciones importantes a nivel internacional, como la EPA y la Oficina de Investigación y Desarrollo de Cincinnati, Ohio, EE. UU.; la CONAGUA de México; el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino de España; el Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente de Países Bajos; la Agencia de Medio Ambiente de Irlanda del Norte; la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Escocia; la Corporación Estatal del Agua de Melbourne en Australia y el programa de las Naciones Unidas ONU-HÁBITAT.

Se lograron identificar elementos significativos en cada uno de los manuales que contribuyen positivamente en todas las etapas del proceso, desde el diseño hasta el mantenimiento de la estructura del HC. Algunos de ellos como la preparación del sitio, la gestión del sustrato y la vegetación son muy relevantes a la hora de instalar un HC. A su vez, se destacaron puntos importantes a nivel individual en algunos manuales, como, por ejemplo, cuando se habla de construir humedales para descargas agrícolas, la participación del agricultor en la construcción, así como la utilización del agua tratada para riego agrícola, el control rutinario para evitar malos olores y la presencia de mosquitos, la incorporación de un diseño paisajístico amigable con el entorno para mejorar el hábitat de las especies endémicas y la salud de los microorganismos. El manual 3 publicado por la Oficina de Investigación y Desarrollo Cincinnati, Ohio, EE. UU. fue la principal fuente de aportación de elementos al estudio, con 26 elementos que incluyen: 12 elementos de diseño, 7 de construcción y 7 para operación y mantenimiento del HC.

Se recomienda que para la realización de futuros manuales de diseño de HC se tomen en cuenta las siguientes consideraciones: Que el diseño propenda por mejorar el hábitat de las especies locales, conserve la biodiversidad y mejore el paisaje integrando espacios multifuncionales como parques temáticos en donde las personas puedan concurrir y aprender sobre su funcionamiento. Que en el diseño de la estructura se tome en cuenta la identidad local de la comunidad, es decir, que si por cultura y tradición, las personas del territorio se identifican con algún elemento del paisaje como la fauna o la flora, el HC pueda tomar esa forma con el fin de que la apropiación se fortalezca. Que en el diseño se contemple el uso de plantas ornamentales que favorezcan los procesos de fitorremediación, así como servicios sociales, económicos y ambientales donde se instalen.



Literatura Citada

- Brix, H., T. Koottatep, O. Fryd and C.H. Laugesen. 2011. The flower and the butterfly constructed wetland system at Koh Phi Phi—System design and lessons learned during implementation and operation. *Ecological engineering* 37(5):729-735. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.06.035>
- Brown, D. S., J. F Kreissl, R.A. Gearhart, A.P. Kruzic, W.C. Boyle, R.J. Otis. 2000. Manual: Tratamiento de Aguas Residuales Municipales mediante Humedales Construidos [En inglés]. Environmental Protection Agency. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/30004TBD.PDF?Dockey=30004TBD.PDF> [Consultado el 12 de julio de 2023].
- Carty, A.H., M. Scholz, K. Heal, J. Keohane, E. Dunne, F. Gouriveau. *et al.* 2008. Humedales agrícolas construidos (CFW) - Manual de diseño para Escocia e Irlanda del Norte [En inglés]. Agencia del Medio Ambiente de Irlanda del Norte y Agencia de Protección del Medio Ambiente de Escocia, Reino Unido. <https://www.sepa.org.uk/media/131412/constructed-farm-wetlands-manual.pdf> [Consultado el 12 de julio de 2023].
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales. México. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro30.pdf> [Consultado el 12 de julio de 2023].
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/759492/Inventario_2021.pdf [Consultado el 12 de julio de 2023].



Corporación Melbourne Water. 2020. Diseño, construcción y establecimiento de humedales [En inglés]. <https://www.melbournewater.com.au/building-and-works/developer-guides-and-resources/standards-and-specifications/constructed-wetlands> [Consultado el 12 de julio de 2023].

Darvishmotevali, M., and L. Altinay. 2022. Green HRM, environmental awareness and green behaviors: The moderating role of servant leadership. *Tourism Management*. 88:104401. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2021.104401>

David, G., S. Rana, M., S. Saxena, S. Sharma, D. Pant, and K. Prajapati, S. 2023. A review on design, operation, and maintenance of constructed wetlands for removal of nutrients and emerging contaminants. *International Journal of Environmental Science and Technology* 20:9249-9270. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04442-y>

Davis, L. 1995. Un manual de humedales construidos: Una guía para crear humedales para aguas residuales agrícolas, aguas residuales domésticas, drenaje de minas de carbón y aguas pluviales en la región del Atlántico Medio. Volumen 1: Consideraciones generales [En inglés]. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/constructed-wetlands-handbook.pdf> [Consultado el 12 de julio de 2023].

Guix Oliver, J. 2008. El análisis de contenidos: ¿Qué nos están diciendo? *Revista Calidad Asistencial* 23(1):26-30. [https://doi.org/10.1016/S1134-282X\(08\)70464-0](https://doi.org/10.1016/S1134-282X(08)70464-0)

Hernández S.R., C. Fernández C., y M. Baptista L. 2014. *Metodología de la Investigación* (Sexta Edición ed.). México, DF: Mc Graw Hill. 152 p.

Laertes, J. 2022. Supervisa Cuitláhuac Planta de Tratamiento ‘La Tortuga’ en Nautla. *Loseditores.com*. <https://loseditores.com/resumen/83948/-concluye-gobierno-del-estado-planta-de-tratamiento-la-tortuga-en-nautla> [Consultado el 23 de julio de 2023].



- Marín M.J.L. 2018. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua. *Agro Productividad* 10(5):90-95. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1028>
- Marín M.J.L., M.E. Hernández, M.P. Gallegos P. and S.I. Amaya T. 2020. Plant growth and pollutant removal from wastewater in domiciliary constructed wetland microcosms with monoculture and polyculture of tropical ornamental plants. *Ecological Engineering* 147:105869. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105658>
- Marín M.J.L.; L.C. Sandoval H.; M.C. López M., M. Sandoval H., R.A. Meléndez A., H.R. González M. *et al.* 2023. Treatment Wetlands in Mexico for Control of Wastewater Contaminants: A Review of Experiences during the Last Twenty-Two Years. *Processes* 11(2):359. <https://doi.org/10.3390/pr11020359>
- Marín M.J.L., I. Zitácuaro C., G. Ortega P., L.M. Álvarez H., K.E. Martínez A., A. López R. *et al.* 2023. Bibliometric Analysis of Constructed Wetlands with Ornamental Flowering Plants: The Importance of Green Technology. *Processes* 11(4):1253. <https://doi.org/10.3390/pr11041253>
- Ministerio de Vivienda, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. 1998. Manual de filtros helófitos para sistemas de IBA [En neerlandés]. <http://www.ibahelpdesk.nl/wp-content/uploads/2019/04/scanhandleiding-Helofyten-IBA.pdf> [Consultado el 12 de julio de 2023].
- Ortega, E., Y. Ferrer, J. J. Salas, C. Aragón y A. Real. 2011. Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino, Madrid, España. <https://www.aragon.es/documents/20127/24009052/Manual+CEDEX2.pdf/32188fba-b20f-ecac-fb01-49a15e0e3cd9?t=1578648844927> [Consultado el 12 de julio de 2023].
- Pérez, G. 1994. Investigación cualitativa, retos e interrogantes. La Muralla. Madrid. 77 p.



PMNUEH (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos).

2018. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261605_spa [Consultado el 12 de julio de 2023].

Reynoso L., y M. del. R. Castañeda C. 2021. Humedal artificial para tratamiento de aguas residuales del Instituto Tecnológico de Boca del Río: escalamiento. p. 1-4. *In*: Foro “El uso adecuado del agua residual y otras medidas para mitigar la escasez de agua en tiempo de sequía” 2021. Ciudad de México, México.

UN-HABITAT. 2008. Manual de Humedales Construidos [En inglés]. Programa Agua para Ciudades Asiáticas de UN-HABITAT Nepal, Kathmandu. <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Constructed%20Wetlands%20Manual.pdf> [Consultado el 12 de julio de 2023].

Vargas Beal, X. 2011. ¿Cómo hacer una investigación cualitativa? Etxeta, SC. 30 p.

Zitácuaro, C. I. y M. J. Marín, L. 2020. Concientización con niños de primaria sobre el uso de ecotecnologías para el buen manejo del agua. p. 185-207. *In*: G. P. Ortega; D. A. Fabre Platas; Y. I. Cano Polo (Coords). Dialogando lo ambiental: compartiendo experiencias, intercambiando saberes. Códice. Xalapa, Veracruz, México. <http://repositorio.veracruz.gob.mx/medioambiente/wp-content/uploads/sites/9/2020/02/Dialogando-lo-Ambiental-digital.pdf>



PROPUESTA DE MÓDULOS RÚSTICOS ACUAPÓNICOS DE TRASPATIO PARA EL COMBATE A LA POBREZA ALIMENTARIA

Arturo García Saldaña^{338*}, Alejandro Alonso López³³⁸, Catalino Jorge López Collado³³⁸, Francisco Osorio Acosta³³⁸,
Arturo Pérez Vázquez³³⁸ y Martín Alfonso Mendoza Briseño³³⁸

Resumen

Los cultivos acuapónicos son una tecnología en la cual se cultivan, a la par, peces y plantas. En los Agroecosistemas de traspatio se pueden incluir módulos de producción de hortalizas con dichos sistemas, para autoconsumo de alimentos. Sin embargo, es necesario hacer eficientes estos módulos hidropónicos con la intención de producir alimentos de manera rápida y a bajo costo. Esto aporta en el combate contra la pobreza alimentaria. Este trabajo presenta avances de la transferencia de tecnología al respecto. Se realizó una encuesta en dos comunidades para identificar las preferencias de consumo en cuanto a hortalizas se refiere. Como resultado de la encuesta, se identificaron el chile, tomate, cebolla y cilantro como principales verduras empleadas en la preparación de alimentos de las comunidades objetivo. De manera inicial, se produjo tomate Saladette (*Solanum lycopersicum*) en los módulos propuestos. Se propusieron dos diseños de los módulos utilizando materiales de reciclaje, en su mayoría y se implementaron en la producción de tomate. Se inició la transferencia de tecnología a través de pláticas y talleres en dos escuelas públicas. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar y proponer módulos rústicos acuapónicos de traspatio para combate a la pobreza alimentaria.

Palabras claves: acuaponía, cultivos sin suelo, hortalizas, pobreza alimentaria

³³⁸ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Agroecosistemas, Ambiente Natural Y Cambio Climático (AANCC). * Autor por correspondencia: asaldana@colpos.mx



Introducción

“El término hidroponía se genera de dos palabras griegas: hydro (agua) y ponos (labor o trabajo). La unión de estas palabras significa trabajar en agua. La hidroponía puede definirse entonces como la ciencia del cultivo de plantas sin uso de tierra, en un medio inerte, siendo este medio el agua o incluso un sustrato distinto del suelo” (Brenes-Peralta y Jiménez-Morales, 2014, p. 6). Los cultivos hidropónicos son una tecnología en la cual se utiliza agua y solución nutritiva. Sin embargo, la acuaponía utiliza las excretas de los peces, que tienen grandes contenidos de nitrógeno en otras formas, aprovecha esta ventaja para el desarrollo de los cultivos en cuestión. El cultivo sin suelo es el cultivo en sustratos inertes. Un sustrato inerte es aquel que no es modificado cuando se le añade la solución nutritiva y, generalmente se utilizan gravas, arenas, agrolita, vermiculita, lana de roca etcetera.

En un sistema acuapónico se puede utilizar aquel sustrato que se encuentra disponible en la región, para no adquirirlo en el mercado. En la región de estudio se puede encontrar la grava y la gravilla. La gravilla, generalmente, es de una granulometría muy pequeña. La que se puede utilizar más o menos oscila entre de un milímetro hasta diez milímetros.

En cuanto a los sistemas hidropónicos, Campoverde (2021) diseñó un sistema de acuaponía automatizado para cultivo de fresas. Dicho sistema consistió en un diseño modular de flujo laminar vertical por técnica de películas nutrientes (NFT). De igual forma, Hernández *et al.* (2020) diseñaron un sistema hidropónico automatizado. En este sistema se controlaba la humedad relativa y la temperatura para la irrigación de los cultivos. En este sentido, Herrera (2018), empleó la automatización para sistemas pequeños de hidroponía en peceras. Dicho sistema se utiliza al interior de las casas habitaciones donde no existe mucho espacio para sistemas mayores. A su vez, Yate-Bonilla y Zambrano-Saya (2022), proponen una metodología para el diseño de las estructuras de los sistemas hidropónicos. Ellos incluyen planos de diseño y prototipos de prueba para dichos sistemas.

Además, Rezabala (2022) en su trabajo de investigación le dio seguimiento a las diferentes fases fisiológicas del cultivo para identificar el crecimiento en sistemas hidropónicos. Este autor comprobó la eficiencia de estos sistemas para algunos cultivos. También Vargas-Rodríguez (2008), mencionó que los sistemas de producción hidropónico representan una alternativa simple y rápidos para cultivos en épocas adversas. Aunado a lo anterior, Vázquez *et al.* (2000), demostraron la eficiencia de los sistemas hidropónicos en la absorción de nutrientes y el mejor aprovechamiento de las soluciones nutritivas.



Por su parte, Longar-Blanco *et al.* (2013) trabajaron para identificar las tecnologías utilizadas y registradas en sistemas hidropónicos. Estos autores revelan la necesidad de seguir trabajando en la innovación de sistemas que coadyuven a la producción de alimentos a través de la hidroponía. Sin embargo, pocas patentes atienden la parte de la polinización. Finalmente, se mencionan que los sistemas acuapónicos son una técnica eficiente en la producción de hortalizas. Se ha demostrado que se pueden generar sistemas complejos para hacer eficientes dichas técnicas, agregando tecnología (Longar-Blanco *et al.*, 2013). De manera general, los materiales a utilizar son comunes. En este proyecto se reutilizaron materiales de desecho que pudiesen contaminar el medio ambiente. Estos sistemas acuapónicos se ubicarán en los Agroecosistemas de traspatio para el autoconsumo de las familias rurales en el combate contra la pobreza alimentaria. Los cultivos acuapónicos pueden aportar una solución a la pobreza alimentaria, sus usos, manejo y aprovechamiento tradicionales y los retos enfrenta como recurso ante el Cambio Climático. El objetivo de este trabajo fue diseñar y proponer módulos rústicos acuapónicos de traspatio para combate a la pobreza alimentaria.

Materiales y Métodos

El desarrollo del proyecto se contempló en seis fases:

1). Área de Estudio. Se seleccionaron dos comunidades cercanas al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, identificadas como zonas rurales de atención prioritaria. Las comunidades seleccionadas fueron Paso Real (19°11'1.50" N; 96°21'43.61" O) y Puente Jula (19°11'55.90" N; 96°21'1.70" O), Veracruz. Posterior a ello, mediante una herramienta metodológica de encuesta, se obtuvieron datos de las necesidades alimenticias de la comunidad de estudio. Con el resultado de las encuestas, se producirán cultivos de hortalizas para producción en el sistema acuapónico. Se consiguieron las semillas de las hortalizas seleccionadas con un proveedor comercial, y se preparó el sustrato para su cultivo.

2). Diseño de la investigación. Dado los criterios anteriores y considerando las diferencias presentes en el área socioeconómica y ecológica del sistema bajo estudio, se emplearon encuestas estructuradas, estas se complementaron con grupos focales que son especiales en términos de objetivos, tamaño, composición y procedimientos (Krueger, 1995). Es decir, un enfoque mixto de investigación. Dicho instrumento fue validado mediante el Juicio de Expertos y de forma estadística empleando la metodología de Hernández-Nieto (2010).



3). **Diseño de los módulos.** Para esta fase del proyecto, se reutilizaron materiales plásticos de desecho como tanques de almacenamiento, tubos de PVC, mangueras y botes, así como cañas de bambú para formar las estructuras principales. También, se reutilizaron tarimas de madera y polines de desecho utilizados previamente por transportistas para asegurar sus cargas. El diseño contempló las características principales que se menciona en la literatura (Campoverde, 2021; Brenes-Peralta y Jiménez-Morales, 2014; Longar-Blanco *et al.*, 2013).

4). **Selección del sustrato.** En la región de estudio se pudo encontrar la grava y la gravilla. La gravilla, generalmente, es de una granulometría muy pequeña. Por tanto, se propuso utilizar la gravilla, que es estéril, prácticamente, y no hay que esterilizarla en un principio. Después desinfectó con un fungicida orgánico y se expuso al sol directo durante 24 horas.

5). **Implementación de los módulos.** Para la implementación se llenaron los bancales construidos, con sustrato inerte. Se puso en marcha el sistema construido y se produjo tomate Saladette.

6). **Inicio de la transferencia de tecnología.** Se seleccionó un grupo de estudiantes y profesores adoptadores, según la clasificación de Rogers (Rogers, 1995; Valente, 1996), que son los más abiertos a la adopción de la innovación (Arnon, 1987). Posteriormente, a través de éstos, se dio a conocer la tecnología propuesta para dar inicio al proceso de transferencia de tecnología.

Resultados y Discusión

Encuestas

Se propuso un cuestionario estructurado para la obtención de datos en cuanto a las preferencias de consumo de vegetales. Dicho cuestionario se evaluó mediante el Coeficiente de Validez de Contenido (Hernández-Nieto, 2002) y Juicio de Expertos para conocer su validez y concordancia, en la que participaron cinco jueces. El resultado fue de 0.757, mismo que en la escala de interpretación de dicha metodología se calificó como validez y concordancia del instrumento aceptables. Además, se realizó una prueba estadística con el Índice Alpha de Cronbach para evaluar la fiabilidad de consistencia interna del instrumento. Se obtuvo un estadístico de prueba de 0.834, lo cual indicó una buena confiabilidad de la encuesta, de acuerdo con el criterio general propuesto por Cronbach y Meehl (1955). Como resultado de las encuestas aplicadas a 26 familias en la comunidad de Paso Real y 50 familias en la comunidad de Puente Jula; se obtuvieron las gráficas correspondientes a las Figuras 1 y



2. A manera general, los vegetales de mayor demanda coincidentes en ambas encuestas fueron el tomate, las cebollas, los chiles y el cilantro. Por tal motivo, para este trabajo se optó por cultivar dichos vegetales.

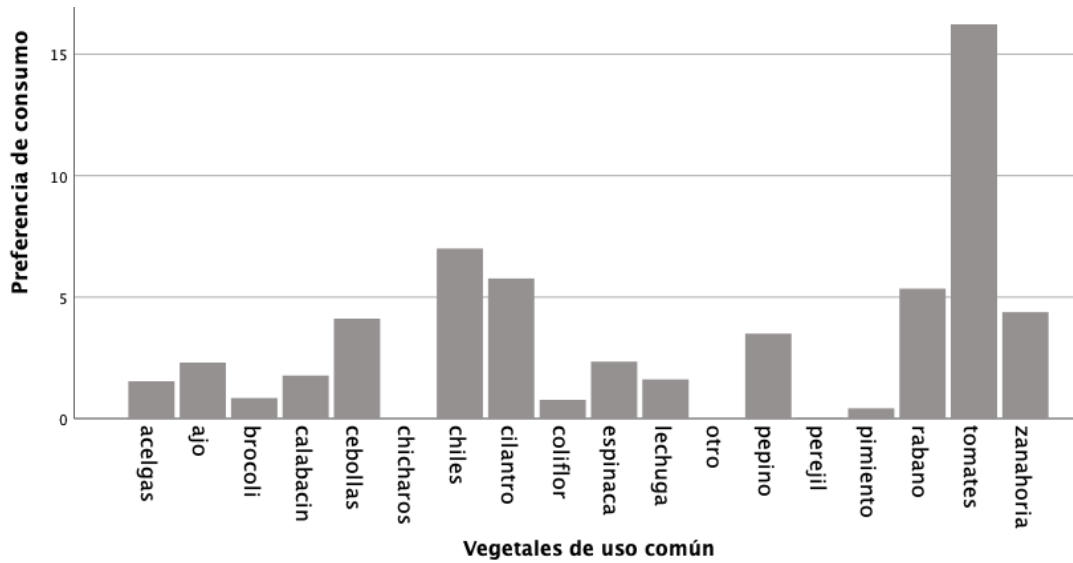


Figura 1. Preferencia de consumo de vegetales en las familias encuestadas de la en la comunidad de Paso Real, Veracruz.

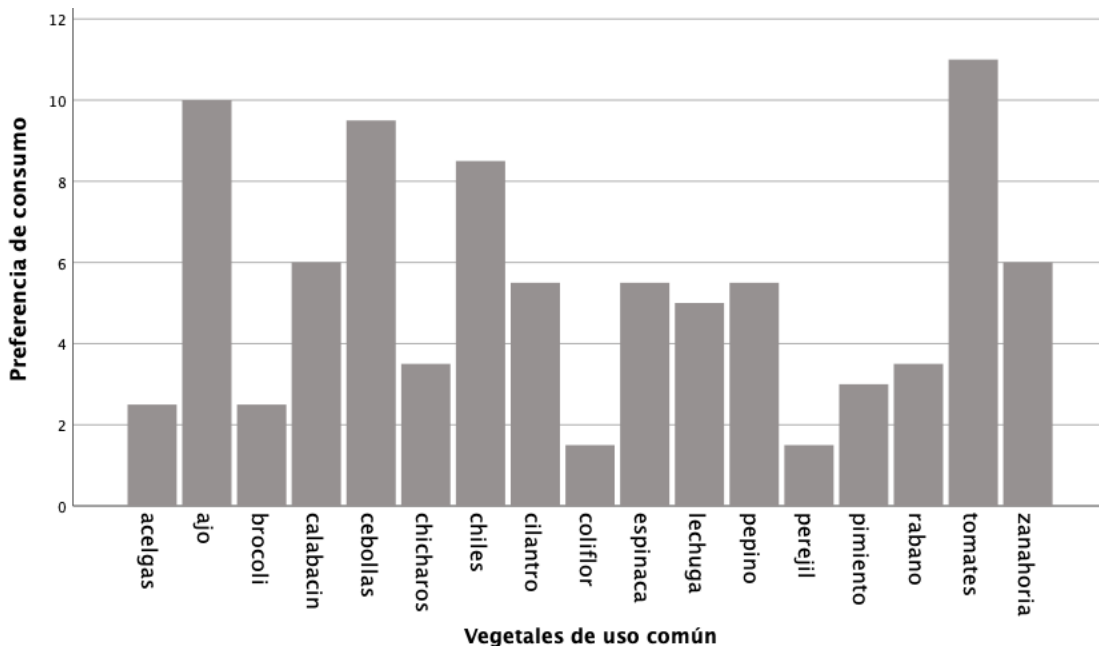


Figura 2. Preferencia de consumo de vegetales en las familias encuestadas de la comunidad de Puente Jula, Veracruz.



Diseño de los módulos

En primera estancia, se conceptualizaron ambos diseños mediante bosquejos de acuerdo a la experiencia del equipo de trabajo, buscando funcionalidad y la reutilización de materiales. La Figura 3 muestra los bosquejos iniciales mediante los cuales se aterrizaron las ideas principales de ambos diseños.

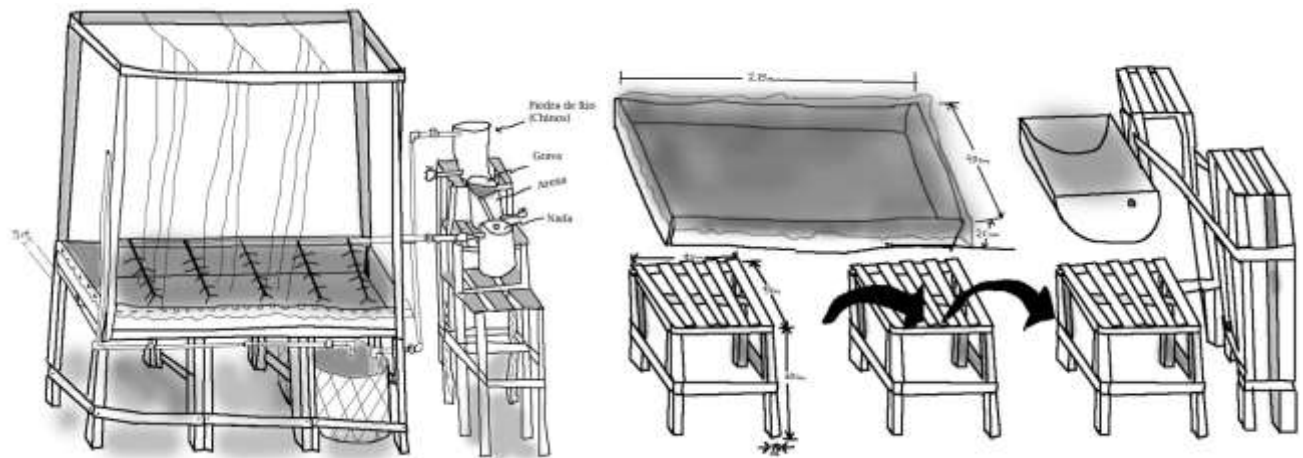


Figura 3. Bosquejos iniciales de ambos diseños de los módulos rústicos acuapónicos.

Como segundo paso, se consiguieron los materiales tales como los palets (tarimas) y polines de madera para las bases; los tambos, tablones de madera, geomembrana y tuberías de PVC para los bancales. Además, se emplearon rejas y polines de madera para los soportes de los filtros. El agua es bombeada desde el tanque lleno de agua empleando una pequeña bomba eléctrica sumergible de 35 W. El control del nivel de agua en el estanque de los peces se realiza mediante un flotador, como se observa en la Figura 4. Los filtros se construyeron con cubos de plástico de 19 litros; se utilizaron tres cubos en cada sistema (Figura 5). Cada cubo corresponde a cada etapa de filtrado del agua con grandes cantidades de materia orgánica proveniente de las excretas de los peces. En la primera etapa del filtro se colocaron piedras esféricas grandes de río; para la segunda etapa se llenó el cubo de grava y la etapa final con tezontle de granulometría pequeña.

A la salida de los filtros, se conectaron los tubos de CPVC de 3/4 para la distribución del agua nitrogenada empleada para el riego de los cultivos colocados en los bancales.



Figura 4. Control del nivel de agua de los peces empleando un flotador comercial.

Los bancales se llenaron con una capa al fondo de grava y arriba de ésta se rellenaron con gravilla de granulometría entre 3 y 4 mm, la cual es utilizada como sustrato. A cada bancal se le colocó una bolsa de malla conteniendo carbón para eliminar algunas bacterias que retornan al tanque de los peces.



Figura 5. Sistema de filtrado de tres etapas empleado en los módulos rústicos acuapónicos.



También se puso una estructura de bambú alrededor del módulo para la colocación de los tutores en los cultivos que lo requieran. Finalmente, en la parte del frente se colocó una tubería de PVC de 2" para la recolección del excedente del agua aplicada al cultivo.



Figura 6. Algunos materiales empleados en la construcción de los módulos acuapónicos.

Esta agua se reincorpora al estanque con poca turbidez, indicador de un buen proceso de filtrado. En la Figura 7, se muestran ambos diseños. El costo aproximado fue de \$5000 pesos mexicanos en el diseño de la izquierda y \$4000.00 el de la derecha.



Figura 7. Ambos diseños de los módulos acuapónicos rústicos. A la izquierda el diseño con reutilización de tambos contenedores plásticos en la construcción de los bancales. A la derecha el diseño con madera forrada de geomembrana.

Implementación

Como prueba piloto, se optó por producir tomate en uno de los módulos diseñados. Por tratarse de la validación de los módulos como sistemas de producción, no se evaluaron características del cultivo



(rendimiento, calidad, características del cultivo, entre otros) si no, su funcionamiento. En trabajos posteriores se abordarán estos temas. La Figura 7 muestra el cultivo de tomate en uno de los módulos propuestos.



Figura 7. Producción de tomate Saladette (*Solanum lycopersicum*) en módulo acuapónicos rústicos.

Inicio de la transferencia de tecnología

Como principales resultados de la participación en el proceso de transferencia se obtuvo el manejo adecuado de cultivos acuapónicos por parte de los alumnos y personal (adoptadores tempranos) de la escuela telesecundaria Cuauhtemoc de Puente Julia; la producción de tomate y mojarra Tilapia. Lo mismo sucedió con los alumnos de la escuela primaria Benito Fentanes de la comunidad de Paso Real, como se observa en la Figura 8. Además, se dio inicio del proceso de transferencia de tecnología como módulo demostrativo para la sociedad a través de las visitas de los padres de familia.



En una segunda etapa, se continuará con la difusión de dicha transferencia. Se estudiarán ambos sistemas con la finalidad de hacerlos más eficientes.



Figura 8. Pláticas y talleres a estudiantes de las comunidades seleccionadas para el inicio de la transferencia de tecnología.

Se continuarán evaluando en el cultivo de chile, cebolla y cilantro, por lo menos, como resultado de las encuestas realizadas. Además, se está trabajando en el diseño de sistemas de energía solar a bajo costo que garanticen su autonomía en cualquier lugar con un incremento aproximado del 20% del costo total del módulo.

Conclusiones

A partir de los módulos rústicos acuapónicos implementados es posible producir alimentos en lugares reducidos “sin suelo”; sin extensiones de tierra que requieran mucha inversión. Se probaron en la producción de mojarra tilapia y tomate Saladette. Puede escalonarse y diversificarse la producción de los vegetales. Estos módulos pueden ser factibles como mitigación al problema de la pobreza alimentaria. Aunado a esto, la reutilización de materiales reciclados “amortiguan” los efectos del Cambio Climático y contribuyen en la disminución de la contaminación del planeta.



Agradecimientos

Al CONAHACYT, por el apoyo otorgado en la estancia postdoctoral y a la LGAC AANCC del COLPOS Campus Veracruz por el soporte brindado.

Literatura Citada

Brenes P. L.P., y M.F. Jiménez M. 2014. Manual de producción hidropónica para hortalizas de hoja en sistemas NFT (Nutrient Film Technique). Costa Rica. 26 p.

Campoverde, F. S. A. 2021. Sistema Hidropónico Vertical de Flujo Laminar de Nutrientes Automatizado. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica del Norte. Ibarra Ecuador. 109 p.

Cronbach, L. J. and P.E. Meehl. 1955. Construct validity in psychological tests. *Psychological Bulletin* 52(4), 281–302.

Hernández, J. O. B., M. Á. B Valdés y M.A. de la Cruz R. 2020. Simulación de un prototipo de hidroponía (simulation of a hydroponics prototype). *Pistas Educativas*, 42(137).

Hernández N. R. A. (2002), *Contributions to Statistical Analysis*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes. Volumen 193

Herrera R. R. 2018. Automatización de Sistema Hidroponía en pecera Comité Científico CICOM 2018.

Krueger, R. A. 1995. The future of focus groups. *Qualitative health research*, 5(4), 524-530.

Longar B. M. D. P., M. D. P. Pérez H. and E. Ríos M. 2013. El estado de técnica de la hidroponía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(5), 803-809.



ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2022. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Rezabala, Z. H. J. 2022. Rendimiento productivo a diferentes tiempos de oreo, de gramíneas y leguminosas como forraje verde hidropónico, para alimentación animal Jijpajapa. Tesis de licenciatura. Universidad Estatal del Sur de Manabí UNESUM. Ecuador 78 p.

Vargas R. C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía mesoamericana*, 19(2), 233-240.

Vázquez, C. G., E. O. Sáenz, R. Alvarado V. y F.Z. García. 2000. Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 133-139.

Yate B. M. A., y M.A. Zambrano S. 2022. Prototipo Iot de monitoreo y control de variables ambientales para un cultivo hidropónico de hortalizas. Tesis de licenciatura. Universidad Católica de Colombia. Colombia. 117 p.



CARACTERIZACIÓN DE PRODUCTORES Y USO DE MANO DE OBRA EN EL SISTEMA MIAF DEL PROGRAMA SEMBRANDO VIDA DE VERACRUZ

Rigoberto Zetina Lezama³³⁹, Ángel Capetillo Burela^{339*}, Marco A. Reynolds Chávez³³⁹
y Ramón E. Camporredondo Mora³⁴⁰

Resumen

El Programa Sembrando Vida (PSV) cuenta con 84000 productores veracruzanos que tienen establecido el sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF). El MIAF está integrado por dos o más especies anuales intercaladas en hileras de árboles frutales establecidas en sentido contrario a la pendiente del terreno. La implementación del MIAF ha sido un reto debido a la diversidad de condiciones edafoclimáticas, sociales y económicas de Veracruz; el resultado, es una alta necesidad de acompañamiento técnico para optimizar el funcionamiento del sistema. La caracterización y tipología de productores es útil para comprender las decisiones de los sembradores en el manejo de sus unidades de producción (UP) y ayudan a tomar decisiones para asignar recursos públicos, generar políticas diferenciadas y permiten predecir el éxito de cualquier intervención técnica dirigida a mejorar los sistemas actuales de producción. El objetivo fue caracterizar a los productores del PSV y describir el estado actual de la mano de obra y de sus UP para predecir el éxito de una intervención dirigida a mejorar los actuales sistemas de producción. El estudio se realizó en 2022, mediante una encuesta enfocada a caracterizar los beneficiarios del PSV, tipos de tenencia de la tierra, mano de obra y las características edáficas predominantes en sus UP. Se utilizó un muestreo estratificado en el que consideró como estratos dos (Papantla y Córdoba) de los cuatro territorios en los que está dividido Veracruz por el PSV. Las localidades se seleccionaron en función de sus características agroecológicas, número de sembradores y área total beneficiada. Los informantes se escogieron mediante un procedimiento aleatorio simple a intervalos constantes de selección. El tamaño de la muestra se calculó con base a un nivel de confianza del 95% y al padrón de beneficiarios vigente en 2022. Se encontró que la edad y grado de escolaridad de los sembradores son óptimas para el desarrollo de una estrategia

³³⁹ INIFAP-Campo Experimental Cotaxtla. *capetillo.burela@inifap.gob.mx.

³⁴⁰ Instituto Tecnológico de Nuevo León.



intervención tecnológica fundamentada una coparticipación de saberes campesinos y técnicos. La estructura familiar es numerosa, con muchos dependientes económicos y poca mano de obra familiar.

Palabras clave: tipología de productores, milpa, mano de obra, agricultura campesina y sistemas de producción

Introducción

El PSV implementado por el gobierno federal a partir de 2019 en 21 estados de la república mexicana, cuenta con poco más de 84000 productores veracruzanos que han establecido en sus terrenos, al menos una hectárea con el sistema Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF). El MIAF es un sistema integrado por dos o más especies anuales intercaladas en hileras de árboles frutales establecidas en sentido contrario a la pendiente del terreno. La especie anual predominante es el maíz, el cual, generalmente se siembra, en una intensa interacción agronómica, con especies leguminosas como frijol u otras especies comestibles como quelite, calabaza, chile y verdolaga. Este sistema productivo, tradicionalmente conocido como “milpa”, es una de las principales fuentes de alimento de las familias rurales y un componente medular de la cultura e identidad de los pueblos originarios (Vásquez-González, *et al.*, 2018). El sistema MIAF pretende, con el manejo de milpa tradicional, asociada al cultivo de especies frutales en una misma UP, incrementar significativamente el ingreso neto familiar, el empleo de mano de obra en zonas rurales, el contenido de materia orgánica y controlar la erosión hídrica del suelo, y con ello lograr un uso más eficiente del agua de lluvia (Diario Oficial de la Federación, 2022).

En la práctica, la implementación del sistema MIAF en campo se ha constituido en todo un reto debido a la enorme variedad de condiciones climáticas, edáficas, tecnológicas, sociales, religiosas, económicas y culturales que prevalecen en cada uno de los cuatro territorios en que se encuentra dividido el PSV en el estado de Veracruz. Otro factor importante es que la mayoría de los técnicos y productores que participan en el PSV no cuentan con la capacitación y las habilidades necesarias para establecer y conducir un sistema relativamente complejo y totalmente opuesto al sistema de monocultivo al que ha predominado durante las últimas décadas en el agro rural mexicano (Medina, *et al.*, 2023). Los resultados obtenidos después de cuatro años de trabajo en Veracruz, muestran un panorama complejo



que incluye el desarrollo de pequeñas UP con múltiples adecuaciones e interpretaciones al sistema MIAF, para adaptarlo a su entorno y cumplir con las reglas del programa. Esta situación ha dificultado la operatividad de dicho programa, así como el establecimiento y mantenimiento adecuado del sistema MIAF, situación que puede poner en riesgo las metas a mediano y largo plazo del PSV.

El desarrollo de capacidades y habilidades técnicas en técnicos productivos y productores líderes, aunado a un programa de acompañamiento técnico especializado podría ser una buena alternativa para corregir deficiencias que hoy en día prevalecen en las parcelas de los sembradores del PVS. No obstante, debe tenerse en cuenta que, cualquier tipo de intervención enfocada a desarrollar las capacidades y habilidades técnicas de los técnicos y sembradores en el manejo del sistema MIAF debe tomar en consideración los saberes campesinos y las condiciones socio-económicas en que se desarrolla un determinado grupo de beneficiarios. Los estudios dirigidos a caracterizar la tipología de los productores en muchos casos resultan de gran utilidad para identificar y comprender a fondo las razones que les obligan a los sembradores a tomar ciertas decisiones en sus UP. Además, caracterización y tipificación de productores constituyen una herramienta de gran utilidad en el proceso de agrupación de sembradores y UP que son muy parecidas en su potencial productivo y los factores que inciden en su manejo (Solís *et al.*, 2023) o en la adopción de una determinada tecnología. Los datos obtenidos a partir de estas herramientas metodológicas, sin duda son de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones y asignación de recursos públicos, la generación de políticas diferenciadas para mejorar los sistemas de producción (Íñiguez-Rodríguez, 2023) y ayudan a predecir las posibilidades de éxito de cualquier tipo de intervención dirigida a mejorar el sistema.

El objetivo fue caracterizar a los productores del PSV y describir el estado actual de la mano de obra y de sus UP para predecir el éxito de una intervención dirigida a mejorar los actuales sistemas de producción.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el segundo semestre de 2022. Se diseñó y aplicó una encuesta que consideró como universo, el número total de sembradores inscritos al PSV en los territorios de Córdoba y Papantla, Ver. La encuesta se enfocó a describir las características principales de los productores beneficiados por el PSV, tipos de tenencia de la tierra, características edáficas predominantes en sus



terrenos, procedencia de la mano de obra y de los recursos utilizados para el establecimiento y manejo del sistema MIAF. Para la selección de informantes se utilizó el tipo de muestreo estratificado (Mucha-Espinal 2021) en el que consideraron como estratos cada uno de los cuatro territorios (Papantla, Tantoyuca, Córdoba y Acayucan) en los que se encuentra dividido el estado de Veracruz por el PSV. De estos cuatro territorios se seleccionaron los territorios de Papantla y Córdoba, ubicados al norte y centro del estado de Veracruz. En ambas demarcaciones se escogieron las localidades más representativas en función de sus características agroecológicas, total de sembradores y el área total beneficiada por el PSV. En cada localidad seleccionada, los informantes fueron seleccionados utilizando un procedimiento aleatorio simple (Otzen y Manterola, 2017), que consideró intervalos constantes de selección. El tamaño de la muestra se calculó con base al padrón de beneficiarios del PSV vigente en los dos territorios seleccionados del estado de Veracruz para el año 2022. Para tal efecto se utilizó la ecuación propuesta por Montatixe y Eche (2021) considerando un nivel de confianza del 95% y una población total de 45897 sembradores.

$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{z^2 xp (1 - p) / e^2}{1 + \left(\frac{z^2 xp (1 - p)}{e^2 x N} \right)}$$

Donde: N = tamaño de la población (45897); e = margen de error (5%, porcentaje expresado con decimales) y z = puntuación z (1.96, cantidad de desviaciones estándar que una proporción determinada se aleja de la media. Valor determinado a partir del nivel de confianza deseado: 95%) y p= 0.5, opción de máxima variabilidad.

Se realizaron un total de 382 entrevistas: 127 en el territorio de Papantla, distribuidos en los municipios de Gutiérrez Zamora (8 encuestas), Ixhupitlán (6), Papantla (88), Perote (11), Tecolutla (10) y Tlapacoyan (4); y 255 encuestas en el territorio de Córdoba, en las localidades de Actopan (8 encuestas), Acultzingo (8), Alpatlahuac (6), Amatlán de los Reyes (8), Aquila (5), Astacinga (5), Atlahuilco (4), Atoyac (4), Atzacan (7), Calchualco (7), Carrillo Puerto (9), Chocamán (4), Coscomatepec (11), Cotaxtla (5), Cuitlahuac (4), Ixhuatlán (5), Ixtaczoquitlán (7), Rodríguez Clara (4), La Perla (5), Magdalena (5), Maltrata (4), Manlio F. Altamirano (8), Mariano Escobedo (8), Mixtla de Altamirano (5), Nogales (6), Paso del Macho (9), Puente Nacional (7), Soledad de Doblado (9), Tapatlaxco (4), Tehuipango (4), Tepatlaxco (4), Tequila (8), Texhuacan (6), Tezonapa (8), Tierra Blanca (9), Tlaquilpa (4), Veracruz (7), Xoxocotla (9), Yanga (5) y Zongolica (10).



Los valores obtenidos en las encuestas fueron capturados en hojas de cálculo de Excel, para su análisis estadístico descriptivo: valores mínimos, máximos, media y desviación estándar. Los resultados fueron validados mediante recorridos de campo y entrevistas directas a productores y técnicos clave.

Resultados y Discusión

Territorio Papantla. Incluye las regiones de la Huasteca Baja, Totonoca, Nautla y Capital que abarca una extensión de 815 423 hectáreas dedicadas a la actividad agrícola, las cuales, el 4.9% (39 525 hectáreas) son beneficiadas por el PSV. En 2022 el equipo técnico del PSV, conformado por 158 técnicos operativos y 158 técnicos sociales, coordinaron el trabajo de 15 810 sembradores, quienes han conformado alrededor de 632 Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC's) para beneficiar poco más de 39 525 hectáreas ubicadas en la parte norte-centro del estado de Veracruz.

Del este total del área beneficiada por el PSV, el 50% de las UP (19 830 hectáreas) se ubicaron en una región agroecológica clasificada como “Trópico seco”, 42.4% (16 767.5 hectáreas) en el Trópico húmedo y 6.2% en región Templada Fría (Figura 1).



Figura 1. Zonas agroecológicas y número de sembradores activos del PSV en el territorio de Papantla, del estado de Veracruz. Fuente: Programa Sembrando Vida, 2022.



Las unidades de suelo más importantes en este territorio son: Regosoles presentes en Papantla, Gutiérrez Zamora, Hueytamalco, Ayotoxco, Perote y Villa Aldama; Luvisoles en Tepetzintla, Tetela, Altotonga, Atzalan, Tenochtitlán, Misantla, Colipa y Nautla; Vertisoles encontrados en Jalalzingo, Villa Aldama, Perote, Las Vigas, Acajete, Coatzintla, Acatlán, Yecuatla, Ayahualulco, Ixhuatlán de los Reyes, Teocelo, Chilchotla, Coscomatepec, Chocamán y Totula (INEGI, 2023b).

El clima dominante es cálido subhúmedo presente en los municipios de Tlaltetela, Actopan, Puente Nacional, Úrsulo Galván y Veracruz. En menor proporción se presentan los climas templado húmedo en los municipios de Acajete, Xico y Atlahuilco (entre otros); y templado subhúmedo en las zonas de montaña de Perote, Ayahualulco, Jalalcingo, y Mariano Escobedo (INEGI, 2023a).

Territorio Córdoba. Incluye la región de “Las Montañas” con una extensión de 249 074 hectáreas dedicadas a la agricultura; de este total, el 16.1% (40 197 hectáreas) está beneficiada por el PSV. De acuerdo con SEFIPLAN COPLADEVER (2005), 50% de esta región está destinada a la agricultura, mientras que el bosque, la selva y los pastizales ocupan el 19.97, 16.89% y 8.6% respectivamente. En este territorio se ubican los municipios de Acultzingo, Amatlán de los Reyes, Aquila, Atoyac, Córdoba, Coscomatepec, Cuitláhuac, Chocamán, Huatusco, Maltrata, Nogales, Orizaba, Rio Blanco, Paso del macho, Yanga y Zongolica, entre otros. En 2022 el equipo técnico del PSV, constituido por 300 técnicos operativos y 300 técnicos sociales, trabajó junto con 30 087 sembradores de 57 municipios y 354 ejidos y comunidades. Además, operaron 1200 CAC’s para beneficiar 75 217 hectáreas del centro-sur del estado de Veracruz. Del total del área beneficiada, la mayor parte (52.1%, equivalente a 15 690 hectáreas) se ubicó en el Trópico húmedo, el 26% en el trópico seco y 20.1% en clima templado frío (Figura 2).

Los suelos dominantes son andosoles presentes en Coscomatepec, Chocamán, Huatusco, Mariano Escobedo, Maltrata y Aquila; acrisoles y lixisoles, en Tequila, Zongolica y San Andrés Tenejapa; Vertisoles, en Orizaba, Fortín, Amatlán de los Reyes, Córdoba, Cuitláhuac, Paso del Macho, Tierra Blanca y Tlaxicoyan; leptosoles en Tezonapa, Carrillo Puerto, Cotaxtla y Atoyac; y, en menor proporción, Feozem, en Acatlán de Pérez, Jamapa y Soledad de Doblado (INEGI, 2023b).

Los climas dominantes son cálido subhúmedo en Tierra Blanca, Tres Valles, Ixmatalhuacan, Ignacio de la Llave, Tlaxicoyan, Manlio F. Altamirano, Medellín, Cotaxtla y Veracruz; cálido húmedo en Tezonapa, Omealca, Carrillo Puerto, Paso del Macho, Camarón de Tejeda, Zentla, Comapa, Huatusco e Ixhuatlán del café. En menor proporción, los climas templado húmedo en Cuichapa, Amatlán de los



Reyes, Córdoba, Chocamán y Xico; y, el Templado subhúmedo en Maltrata, Acultzingo, Soledad Atzompa, Xoxocotla, Camerino Z. Mendoza, Nogales, Aquila y Perote (INEGI 2023a).



Figura 2. Zonas agroecológicas y número de sembradores activos del programa sembrando vida en el territorio de Córdoba, del estado de Veracruz. Fuente: Programa Sembrando Vida, 2022.

Caracterización de productores. En 2022, el porcentaje de mujeres beneficiadas por el PSV fue de 23.7%; el 76.3% restante correspondió al género masculino (Figura 3).



Figura 3. Proporción de hombres/mujeres (izquierda) y edad (derecha) de los sembradores que participan en el Programa Sembrando Vida en el estado de Veracruz.

Esta relación coincide con los datos de tenencia y posesión de los derechos ejidales y comunales citados por Jerez (2023), quien argumenta que aún existe una “inminente brecha de género” y de desigualdad en el acceso y control de la tenencia de la tierra; ya que, según el Registro agrario nacional



(2022), de un total de 3.3 millones de ejidatarios mexicanos sólo el 25.34% son mujeres. Esta proporción nacional se mantiene para Veracruz ya que, de los 3 686 ejidos existentes, sólo el 23.91% de los derechos ejidales pertenecen a las mujeres.

La edad promedio de los sembradores fue de 46.1 años (± 15 años). Una tercera parte de ellos (28.25%) son jóvenes menores de 40 años; mientras que la mayor proporción (55.16%) corresponde a productores con una edad entre 40 y 60 años, y el resto (16.59%) son adultos mayores a 60 años. De acuerdo con Alvarez *et al.*, (1985), citado por Sánchez-Albores, (2022), la edad de los productores está relacionada con su nivel de escolaridad y otros factores ligados a la adopción de nuevas tecnologías; ya que, generalmente los productores más jóvenes tienen un mayor grado de escolaridad, productividad, ingresos económicos (Canales y Corilla, 2019) y poseen un índice de adopción de tecnología más alto (Orozco *et al.*, 2008). Sólo el 6.4% de los productores son analfabetas; fracción correspondiente al rango de adultos con más de 60 años de edad. Según los resultados obtenidos, se espera que cualquier intervención tecnológica orientada a mejorar los sistemas de producción del PSV de Veracruz podrían tener una alta probabilidad de éxito ya que más del 50% de los sembradores son menores a 50 años y tienen un grado de escolaridad de secundaria o superior.

Sólo 15% de las familias cuenta con más de cinco integrantes; un 71% tiene de tres a cinco individuos y un 14% posee menos de dos integrantes. En la mayoría de los casos (92%), cada familia tiene menos de dos integrantes económicamente activos. Únicamente en el 7.6% de los casos, existen más de cinco miembros activos. El 61% de los sembradores manifestaron estar casados, 29% vive en unión libre y el 10% restante es soltero, viudo o divorciado (Figura 4).

En el marco de la “Agricultura Familiar”, citada por Garner y Campos (2014) como el motor de las transformaciones productivas y económicas del sector rural (Ramírez-Juárez, 2022); en México, la SAGARPA y la FAO (2012) propusieron un sistema de estratificación de cinco niveles, de las unidades económicas rurales (UER) fundamentadas en aspectos como el trabajo familiar y su relación con la UP, la racionalidad productiva y su relación con el mercado y la estrategia de ingresos. De acuerdo con este sistema, la mayoría de las UP que pertenecen al PSV en los territorios de Córdoba y Papantla, Veracruz se clasifican en el estrato E1 que corresponden a la agricultura familiar de subsistencia sin vinculación al mercado y una pequeña parte, al estrato E2 denominada agricultura familiar de subsistencia con vinculación al mercado.

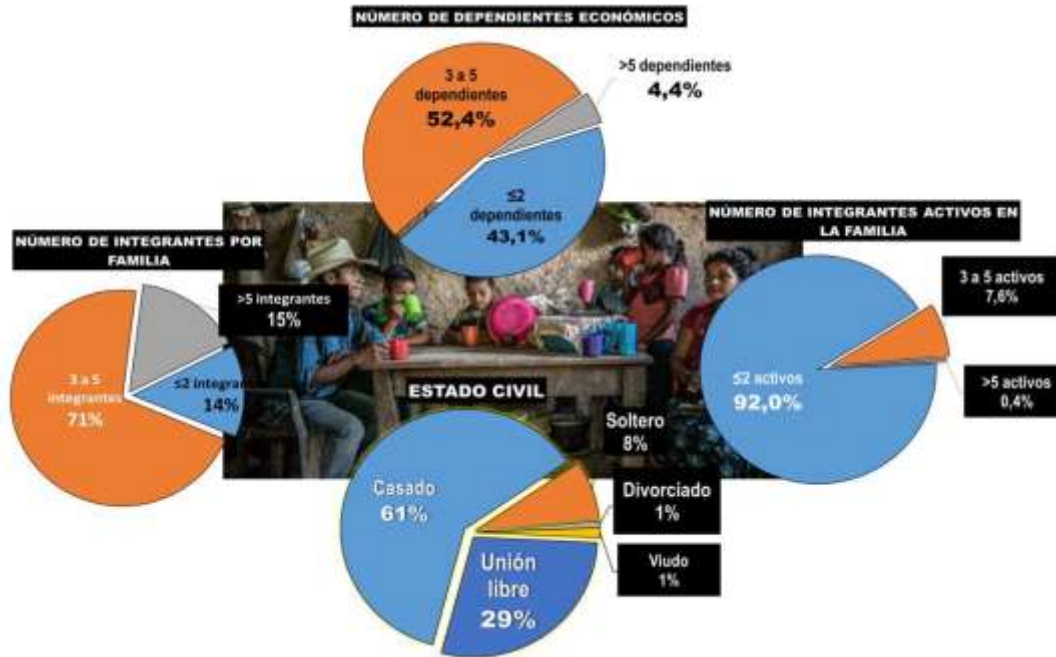


Figura 4. Número de integrantes (izquierda), dependientes económicos (centro superior), económicamente activos (derecha) y estado civil (centro inferior) de las familias participantes en el Programa Sembrando Vida del estado de Veracruz. Foto: Pablo Tosco.

Caracterización del sistema MIAF

Tenencia de la tierra. Los porcentajes de las formas de tenencia de la tierra dentro del PSV en Veracruz es un poco diferente al que se presentaba antes de que este programa iniciara operaciones en 2019. Sigue siendo el ejido la principal figura legal de tenencia de la tierra, pero se redujo de 56% a 44.1% y la aparcería y la pequeña propiedad incrementaron su frecuencia de 19 y 25% y de 24.8 y 29.7%, respectivamente. Esto significa que el programa motivó a algunos productores sin tierras, a realizar arreglos legales con otros propietarios de terrenos para poder ingresar al programa.

Área dedicada al sistema MIAF. Nueve de cada 10 sembradores (85.0%) del centro y norte de Veracruz dedican una hectárea de su UP al sistema MIAF, 3.4% tiene 2.0 hectáreas con MIAF y sólo 3.9% tiene más de dos hectáreas con este sistema. Poco más de 8% dedica menos de una hectárea al MIAF; es importante citar que las reglas de operación del PSV (DOF, 2002) exigen que de las 2.5 hectáreas con las que participan los sembradores en este programa, al menos una, deberá estar ocupada con sistema MIAF.

Procedencia de la mano de obra para el MIAF. A pesar de que en el 71% de los casos el número de integrantes de la familia de los sembradores es relativamente alto (3 a 5 integrantes), en las actividades



de campo sólo participan en promedio 1.2 familiares, con valores mínimos de cero y máximos de cinco (Figura 5).

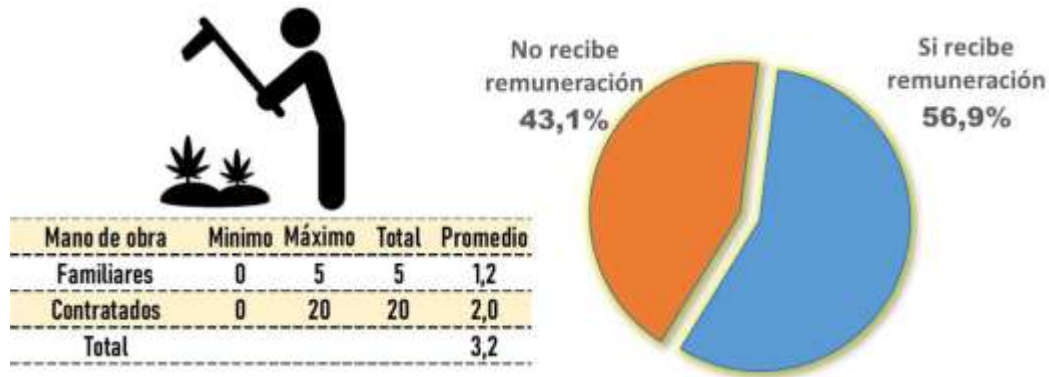


Figura 5. Área destinada al sistema MIAF por los sembradores que participan en el Programa sembrando Vida en el estado de Veracruz.

Esta situación obliga a los sembradores a contratar en promedio 2.0 jornales para complementar el trabajo de campo. Algunos sembradores manifestaron no contratar mano de obra y otros citaron que han contratado hasta 20 jornales de apoyo; el valor modal para esta variable fue de 2.0 jornales. Del total de los jornales procedentes de la familia sólo 56.9% recibe remuneración.

Los resultados obtenidos en este trabajo son acordes a los argumentos de Cortes *et al.* (2021) quien señala al sistema MIAF como un generador de empleos y un factor que podría influir en la reducción de la migración en las zonas rurales y el abandono del campo. Es cierto que, al tratarse de un sistema complejo, el MIAF exige más trabajo para su implementación y mantenimiento; no obstante, también requiere de una mayor inversión cuando la mano de obra familiar es escasa. Trabajos realizados por Ruiz-Mendoza *et al.* (2012) en la sierra Mixe de Oaxaca demostraron que el costo de la mano de obra en el sistema MIAF puede llegar a ser muy alto para los productores de subsistencia, ya que para una hectárea de terreno se requieren un total de 173 jornales.

Características generales de los terrenos. Cerca del 60% de las UP con sistema MIAF se ubican en terrenos con pendientes suaves (35%) a fuertes (22%) y el 43% en terrenos planos (22%) y ondulados (21%). Más del 44% de las parcelas tienen tierras negras que podrían ser de origen volcánico o fértiles con un buen nivel de materia orgánica; en el 16% existe presencia de piedras en la capa arable y 11% son suelos de textura arenosa, fácil de labrar, pero de baja fertilidad y poca capacidad para retener humedad (Figura 6).

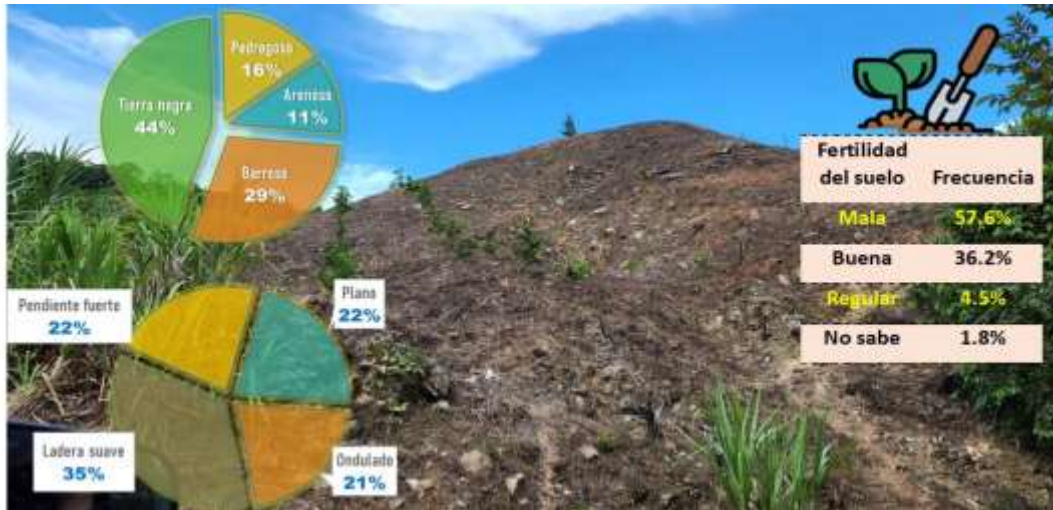


Figura 6. Principales tipos de suelos descritos por los productores del Programa Sembrando vida en el estado de Veracruz.

Este tipo de suelo es el más expuesto a la erosión hídrica (Bolaños *et al.*, 2016) especialmente si se encuentra ubicado en zonas de laderas y en condiciones de clima tropical. El 29% son suelos de textura arcillosa que generalmente se caracterizan por su buena fertilidad y su mayor capacidad para retener la humedad; las labores de labranza en este tipo de tierras suelen ser más difíciles y se requiere de un mayor gasto de energía. En cuanto a la fertilidad del suelo 57.6% de los productores mencionaron que sus terrenos son poco fértiles, 36.2% la calificó de buena fertilidad y 4.5% de regular. Sólo el 1.8% señaló que no sabía cómo estaba la fertilidad de sus tierras.

Ubicación y caminos de acceso a la PUP. El 75% de las UP se encuentran ubicadas a más de 10 km de la cabecera municipal; en el 54.3% de los casos, los productores mueven sus insumos y cosechas por caminos que se encuentran transitables casi todo el año y lo clasificaron como caminos regulares. El 22.6% lo clasificó como bueno y sólo el 2.6% como malo. Sólo 8.1% de los productores tienen sus terrenos cerca de la cabecera municipal; el resto seguramente tendrá problemas para desplazarse y desplazar sus cosechas a los centros de acopio, situación que sin duda incrementará los costos de producción. Adicionalmente, seis de cada diez productores (55.7%) citaron que su UP se localiza a más de 10 km de sus casas. Sólo el 22% del total ubican su casa a menos de 5 km de sus UP.

Procedencia de los recursos económicos utilizados en el MIAF. Poco más de la mitad (50.7%) de los productores entrevistados citó que el recurso utilizado para establecer la parcela MIAF procedió del PSV y un 10% más citó que utilizó el apoyo gubernamental y además invirtió recursos propios. Cerca de un 25% argumentó que la mayor parte del recurso invertido en su UP fue dinero propio, un 9.3%



utilizó recursos familiares e incluso solicitaron un crédito (2.2%) o utilizaron recursos procedentes de las remesas de los Estados Unidos (1.3%). Dado que el establecimiento del sistema MIAF requiere una inversión inicial fuerte; en muchos casos, la adquisición de los árboles frutales, la mano de obra para el trazo de las curvas a nivel y siembra de cultivos anuales y perenes, elaboración de bioproductos, instalación de tutores y filtro de sedimentos resulta muy difícil de financiar por un productor de subsistencia ubicado en áreas marginales. Por ejemplo, en climas tropicales el arreglo topológico considera una densidad de 832 árboles de limón y en un clima templado hasta 900 árboles de durazno; en este contexto, La UICN (2023) señala que el costo del establecimiento del modelo y del primer año de producción en clima templado es de \$76,765.00/ha y el de clima tropical es de \$82,698.00/ha. Los costos de transición, realizados en el Año 1 del sistema dejan en claro la necesidad de que los productores realicen una inversión adicional a la obtenida como parte del apoyo gubernamental (\$60,000/año), aun cuando ellos mismos han trabajado para producir sus propios árboles frutales, abonos orgánicos y semillas.

Asistencia técnica. Es un servicio que estimula la producción de alimentos al coadyuvar en el incremento de los rendimientos unitarios y la asesoría constante en actividades relacionadas con los procesos de producción, industrialización, distribución y comercialización (Hernández, 1981). Robles-Berlanga (2013) cita que, en la primera y parte de la segunda década del presente siglo, en México, los subsidios gubernamentales destinados al apoyo de actividades agropecuarias y forestales fueron concentrados en predios grandes y capitalizados ubicados en el norte del país. Estudios realizados previamente por Cuevas-Reyes *et al.* (2012) coinciden con lo citado por Robles-Berlanga (2013) al mencionar que, de acuerdo con el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de 2007, la proporción de UP con asistencia técnica es muy baja (sólo 118203 UP de 4 millones); no obstante, argumentan que la mayor proporción (28%) de las UP con asistencia técnica se encuentran en la zona sur de la república mexicana.

Al respecto, el 100% de los productores entrevistados mencionaron que antes del PSV no contaban con asistencia técnica personalizada. El 75% tienen tres años de recibir asistencia técnica y sólo 2 de cada 100 no han recibido asistencia técnica en los últimos tres años. El 95% de los sembradores manifestaron que la asistencia técnica que han recibido durante los últimos cuatro años proviene del PSV y sólo una pequeña fracción citaron otras fuentes como técnicos del sector privado (2%) o de las empresas proveedoras de insumos (2%). Ocho de cada diez productores calificaron a la asistencia técnica que han recibido como “Buena” y un 16% como regular.



Cuevas-Reyes *et al.* (2012) analizó la importancia de la asistencia técnica en las UP en México a partir de información estadística obtenida en el VIII Censo agrícola, Ganadero y Forestal 2007; encontró que hasta esa fecha, sólo el 3% del total de las UP, con actividad agropecuaria, disponían de ese servicio y que sólo el 11.7% de los productores percibían la falta de asistencia técnica y capacitación como un problema asociado a la productividad de sus proyectos productivos. Resulta alentador encontrar que con el PSV 9.5 de cada 10 productores disponen de un servicio de buena calidad, esto último según la apreciación de los mismos sembradores. Las referencias internacionales indican relaciones de 1:1 800 en países en desarrollo y de 1:330 en países desarrollados (Feder *et al.*, 1999). En México Zavala, (2009), sustentado en información proporcionada por la SAGARPA concluyó que en 2008 los productores disponían de una asistencia razonablemente adecuada al presentar una relación de 1:420.

Conclusiones

- (1) La edad y grado de escolaridad de los sembradores del centro y norte de Veracruz muestran condiciones óptimas para el desarrollo de una estrategia de intervención tecnológica fundamentada en una coparticipación de saberes campesinos, técnicos y científicos que tenga en cuenta las condiciones edafoclimáticas, sociales, ambientales y culturales de cada región.
- (2) La estructura familiar es numerosa, con muchos dependientes económicos y con poca mano de obra familiar activa.
- (3) En el sistema MIAF, además del propietario, laboran en promedio 1.2 familiares y sólo el 57% de ellos recibe un pago por las actividades que realiza. En la mayoría de los casos el productor utiliza el 100% de los recursos que reciben del PSV y, en ocasiones, invierte de su propio capital.
- (4) Alrededor de un 60% de las parcelas con MIAF están ubicadas en terrenos con pendientes suaves a fuertes, de este total, el 44% de los suelos son de mediana a buena fertilidad.
- (4) Un 75% de las UP se encuentran ubicadas en un radio de 10 km de distancia de la cabecera municipal con un 53% de caminos transitables en cualquier época del año.



Literatura Citada

- Bolaños G. M. A., F. Paz P., C. O. Cruz G., J. A. Argumedo E., V. M. Romero B. y J.C. de la Cruz C. 2016. Mapa de erosión de los suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 271-288. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300271&lng=es&tlng=es.
- Canales, T. y M. Corilla. 2019. Factores que incidieron en la productividad agrícola en la Región Junín -2017. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú. 98 p.
- Cortes F. J. I., A. Turrent F. 2021. Milpa Intercalada en árboles frutales (MIAF) Tecnología multiobjetivo para el desarrollo de la agricultura en laderas. Aportaciones del Colegio de Postgraduados al sector agroalimentario. Casos de Éxito. 1 p. [En línea]: Consultado el 12 de febrero de 2023. Disponible en: MIAF_final_5 (colpos.mx)
- Cuevas R. V., J. Baca del M., F. Cervantes E. y J. Aguilar Á. 2012. Asistencia técnica en el sector agropecuario en México: análisis del VIII censo agropecuario y forestal. *Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (5). México, ME:943-57. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i5.1386>.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. Acuerdo por el que se emiten las Reglas de Operación del Programa Sembrando Vida, para el ejercicio fiscal 2023.
- Feder, G.; Willet, W. and Zijp, W. 1999. Agricultural extension. Generic challenges and some ingredients for solutions. Policy Research Working. World Bank. Washington, D.C. 2129:123.
- Garner, E. and Campos, A. P. 2014. Identifying the 'family farm': an informal discussion of the concepts and definitions. ESA Working. Rome, FAO. 14-10 pp.



Hernández, P. J. E. 1981. Asistencia técnica y extensionismo en el municipio de Pungarabato, estado de Guerrero. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México, D. F.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2023a. Geografía y Medio Ambiente. Mapas. Climatología. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2023b. Geografía y Medio Ambiente. Mapas. Edafología. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>

Íñiguez-Rodríguez, C. C. 2023. Los modelos de extensión rural en México ¿Desempaquetar la política pública? ¿Por qué no? *Revista transregiones*.3 (5): 129-160.

Jerez-V. M. E. 2023. Paradigmas de equidad de género ante la validez normativa y social dentro de la propiedad ejidal en México. *Rev. Enfoques jurídicos*. No. 7: 9-33. DOI: <https://doi.org/10.25009/ej.v0i07.2595>.

Medina, B. M., M. C. Marín T. y L. Pablo G. 2023. Importancia de la milpa mazahua en el noroeste del Estado de México: perspectiva ante el cambio de uso de suelo. *CIENCIA Ergo-Sum*, 31(3). <<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/18937>>

Montatixe S.C.I. y M. D. Eche-Enríquez. 2021. Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*. 8(1):1-15. Doi: <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>

Mucha E. L. F. y M. G. Lora-Loza. 2021. *Técnicas de muestreo para investigación cuantitativa: aplicación informática*. Fondo Editorial. Universidad César Vallejo. 1ª. ed. 137 p. Lima, Perú. Doi: www.doi.org/10.18050/tecnicasmuestreo

Orozco C.S., L. Jiménez S., N. Estrella C., B. Ramírez V., B.V. Peña O., A. Ramos S. y G. Morales. 2008. Escuelas de campo y adopción de ecotecnia agrícola. *Ecosistemas* 17:94- 102.



Otzen, T. y C. Manterola. 2017. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology*. 35(1):227-232. Doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>

Ramírez J. J. 2022. Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. *Rev. Mex. de ciencias agrícolas*, 13(3):553-565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>

RAN (Registro Agrario Nacional). 2022. Sujetos de núcleos agrarios certificados y no certificados. Disponible en: http://www.ran.gob.mx/ran/indic_gen/nucag-certynocert-avance-2022-abr.pdf

Robles B. H. M. 2013. Los pequeños productores y la política pública. Subsidios al campo en México. 1ª. Edic. México. 30 p. [En línea]: Consultado el 26 de febrero de 2023. Disponible en: https://www.senado.gob.mx/comisiones/desarrollo_rural/docs/reforma_campo/2-III_c2.pdf

Ruiz M. A. D., L. Jiménez-Sánchez, O. L. Figueroa-Rodríguez y M. Morales Guerra. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Rev. Mex. de Ciencias Agrícolas* 3 (81):1605-1621. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v3n8/v3n8a10.pdf>

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) y FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Diagnóstico del sector rural y pesquero: Identificación de la problemática del sector agropecuario y pesquero de México 2012. CDMX. 45 p.

Sánchez- A. A. C. 2022. Desarrollo empresarial de las MyPES del sector frutícola en la comunidad de Teapa, Tabasco (México). *Rev. de Investigaciones Universidad Del Quindío*, 34 (2):178–187. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol34n2.991>



SEFIPLAN COPLADEVER (Secretaría de Finanzas y Planeación). 2005. Estudios Regionales para la planeación. Información básica. Región VII Las Montañas. Veracruz de Ignacio de la llave. Gobierno del estado de Veracruz. 38 p. [En línea]: consultado el 03 de febrero de 2023. Disponible en: <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/wp-content/uploads/sites/2/2020/02/C-Reg-Las-Montanas-2005publ.pdf>

Solís V. O.O., W.O. Cruz M., R. A. Campos S. y V. Hernández G. 2023. Caracterización socio productiva de sistemas ganaderos Bovinos en dos áreas de la Región Frailesca, Chiapas. *Ciencia Latina Rev. Cient. Multidisciplinaria*, 7(2):3795-3810. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5611

UICN (Unión internacional para la conservación de la naturaleza). 2023. Modelo de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en ladera. 74 p. [En línea]. Consultado el 23 de febrero de 2023. Disponible en: <https://www.oaxacabajoemisiones.mx/?P=MIAF>

Vásquez G. A.Y., C. Chávez M., F. Herrera T. y F. Carreño M. 2018. Milpa y seguridad alimentaria: El caso de San Pedro El Alto, México. *Revista de Ciencias Sociales*, 24(2):24–36. <https://doi.org/10.31876/rsc.v24i2.24817>

Zavala, G. del C. R. 2009. Análisis general sobre asistencia técnica en el sector rural: comparativo entre el VIII Censo Agropecuario y Forestal y los resultados de SAGARPA. http://smye.info/gia-mexico/wp-content/uploads/2023/01/Analisis_Asistencia_Tecnica_CENSO_INEGI_-_SAGARPA.pdf.



AMBIENTE, RECURSOS NATURALES y CAMBIO CLIMÁTICO



LÍNEA SUPERIOR DE BOSQUE, UN INDICADOR DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS MONTAÑAS MEXICANAS

Víctor Soto^{341*} y Carlos M. Welsh³⁴¹

Resumen

El relieve mexicano cuenta con montañas que superan los 5000 m de altitud; algunas de ellas poseen nieve permanente, permafrost y glaciares; elementos criosféricos que funcionan como indicadores evidentes de cambio climático. Sin embargo, el límite superior de bosque es otro indicador de cambios en el clima actual. A pesar de que diversas montañas mexicanas superan la altitud de la cobertura boscosa, poco se ha trabajado en este indicador en el país. La situación se vuelve más compleja si se considera que posiblemente los glaciares mexicanos habrán de extinguirse en pocas décadas, por lo que estos indicadores criosféricos también dejarán de existir. De esta manera, las altas montañas mexicanas únicamente podrían servir de referente sobre los cambios en el clima a través de la migración de la vegetación, en busca de su umbral de confort. En este trabajo se identificó el límite superior de bosque continuo y discontinuo en las montañas superiores a 4000 m de altitud en México. El estudio se basó en el índice de vegetación de diferencia normalizada y mediante el análisis de componentes principales. Se encontró que en cada vertiente el límite de bosque alcanza una altitud distinta; sin embargo, en promedio el bosque continuo culmina a 4019 y el discontinuo a 4072 m de altitud. Se determinó que la precipitación, el tipo de suelo y la tasa de radiación solar a nivel de superficie son los principales factores que rigen su altitud. Estos parámetros habrán de servir de referencia para analizar los cambios de altitud en la línea superior de bosque que se experimenten en años posteriores.

Palabras clave: climatología de alta montaña, cobertura boscosa, índice de vegetación de diferencia normalizada, variabilidad climática

³⁴¹ Centro de Ciencias de la Tierra, Universidad Veracruzana. *visoto@uv.mx



Introducción

La criósfera mexicana, compuesta de nieve, permafrost y glaciares, ha evolucionado negativamente durante las últimas décadas. De acuerdo con Soto *et al.* (2019) y Soto (2023), la superficie de permafrost y los glaciares mexicanos están en franca retracción y en un camino hacia su extinción. Es probable que en las próximas décadas estos indicadores de cambio climático no podrán usarse más para el territorio nacional. Las condiciones de temperatura en las altas montañas tropicales rigen los constantes ciclos de helada recurrentes en altitudes superiores a los 4000 m, generando crioclastia y favoreciendo el flujo de escombros y solifluxión en las laderas, lo cual altera o destruye la vegetación juvenil de estas regiones (Hreško *et al.*, 2009). El congelamiento superficial también afecta la fisiología vegetal, alterando el metabolismo, el crecimiento y la regeneración de los árboles. En conjunto, esto limita o impide la germinación y el crecimiento de la vegetación (Hatfiel y Prueger, 2015), determinando así el límite altitudinal del bosque.

Al igual que como ocurre con la altitud del frente glaciar y de la línea de las nieves, el cambio altitudinal del límite superior del bosque a lo largo del tiempo es un tema ampliamente documentado (Schwörer *et al.*, 2014). La variación de la temperatura y la precipitación obligan a que este límite se ubique cada vez a mayor altitud (Santaella, 2013). Una temperatura en aumento favorece, en parte, el crecimiento y extensión del bosque (Wang *et al.*, 2006); y si el régimen de precipitación líquida supera al de la nieve, este avance altitudinal se vuelve aún más notorio. A mayor altitud la densidad de la atmósfera es menor, e influye en la tasa de radiación solar a nivel de superficie. La radiación UV ocasiona estrés fisiológico a la vegetación, ocasionando una adaptación débil de las especies (Turunen y Latola, 2005). La exposición a los vientos y la baja presión atmosférica son también elementos estresantes. Las laderas expuestas al viento experimentan mayor déficit de temperatura que los sitios mejor protegidos (Dahms, 1992). El bosque continuo, según Holtmeier (2009), está determinado por la densidad de la vegetación y la altura de los individuos que lo componen. La densidad del dosel debe ser superior al 10% y con una superficie mayor a 0.5 ha (ONUAA, 2010), y la altura debe ser de por lo menos 2 m (Hofgaard, 1997). En México está compuesto principalmente por la especie *Pinus hartwegii* (Steinman *et al.*, 2019) y con individuos de *Abies religiosa* (Rzedowski, 2006), con un mínimo de altura de 3-5 m.

Debido a las características montañosas del relieve mexicano, y por la importancia del límite superior de bosque como indicador de cambio climático de mediano y largo plazo, este trabajo está enfocado en



determinar el límite superior de bosque, con el fin de fortalecer el conocimiento de las condiciones actuales de altitud del bosque de la alta montaña mexicana, el cual puede ser útil como referencia en temas de clima y vegetación de gran altura, al estudiar la variación de altitud de la línea de bosque.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La zona de estudio es el Eje Neovolcánico, una franja de montañas y mesetas ubicada alrededor de los 19.5° de latitud norte, y posee las cimas más altas del país. El clima es variado en función de la continentalidad y de la altura del relieve. Según García (2004), en las partes próximas a las costas varía desde semicálido, con un alto índice pluvial en altitudes inferiores a 800 m y con una temperatura media anual de 18 y 22°C. Por arriba inicia el bosque mesófilo con un clima templado y húmedo que culmina hasta los ~2000 m; la temperatura anual es inferior a 18°C y una precipitación media acumulada de 2500 mm. Posteriormente inicia el bosque de pino-encino que llega a 3400 m y el de pino limita a ~4100 m en función de distintos rasgos topo-climáticos. El clima es semifrío con una temperatura media anual de 8°C; la precipitación es menor a 1200 mm al año. Los climas fríos de tundra inician por arriba de este límite; el primero posee un régimen térmico de entre -2 y 5°C; su límite se ubica aproximadamente a 4000 m. Por su parte, el clima más frío de todos se localiza a ~5100 m con un valor anual inferior a -2°C. El Cuadro 1 y la Figura 1 señalan la distribución de las montañas que superan los 4000 m dentro del área de estudio, con sus altitudes correspondientes según información del INEGI (2022).

Cuadro 1. Montañas superiores a 4000 m.

Lugar en altitud	Montaña	Altitud	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	Citlaltépetl	5610	19°02'00"	97°16'12"
2	Popocatepetl	5500	19°01'21"	98°37'39"
3	Iztaccíhuatl	5220	19°11'00"	98°38'36"
4	Xinantécatl	4680	19°06'19"	99°46'09"
5	Sierra Negra	4580	18°59'05"	97°19'00"
6	Matlalcuéyetl	4420	19°14'00"	98°02'00"

Lugar en altitud	Montaña	Altitud	Latitud Norte	Longitud Oeste
7	Nevado de Colima	4260	19°33'45"	103°36'31"
8	Naucampatépetl	4200	19°29'04"	97°09'37"
9	Tláloc	4120	19°24'44"	98°42'45"

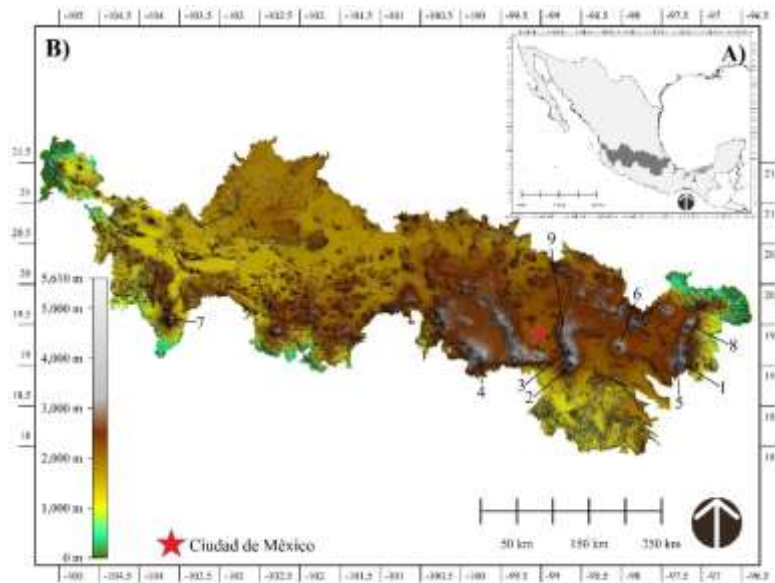


Figura 1. Zona de estudio. Eje Neovolcánico (A) y las principales cimas del País (B).

Fuentes y procedimientos

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es un parámetro muy utilizado para identificar la calidad de la vegetación y su densidad (Zaitunah *et al.*, 2018); permite distinguir la cobertura vegetal del suelo desnudo (Singh *et al.*, 2012). Su rango va de -1 a +1, siendo los valores cercanos al -1 los correspondientes a los cuerpos de agua, y los valores próximos a 0 representan el suelo desnudo. Los valores positivos indican las diferentes cualidades de la vegetación; un valor cercano a +1 indica la presencia de una vegetación vigorosa y densa. De este modo, en una imagen de alta resolución espacial, como las Sentinel-2, cada pixel de 10x10 m representaría el dosel forestal con algunos metros de cobertura. En este trabajo se elaboró un mosaico de imágenes Sentinel-2A correspondiente al mes de abril del 2019 con el que se cubrieran las montañas mayores a 4000 m de altitud dentro del Eje Neovolcánico. Se procuró obtener la serie de imágenes más recientes dentro del período de estiaje con la finalidad de que estuvieran libres de nubosidad, así como también para evitar



la sobreestimación ocasionada por el exceso de humedad durante la temporada de lluvias. El Cuadro 2 muestra las imágenes seleccionadas para este trabajo.

Cuadro 2. Conjunto de imágenes Sentinel-2A empleadas para el cálculo del NDVI.

Imagen	Fecha de la toma
T13QFB_20190423T171901	23 de abril 2019
T14QMG_20190412T165849	12 de abril 2019
T14QNG_20190412T165849	12 de abril 2019
T14QPG_20190330T164859	30 de marzo 2019

Las imágenes fueron procesadas dentro del programa Global Mapper v.20 a través de la combinación de las bandas 4 y 8 (Delegido *et al.*, 2016; Arekhi *et al.*, 2019) mediante el algoritmo $(NIR-Red)/(NIR+Red)$. Donde la banda 4 corresponde a la región espectral del rojo (*Red*) y la banda 8 al infrarrojo cercano (*NIR*). Con la capa del NDVI se consideró que la cobertura de píxeles que fuera superior al 10% del área, según el criterio de la ONUAA (2010), corresponderían a zonas de bosque continuo. De esta manera, la posición más alta con respecto al relieve, que tuviera una cobertura de píxeles superiores al 10% del área correspondiente señaló el límite altitudinal del bosque continuo. La cobertura inferior al 10%, por su parte, representó los parches discontinuos o individuos aislados del bosque. De las capas ráster resultantes se eliminaron los valores que correspondieron al lecho rocoso y suelo desnudo ($NDVI \leq 0$) y de vegetación de baja densidad ($0 < NDVI < 0.3$), pertenecientes a la vegetación no arbórea, para que los píxeles correspondientes a la vegetación forestal, por arriba del valor de 0.3 (Reddy y Reddy, 2013; Malini y Somashekar, 2013; Zaitunah *et al.*, 2018) quedaran aislados. Posteriormente esta capa se sobrepuso a un modelo digital de elevaciones (MDE) de 15 m de resolución (INEGI, 2019), para determinar así la altitud máxima de la línea de bosque continuo y discontinuo para cada una de las vertientes norte, sur, este y oeste de todas las montañas analizadas.

Para identificar el grado de incidencia de los factores ambientales que condicionan la altitud de la línea superior de bosque, se elaboró un análisis de componentes principales en el que se correlacionaron las variables de: 1. Orientación, 2. Temperatura, 3. Precipitación, 4. Lecho rocoso, 5. Tipo de suelo, 6. Evaporación y 7. Radiación. La utilidad del análisis de componentes principales se basa en la capacidad de identificar relaciones generando combinaciones lineales de variables que muestran tendencias comunes de variación, y puede contribuir sustancialmente al reconocimiento de patrones en



el comportamiento de los datos analizados (Peres-Neto *et al.*, 2005). Para los casos de temperatura, precipitación y evaporación, se consideraron los valores medios anuales, obtenidos de la plataforma digital de la CONABIO (2019), al igual que las capas de roca y de suelo. Los valores de temperatura, precipitación y evaporación anuales fueron determinados a la altitud de 4000 m. Por su parte, el cálculo de la radiación solar en superficie, también a escala anual, se obtuvo mediante la herramienta *solar radiation* del programa ArcGis v. 10.5 y el MDE. La radiación solar incidente se calculó a 4000 m de altitud en pendientes de 15° para los acimuts 0°, 90°, 180° y 270°, que corresponde a los cuatro puntos cardinales. El factor latitud no fue considerado en este trabajo debido a que todas las montañas analizadas oscilan alrededor de los 19° y se encuentran relativamente muy próximas entre sí. El cuadro 3 muestra los distintos parámetros que componen cada una de las variables analizadas.

Cuadro 3. Variables y rangos utilizados en el análisis de componentes principales.

Tipo						
Tipo principal de roca	Tipo principal de suelo	Precipitación anual (mm)	Temperatura anual (°C)	Radiación solar (W/m ² /hr)	Evaporación (mm)	Orientación (Grados)
	Regosol					
Toba ácida	éutrico	700	5,0	238	550	315-45
Brecha volcánica intermedia	Andosol ótrico	900	5,3	267	600	45-135
Brecha sedimentaria	Regosol dítrico	1000	5,5	258	650	135-225
Andesita	Litosol	1100	5,8	252	700	225-315
	Cambisol					
	éutrico	1350	6,3		750	
	Andosol					
	húmico	1225	7,0			
		1650	8,0			
			9,0			
			10,0			
			11,0			

Resultados y Discusión

Mediante el procedimiento para la obtención del NDVI, la figura 2 muestra un acercamiento a la imagen satelital en color verdadero (RGB) de la parte norte del volcán Xinantécatl (Figura 2A), así como los valores correspondientes del NDVI (figura 2B). La comparación NDVI-RGB ha sido empleada en la mayoría de los estudios de cobertura forestal para fines de corroboración (Sader y Winne, 1992).

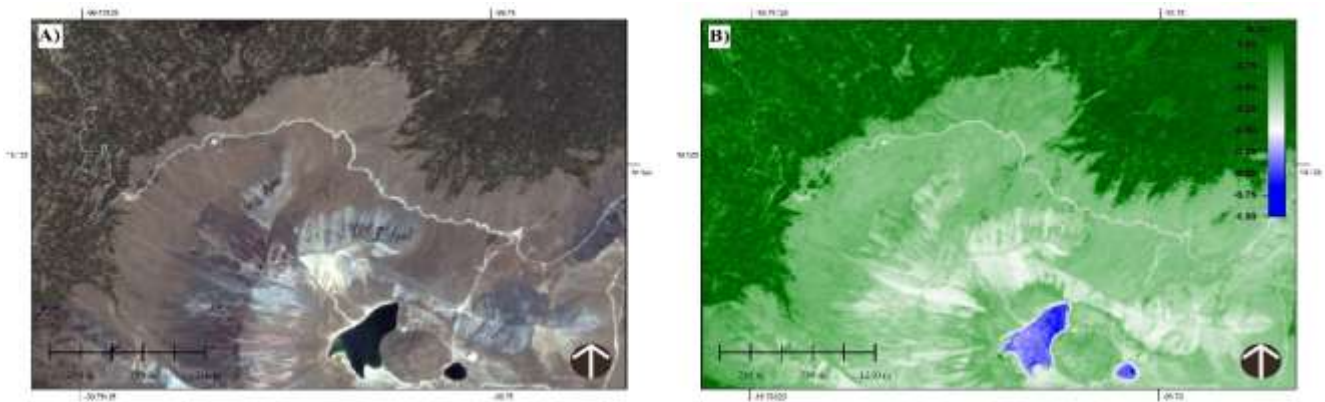


Figura 2. Imagen Sentinel-2A en RGB (A) y del NDVI (B) en la zona norte del volcán Xinantécatl. Los valores menores a 0 pertenecen a cuerpos de agua en el interior de cráter.

Se aprecia cómo los píxeles del NDVI corresponden a cada uno de los de la imagen RGB, en la que se representa la vegetación pinácea. Por lo tanto, debido al contraste entre píxeles de vegetación densa y del suelo desnudo, puede observarse con claridad el límite superior del bosque. Tras la extracción de píxeles con valor superior a 0.3 del NDVI, la Figura 3 señala la capa de cobertura de bosque continuo, la cual se ha sobrepuesto a un MDE en que se observan los valores de altitud en los que se posiciona el límite superior. Puede apreciarse con claridad la cota altitudinal que alcanza el bosque continuo y los individuos aislados conforme al MDE. Este ejemplo corresponde a la vertiente norte del volcán Xinantécatl. Pueden observarse también porciones de vegetación no arbórea ($NDVI \leq 0.3$), probablemente de tipo pastizal, o que corresponden a suelo desnudo ($NDVI \sim 0$) entre el bosque de pinos. Una vez elaborados los procedimientos anteriores para las nueve montañas del Eje Neovolcánico, el Cuadro 4 muestra los valores de altitud por vertiente, así como los valores promedios para la cubierta continua y discontinua de bosque.

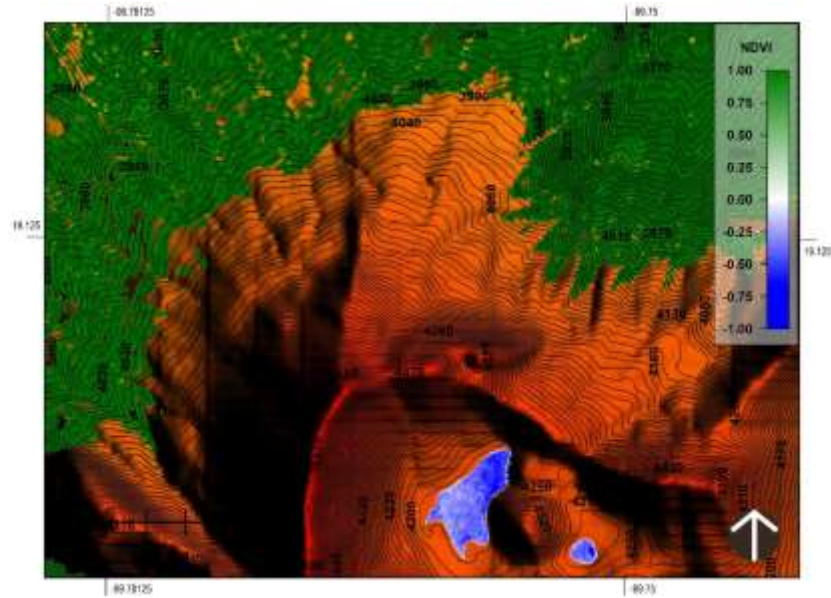


Figura 3. Capa de cobertura de bosque continuo sobre el MDE. Las isohipsas, como referencia, están en intervalos de 10 metros. Los valores de NDVI por debajo de -0.25 corresponden a los lagos del Sol y la Luna, en el cráter del volcán.

Cuadro 4. Altitud del límite superior de bosque continuo y discontinuo por vertiente.

Lugar en altitud	Montaña	Vertiente	Discontinuo	Promedio	Continuo	Promedio
1	Citlaltépetl	norte	4100	4117.5	4030	4047.5
		sur	4200		4120	
		este	4130		4060	
		oeste	4040		3980	
2	Popocatepetl	norte	4030	3985	4010	3935
		sur	4020		3980	
		este	4010		3910	
		oeste	3880		3840	
3	Iztaccíhuatl	norte	4190	4170	4150	4122.5
		sur	4150		4130	
		este	4200		4170	
		oeste	4140		4040	
4	Xinantécatl	norte	4100	4112.5	4090	4090
		sur	4130		4070	
		este	4110		4110	
		oeste	4110		4090	



Lugar en altitud	Montaña	Vertiente	Discontinuo	Promedio	Continuo	Promedio
5	Sierra Negra	norte	4020	4102.5	3950	4035
		sur	4170		4080	
		este	4240		4210	
		oeste	3980		3900	
6	Matlalcuéyetl	norte	4040	4055	4020	4002.5
		sur	4050		3990	
		este	4060		4050	
		oeste	4070		3950	
7	Nevado de Colima	norte	3900	3982.5	3860	3925
		sur	3990		3900	
		este	4050		3970	
		oeste	3990		3970	
8	Naucampatépetl	norte	4070	4062.5	4000	3987.5
		sur	4050		4010	
		este	4060		3900	
		oeste	4070		4040	
9	Tlálloc	norte	4040	4060	4030	4025
		sur	4100		4030	
		este	4080		4040	
		oeste	4020		4000	
Altitud media por vertiente		norte	4054.5	4072	4015.5	4018.9
		sur	4095.5		4034.4	
		este	4104.5		4046.7	
		oeste	4033.3		3978.9	

Puede observarse que el límite más bajo, en promedio, corresponde a las laderas oeste, con 4033.3 y 3978.9 m para el bosque discontinuo y continuo respectivamente. Por su parte, las vertientes este son las que poseen un límite superior más alto, con 4104.5 m para el bosque discontinuo y 4046.7 para el bosque continuo. De manera individual, la montaña con mayor altitud de cobertura boscosa es el Iztaccíhuatl, con 4170 m para la cobertura aislada y 4122.5 para el bosque continuo. Contrariamente, en el Nevado de Colima se encontró una altitud de 3982.5 y 3925 m para el bosque aislado y el



continuo respectivamente. Por su parte, el análisis de componentes principales permitió identificar los factores que condicionan la altitud del límite del bosque. De acuerdo con la prueba de significancia del cuadro 5, se observa que existe un grado de explicación no muy alto (0.532) pero con alto nivel de significancia según la prueba de esfericidad de Bartlett, considerando un valor alfa de 0.05.

Cuadro 5. Prueba de significancia según test de esfericidad de Bartlett.

Prueba de KMO y Bartlett		
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0.532
Prueba de esfericidad de Bartlett	Aprox. Chi-cuadrado	69.262
	gl	21
	Sig.	0.000

Por otro lado, mediante los resultados del cuadro 6 se determinó que son tres componentes principales los que condicionan la altitud del límite del bosque, que en conjunto alcanzan a explicar el fenómeno en un 73%.

Cuadro 6. Porcentaje de explicación por los tres componentes principales.

Componente	Varianza total explicada								
	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2.164	30.907	30.907	2.164	30.907	30.907	2.041	29.153	29.153
2	1.750	25.001	55.908	1.750	25.001	55.908	1.850	26.429	55.582
3	1.193	17.045	72.953	1.193	17.045	72.953	1.216	17.371	72.953
4	0.882	12.601	85.553						
5	0.531	7.585	93.139						
6	0.303	4.335	97.474						
7	0.177	2.526	100.000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.



Analizando cada uno de los componentes, según las variables con mayor nivel de incidencia (cuadro 7), se puede determinar, de mayor a menor grado de importancia, que el factor principal, componente 1, está compuesto por la variable de precipitación, seguida por la del tipo de suelo; siendo éstos los elementos más determinantes en la altitud del bosque, seguido por el grado de radiación solar incidente como factor determinante 2. En menor medida influye el tipo de roca y la temperatura.

Cuadro 7. Nivel de condicionamiento, según los factores identificados.

	Matriz de componente rotado ^a		
	Componente		
	1	2	3
Precipitación	0.901		
Suelo	0.792		0.322
Evaporación	0.594	0.240	-0.140
Radiación		0.942	0.103
Orientación		-0.927	
Roca	0.285		0.813
Temperatura	-0.394	0.191	0.646

Método de extracción: análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser^a. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

Se puede determinar que la altitud del límite bosque en México depende de la combinación de distintos factores, que influyen de diferente manera en cada montaña del país. Con base en lo anterior, este trabajo resalta la necesidad de realizar análisis a detalle *in situ* para conocer las propiedades particulares de las variables aquí estudiadas para cada una de las montañas mexicanas superiores a 4000 m de altitud. Es probable que la respuesta del modelo de componentes principales (KMO = 0.532) se deba a la carencia de información más detallada de las variables analizadas. No obstante, el alto nivel de significancia, según la prueba de Bartlett, con este trabajo se encontró que el límite altitudinal del límite de bosque en México depende principalmente de la precipitación, seguido del tipo del suelo y del grado de radiación solar a nivel de superficie. Las características del lecho rocoso y la temperatura del aire son factores que también influyen en el alcance vertical de la vegetación arbórea, pero en menor medida que los anteriores. Debido a la estrecha relación evolutiva entre la roca y el suelo, se entiende entonces que el lecho rocoso adquiere importancia como elemento determinante del



límite superior arbóreo, sólo a través del tiempo y mediante su meteorización y transformación en suelos fértiles, con la combinación de materia orgánica de origen vegetal, así como por los depósitos de ceniza volcánica. Por su parte la variable de temperatura, si bien queda identificada también dentro del tercer componente y con el menor grado de incidencia, permite dejar en claro que la radiación solar a nivel de superficie, desde la perspectiva de la micrometeorología, es el componente atmosférico que determina la temperatura del suelo y como consecuencia del aire, mediante los flujos de calor sensible. Por lo tanto, la temperatura y el tipo de roca están estrictamente vinculados a la radiación solar y el tipo de suelo respectivamente.

La diferencia en la altitud de la línea de bosque cercana a 200 m entre los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, a pesar de la cercanía entre ellos (14 km), debe ser una consecuencia de los distintos estados de actividad volcánica que poseen. Mientras que el Iztaccíhuatl está considerado en etapa de reposo (Macías *et al.*, 2012), el Popocatepetl ha permanecido en un estado de constantes episodios eruptivos desde el año 1994 (Martin-Del Pozzo, 2012). Los flujos piroclásticos y de lava, principalmente, aunado con el alto calor geotérmico, pueden ser los causantes del impedimento en la elevación de la línea de bosque en este edificio volcánico. Situaciones semejantes ocurren con el Nevado de Colima, perteneciente al Complejo Volcánico Colima que es considerado actualmente como el complejo más activo del país (Norini *et al.*, 2010). Las situaciones relativamente similares de actividad volcánica entre estas dos montañas condicionan que la altitud máxima para el bosque continuo y discontinuo sea muy semejante entre ellos.

Es probable que la mayor altitud del límite superior de bosque alcanzada en las vertientes orientales de todas las montañas estudiadas se deba en buena medida a las corrientes de los vientos alisios que traen consigo humedad proveniente del Golfo de México (Soto y Cervantes, 2023). Esta humedad contenida en el aire algunas veces es depositada directamente en la vegetación y sobre el suelo, favoreciendo así su hidratación. Adicionalmente, la humedad de los alisios sufre un forzamiento ascendente en las laderas del este que propicia su condensación, dando pie a la precipitación de tipo orográfico, beneficiando una vez más la hidratación vegetal. En las vertientes occidentales, por su parte, donde se registra la altitud más baja de la línea de bosque de las cuatro vertientes, puede ser una consecuencia de la alta tasa de radiación solar justo después del mediodía, ocasionando el estrés fisiológico de la vegetación en combinación con las bajas temperaturas, tal como lo manifiestan Bader *et al.* (2007) y Bader y Ruijten (2008). El efecto Foehn también determina una menor humedad en esas laderas.



El patrón de distribución de altitud máxima del límite de bosque parece obedecer condiciones de temperatura y precipitación relativamente semejantes entre las montañas analizadas. Sin embargo, el régimen térmico muestra valores un tanto menos homogéneo en comparación con la variable pluvial. Mientras que el modelo de distribución de la precipitación en regiones mexicanas de alta montaña, elaborado por Soto *et al.* (2019), indica una disminución cuasi lineal en función de la altura por arriba de 3000 m, con una precipitación anual acumulada inferior a 1000 mm entre 4000 y 4100 m, la variable térmica por su parte muestra un comportamiento distinto; de acuerdo con datos de temperatura media del aire en el volcán Citlaltépetl (Soto y Delgado-Granados, 2020), el límite medio del bosque discontinuo coincide con un valor de 6.7°C y registra un número de 101 ciclos diurnos de helada al año. Por su parte, a partir de los registros de la estación San Juan Tetla (3393 m) y del gradiente altitudinal de temperatura determinado por Soto y Delgado-Granados (2020), en el volcán Iztaccíhuatl, el mismo límite posee una temperatura de 6.2°C; a esta cota Andrés *et al.* (2010) reportan 56 ciclos de helada a nivel del suelo. Finalmente, en el volcán Xinantécatl, a partir de la estación Nevado de Toluca (4283 m) y del gradiente térmico estimado (Soto y Delgado, 2020), el límite máximo altitudinal del bosque se posiciona sobre la isoterma 5.1°C; los registros de la estación climatológica señalan 170 ciclos de helada al año.

Con base en lo anterior se enfatiza que el régimen térmico afecta la fisiología de la vegetación e impide su crecimiento (Hatfiel y Prueger, 2015). Los valores de temperatura, si bien son un tanto distintos entre las montañas mencionadas, justificando en parte su posición dentro de los factores que determinan la altitud del bosque, se aproximan al correspondiente de 5°C señalado por Lauer y Klaus (1975) como frontera superior del bosque en las montañas tropicales. No obstante, lo anterior, al combinarse la temperatura con la variable de precipitación, identificada ésta como el componente más determinante, y aunado también a la tasa de insolación, se robustece la hipótesis de que el clima, como conjunto de variables, es el que rige principalmente la altitud del límite de bosque en las montañas mexicanas.

Conclusiones

Los límites de bosque continuo y discontinuo en las montañas mexicanas son producto, en orden de importancia, de la precipitación, el tipo de suelo y de la incidencia de la radiación solar; en menor



medida influye el basamento rocoso y la temperatura del aire. La humedad del Golfo de México, transportada por los vientos alisios, determina que en las laderas orientales alcancen la cota más alta, favorecidas por una mayor hidratación. Se requiere de estudios futuros a nivel de micro escala para identificar con mayor precisión los factores que rigen la altitud del límite continuo y discontinuo del bosque en México. No obstante, los resultados encontrados en este trabajo serán un buen referente desde la perspectiva forestal y climática para estudios posteriores donde se aborden los impactos del cambio climático en ecosistemas de alta montaña.

Literatura Citada

- Andrés, N., Estremera, D. P., Zamorano, J. J. y Vázquez-Selem, L. (2010). Distribución del permafrost e intensidad de los procesos periglaciares en el estratovolcán Iztaccíhuatl (México) 1. *Eria* (83):291-310.
- Arekhi, M., Goksel, C., Balik Sanli, F. and Senel, G. (2019). Comparative evaluation of the spectral and spatial consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI Data for Igneada Longos Forest. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(2):56. Doi:10.3390/ijgi8020056
- Bader, M. Y. and Ruijten, J. J. A. (2008). A topography-based model of forest cover at the alpine treeline in the tropical Andes. *J. Biogeogr* 35:711–723. Doi:10.1111/j.1365-2699.2007.01818.x
- Bader, M. Y., van Geloof, I. and Rietkerk, M. (2007). High solar radiation hinders tree regeneration above the alpine treeline in northern Ecuador. *Plant Ecology* 191:33–45. Doi:10.1007/s11258-006-9212-6
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO. (2019). Portal de geoinformación. Sistema nacional de información sobre biodiversidad. Recuperado de http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/topog/infgrt/indi50kgw [consultado el 8 de agosto de 2019].



- Dahms, A. (1992). Wachstumsbedingungen bei *Picea engelmannii* (Parry) Engelm. und *Abies lasiocarpa* (Hook) Nutt. an unterschiedlich windexponierten Standorten im Waldgrenzbereich der Colorado Front Range, U.S.A. Diss. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- Delegido, J., Tenjo, C., Ruiz, A., Pereira, M., Pasqualotto, N., Gibaja, G., and Sanchis, J. (2016). Aplicaciones de Sentinel-2 a estudios de vegetación y calidad de aguas continentales. In Conference: XVII Simposio Internacional En Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SELPER). Puerto Iguazú, Argentina.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 5ª edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México. (No. C/551.6972 G3/2004), 90 pp.
- Hatfield, J. L. and Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and climate extremes* 10:4-10. Doi:10.1016/j.wace.2015.08.001
- Hofgaard, A. (1997). Structural changes in the forest-tundra ecotone: a dynamic process. In *Past and future rapid environmental changes* (pp. 255-263). Berlin, Heidelberg: Springer. Doi:10.1007/978-3-642-60599-4_20
- Holtmeier, F. K. (2009). *Mountain timberlines: ecology, patchiness, and dynamics* (Vol. 36). Geneva, Switzerland: Springer Science & Business Media. 445 pp.
- Hreško, J., Bugár, G. and Petrovič, F. (2009). Changes of vegetation and soil cover in alpine zone due to anthropogenic and geomorphological processes. *Landform Analysis* 10:39-43.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2022). *Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. Aguascalientes, Ags. Méx. 865 pp.



- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2019). Continuo de Elevaciones Mexicano. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/> [consultado el 7 de agosto de 2019].
- Lauer, W. and Klaus, D. (1975). Geocological investigations on the timberline of Pico de Orizaba, Mexico. *Arct. Alp. Res.* 7 (4):315–330.
- Macías, J., Arce, J., García-Tenorio, F., Layer, P., Rueda, H., Reyes-Agustín, G., López-Pizaña, F. and Avellán, D. (2012). Geology and geochronology of Tlaloc, Telapón, Iztaccíhuatl, and Popocatepetl volcanoes, Sierra Nevada, central Mexico. *In: Aranda-Gómez, J.J., Tolson, G., and Molina-Garza, R.S., (Eds.) The Southern Cordillera and Beyond: Field Guide.* 25. (pp. 163-193). Boulder, Co., USA: The Geological Society of America. Doi:10.1130/2012.0025(08)
- Malini, A. S. and Somashekar, R. K. (2013). Multispectral Monitoring of Vegetation Cover of Bangalore Metropolitan Area. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology* 2(1):27-32.
- Martin-Del Pozzo, A. L. (2012). Precursors to eruptions of Popocatepetl volcano, Mexico. *Geofísica internacional* 51(1):87-107.
- Norini, G., Capra, L., Gropelli, G., Agliardi, F., Pola, A. and Cortes, A. (2010). Structural architecture of the Colima volcanic complex. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 115(B12). Doi:10.1029/2010JB007649
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (ONUAA). (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010, Informe Nacional, México. Roma, Italia: FAO. 98 pp.
- Peres-Neto, P. R., Jackson, D. A. and Somers, K. M. (2005). How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Computational Statistics & Data Analysis* 49(4):974-997. Doi:10.1016/j.csda.2004.06.015



- Reddy, A. S. and Reddy, M. J. (2013). NDVI based assessment of land use land cover dynamics in a rainfed watershed using remote sensing and GIS. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4(12):87-93.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., Méx: Limusa. 504 pp.
- Sader, S. A. and Winne, J. C. (1992). RGB-NDVI colour composites for visualizing forest change dynamics. *International journal of remote sensing* 13(16):3055-3067.
- Santaella, W. (2013). Modelos espaciales de la dinámica de la vegetación en escenarios de cambio climático en el «Timberline» selva nublada-paramo de la vertiente norte de la Sierra Nevada de Mérida (Venezuela); escenario B1 y situación constante. *Revista de Teledetección* 39:63-82.
- Schwörer, C., Henne, P. D. and Tinner, W. (2014). A model-data comparison of Holocene timberline changes in the Swiss Alps reveals past and future drivers of mountain forest dynamics. *Global change biology* 20(5):1512-1526.
- Singh, C.P., Panigrahy, S. and Thaplyal, A. (2012). Monitoring alpine treeline shift in parts of the Indian Himalayans using remote sensing. *Current Science* 102(4):559-562.
- Soto, V., Yoshikawa, K. and Schörghofer, N. (2019). Climatic variation in the high-mountain of central Mexico: temperature and precipitation indices at the Nevado de Toluca volcano. *Atmósfera*. Doi:10.20937/ATM.52768
- Soto, V. y Delgado-Granados, H. (2020). Dos años de observaciones de temperatura superficial del aire y del suelo en la vertiente norte del volcán Pico de Orizaba, México. *Acta Universitaria* 30(1):1-16. Doi:10.15174/au.2020.2427



- Soto, V. y Delgado, H. (2020). Estimación de la temperatura del aire en la alta montaña mexicana mediante un modelo de elevación del terreno: caso del volcán Nevado de Toluca (México). *Ería. Revisa Cuatrimestral de Geografía* 2020(2):67-182. Doi:10.17811/er.2.2020.167-182
- Soto, V. (2023). Bedrock outcropping in the accumulation zone of the largest glacier in Mexico (Glaciar Norte of Citlaltépetl), as evidence of a possible accelerated extinction. *Journal of Mountain Science* 20(2):338-354.
- Soto, V. and Cervantes, J. (2023). The influence of mountainous relief on the vertical gradient of precipitation and pluvial zoning in the central slope of the Gulf of Mexico. *Singapore Journal of Tropical Geography* 44(1):112-129. Doi:10.1111/sjtg.12467
- Steinmann, V. W., Amezcua, L. A., Amezcua, Y. R., Méndez, S. M. V., Cárdenas, R. A. H. y Yanes, Y. A. M. (2019). La vegetación alpina mexicana: islas frías sobre las nubes. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. México, D.F., Méx: CONABIO. 20 pp.
- Turunen, M. and Latola, K. (2005). UV-B radiation and acclimation in timberline plants. *Environmental Pollution* 137(3):390-403. Doi:10.1016/j.envpol.2005.01.030
- Wang, T., Zhang, Q. B. and Ma, K. (2006). Treeline dynamics in relation to climatic variability in the central Tianshan Mountains, northwestern China. *Global Ecology and Biogeography* 15(4):406-415. Doi:10.1111/j.1466-822X.2006.00233.x
- Zaitunah, A., Ahmad, A. G. and Safitri, R. A. (2018). Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 126 (1), 012112. Doi:10.1088/1755-1315/126/1/012112



MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN EN ARROYO MORENO

Erika Michell Cazarín Luna³⁴², Itzel Galaviz Villa^{342*}, Arturo García Saldaña³⁴², Virginia Alcántara Méndez³⁴², Irving David Pérez Landa³⁴² e Isabel Araceli Amaro Espejo³⁴²

Resumen

La reserva ecológica Arroyo Moreno ubicada en el estado de Veracruz, pertenece a la cuenca del río Jamapa; su desembocadura se encuentra en los límites de los municipios de Boca del Río y Alvarado. Es un ecosistema que provee beneficios ambientales y económicos, sin embargo; esta zona ha sido impactada por actividades humanas perdiendo gran parte de su extensión total en los últimos años. El objetivo de este trabajo es determinar las concentraciones de materia orgánica y relacionar las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos superficiales de la reserva ecológica Arroyo Moreno con el porcentaje de materia orgánica de las fuentes puntuales de contaminación reportadas en la literatura. Se realizaron tres periodos de muestreo: temporada de lluvias, nortes y estiaje. De acuerdo con los resultados obtenidos, se registró mayor porcentaje de materia orgánica (20.48%) en el sitio P6 durante la temporada de lluvias, cercano al vertimiento puntual de aguas residuales industriales, localizado frente a la termoeléctrica Dos Bocas. El porcentaje de materia orgánica durante la temporada de lluvias se observó entre 4.99 y 20.48%, durante la temporada de nortes entre 2.84 y 16.99% y en temporada de estiaje entre 3.3 y 12.99%. Se realizó un análisis de comparación de medias con las concentraciones obtenidas y tomando concentraciones de MO de la literatura. Se aplicó la prueba de Kruskal Wallis y prueba de las medianas con $\alpha=0.05$. El valor de p del estadístico de Kruskal-Wallis fue de 0.066 y para la prueba de las medianas de 0.052; lo que indicó que la mayor parte de los puntos de muestreo corresponden a ambas clasificaciones de aguas residuales (urbanas e industriales), mientras que el punto de muestreo P2, en temporada de nortes no corresponden a la clasificación de aguas residuales industriales, sino a la clasificación de aguas residuales urbanas.

³⁴² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBoca). Laboratorio Multidisciplinario de Ciencias Ambientales, Laboratorio de Ecotecnologías. *Autor de correspondencia: itzelgalaviz@bdelrio.tecnm.mx



Palabras clave: Reserva Ecológica Arroyo Moreno, contaminación antropogénica, aguas residuales

Introducción

A nivel mundial, la contaminación de los ecosistemas acuáticos es uno de los principales problemas ambientales en los últimos años (Olguín *et al.*, 2010); la cual es originada por el vertimiento de desechos urbanos e industriales y la presión antrópica generada sobre los ecosistemas costeros (Canedo *et al.*, 2014). El estado de Veracruz se caracteriza por disponer de abundantes recursos hídricos en comparación con otros estados del país. La mayor parte de los ríos que cruzan con las poblaciones principales del estado reciben descargas de aguas residuales urbanas (AR-U) e industriales (AR-I) (Torres *et al.*, 2013). Estos desechos urbanos pueden ser de tipo físico, químico o biológico. De los principales constituyentes en el tratamiento de aguas residuales son los elementos inorgánicos disueltos, metales pesados, nutrientes y patógenos (Teixeira *et al.*, 2013).

A pesar de que los ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de reciclar los contaminantes de manera natural; la influencia antrópica altera los ciclos biogeoquímicos y aumentan las concentraciones de nutrientes y contaminantes, generando problemas de eutrofización, destrucción de ecosistemas y daños a la salud humana (Torres *et al.*, 2013). El enriquecimiento de nutrientes como nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales generalmente resulta en la aparición de floraciones de algas nocivas, deterioro de la calidad del agua, entre otros problemas ambientales y de salud humana (Yang *et al.*, 2017).

Los sedimentos almacenan información de la evolución del ecosistema en el que se encuentran y de las modificaciones que se generan a consecuencia de las actividades humanas, generándose indicadores ambientales como algunos contaminantes o el cambio de uso de suelo, que quedan registrados en los sedimentos (Díaz *et al.*, 2014). Debido a esto, los sedimentos pueden ser un medio de contaminación en las masas de agua, alterando el equilibrio ecológico y los ciclos biogeoquímicos que ocurren en los ecosistemas acuáticos (Canedo *et al.*, 2014). De acuerdo con Díaz *et al.* (2014), en zonas donde el sedimento acumulado no sufre de erosión, mezclado físico o bioturbación, la columna sedimentaria puede comportarse como un registro de cambios generados en el ecosistema acuático a través del tiempo.

La reserva ecológica “Arroyo Moreno” pertenece a la cuenca del río Jamapa, incluyendo al río Cotaxtla, cuenta con un área de 3,658 km² (Alvarez, 2013). Es una corriente de agua estuarina ubicada



en el área conurbada Veracruz, Boca del Río y Medellín (García *et al.*, 2019). A lo largo de la cuenca se incorporan sedimentos provenientes de procesos naturales como la erosión; además, es colector de desechos provenientes de descargas de aguas residuales domésticas e industriales (Alvarez, 2013).

De acuerdo con la literatura el porcentaje de materia orgánica reportado en aguas residuales de tipo industrial fluctúa entre el 9.09 y 10.22%, y en aguas residuales urbanas entre el 7.39 y 8.8% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentraciones de materia orgánica reportadas en la literatura empleadas para clasificar la fuente puntual de contaminación.

Tipo de Agua Residual	Materia Orgánica (%)	Referencia
Industrial	10.22	Pisani <i>et al.</i> (2013)
	10.68	García <i>et al.</i> (2016)
	9.09	Zhu <i>et al.</i> (2018)
Urbana	8.8	
	7.39	Bian y Zhu (2009)

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo: determinar la relación entre las concentraciones de materia orgánica, en los sedimentos superficiales de la reserva ecológica Arroyo Moreno y el reportado en aguas residuales industriales y urbanas.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la reserva ecológica “Arroyo Moreno” la cuál se ubicada en la cuenca baja del Río Jamapa, entre los municipios de Boca del Río y Medellín (Figura 1), en el estado de Veracruz (Alvarez, 2013).

Sitios de muestreo

Los sitios de muestreo (Cuadro 2) fueron seleccionados de acuerdo con la influencia del vertimiento de aguas residuales urbanas e industriales, vías de acceso y cercanía a los asentamientos humanos.

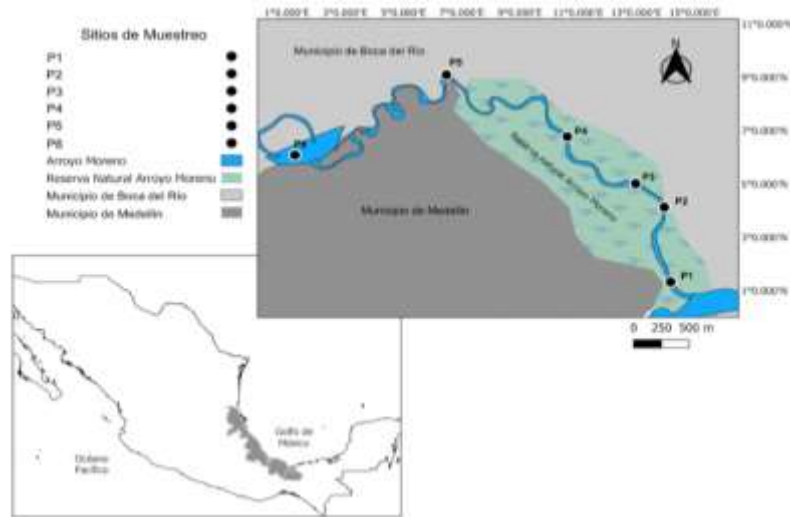


Figura 1. Ubicación del área de estudio y sitios de muestreo en la cuenca baja de Arroyo Moreno, Ver.

Cuadro 2. Ubicación de los sitios de monitoreo y tipo de FPC aledaña a los mismos, en las inmediaciones de la reserva ecológica “Arroyo Moreno”.

Sitio	Coordenadas	Clasificación de FPC	Localización
P1	19.1006000, -96.112080	Aguas Residuales Urbanas (AR-U)	Calle Río Jamapa
P2	19.1071833, -96.112583		Fracc. Tampiquera
P3	19.1092611, -96.114899		Salida DREN B
P4	19.1133667, -96.120416		Zona manglar
P5	19.1188167, -96.130183		Cárcamo de la Zamorana
P6	19.11175, -96.14238333	Aguas Residuales Industriales (AR-I)	Termoeléctrica Dos Bocas

Muestreo

La recolección de muestras se realizó durante las tres temporadas climáticas predominantes en Veracruz (nortes, estiaje y luvias); siguiendo el procedimiento descrito por la EPA (2001), en el manual técnico de métodos de recolección, almacenamiento y manipulación de sedimentos para análisis químicos y toxicológicos. Se recolectaron tres muestras simples por sitio de muestreo, en total se recolectaron 18 muestras de sedimentos superficiales a una profundidad no mayor de 15 cm con la ayuda de una pala metálica, se guardaron en bolsas de polietileno y se preservaron a una temperatura de 4°C hasta su análisis en laboratorio.



Análisis de materia orgánica

La determinación de materia orgánica se realizó por el método de pérdidas por ignición de acuerdo con Dean (1974). Se pesaron 2 g de muestra en crisoles de porcelana, se colocan en una mufla a 550°C durante una hora donde se registra su peso antes de ingresar a la mufla y después de la incineración para proceder a calcular la diferencia de peso con la siguiente formula:

$$C_1 - C_2 = (x) \text{ g} \quad (1)$$

Donde:

C1: Peso de la muestra antes de ingresar a la mufla (g)

C2: Peso después de la mufla (g)

Posteriormente se obtuvo el porcentaje de materia orgánica de acuerdo con el siguiente cálculo:

$$M.O = \frac{(C_1 - C_2) (100)}{2 \text{ g}} = (x) \% \quad (2)$$

Donde:

M.O: Materia orgánica en porcentaje (%)

C1: Peso de la muestra antes de ingresar a la mufla (g)

C2: Peso después de la mufla (g)

Análisis estadístico

Para relacionar las concentraciones de materia orgánica en los sedimentos superficiales de la reserva ecológica Arroyo Moreno, con el porcentaje de materia orgánica de las fuentes puntuales de contaminación reportadas en la literatura, se realizó lo siguiente: Con el software IBM® SPSS® V. 25; se realizó un análisis de comparación de medias aplicando la prueba de Kruskal Wallis y prueba de las medianas para muestras independientes, ambas con un $\alpha=0.05$; para establecer la relación entre los sitios de muestreo y los valores teóricos reportados en el Cuadro 1. Además, se realizó la prueba de las medianas con los mismos ajustes de alfa. Posteriormente, se ajustó el valor de alfa a 0.01, para ambas pruebas, con el objeto de identificar las categorías por pares del porcentaje de materia orgánica con los datos muestreados. Finalmente, se identificaron los puntos de muestreo que no coinciden con la clasificación de aguas residuales urbanas o urbanas.



Resultados y Discusión

El porcentaje de MO más elevado se presentó durante la temporada de lluvias, fluctuando entre 4.99 y 20.48%. Durante la temporada de nortes se observaron variaciones entre 2.84 y 16.99%; y en temporada de estiaje de 3.3 y 12.99% (Figura 2).

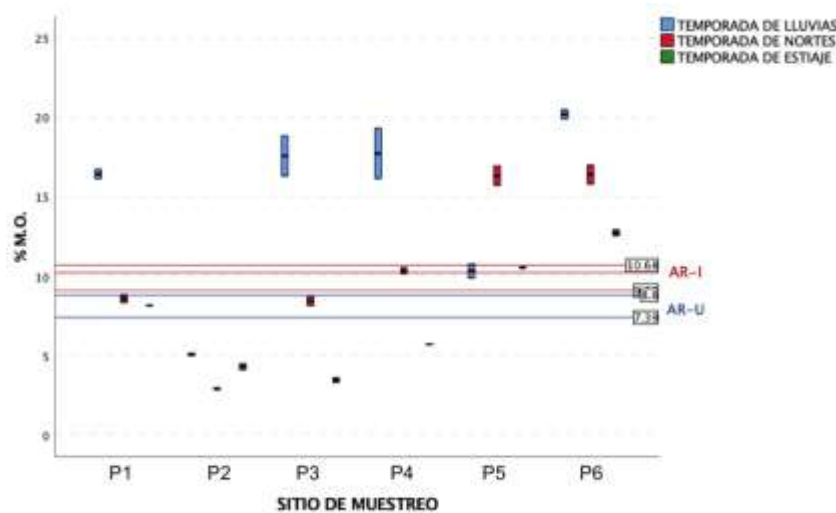


Figura 2. Porcentaje de MO por temporada y sitio de muestro en la zona de estudio. Las líneas horizontales denotan los valores teóricos de materia orgánica en AR-U y AR-I.

Se observó un incremento en las concentraciones de materia orgánica en el punto P6, el cual es influenciado por el vertimiento de aguas residuales de tipo industrial (AR-I) originadas por la planta termoeléctrica Dos Bocas; la cual descarga sobre el río Jamapa aguas residuales a altas temperaturas que fluctúan entre 35 y 40°C, según lo reportado por García *et al.* (2019). Esto indica que la descarga de aguas residuales industriales procedente de la termoeléctrica ejerce una presión antrópica que altera el equilibrio del ecosistema y en la reserva ecológica “Arroyo Moreno”.

Se encontraron variaciones significativas de MO entre la temporada de estiaje y nortes, en promedio de 7.47 a 10.49% respectivamente (Cuadro 3); debido a que durante el estiaje no se presentan aportes de sedimentos como en la temporada de lluvias, cuando éstos son fácilmente arrastrados hasta la columna de agua (García *et al.*, 2016).



Cuadro 3. Estadística básica de las concentraciones de materia orgánica en sedimentos superficiales por temporada, en los puntos de muestreo contemplados.

Estadístico	Materia orgánica (%)		
	Lluvias	Nortes	Estiaje
Media	14.5542	10.4967	7.4733
Mediana	16.235	9.50	6.920
Desviación Estándar	5.5130	4.9655	3.4955
Varianza	30.393	24.656	12.218
Rango	15.49	14.15	9.62
Mínimo	4.99	2.84	3.3
Máximo	20.48	16.99	12.92

Se observaron altas concentraciones de MO en el punto cercano a la zona de manglar (P4), lo que se relaciona con la alta cantidad de hojarasca observada en el sitio de muestreo (Zhang *et al.*, 2016), aunado a la influencia del vertimiento de aguas residuales en zonas aledañas. Para establecer la relación entre la materia orgánica de los sedimentos superficiales de la reserva ecológica “Arroyo Moreno”, y la concentración reportada en la literatura de acuerdo con el tipo de agua residual (Cuadro 1), se realizó lo siguiente: se empleó un análisis de comparación de medias Kruskal Wallis y una prueba de las medianas para muestras independiente ($\alpha=0.05$); obteniéndose valores de p de 0.066 y 0.052, respectivamente, lo que indica que los porcentajes de materia orgánica en los sitios de muestreo corresponden tanto a aguas residuales urbanas como a industriales.

Por lo anterior, se realizó un ajuste al intervalo de confianza al 99%, para identificar diferencias entre sitios, temporadas y tipo de agua residual ($p, < 0.0$). Como resultado ($\alpha=0.01$), se obtuvo que el sitio P2, el porcentaje de materia orgánica obtenido en temporada de nortes no corresponde a la clasificación de aguas residuales industriales, sino a la clasificación de aguas residuales urbanas (Figura 3).

De acuerdo con Gómez *et al.* (2006), las concentraciones de materia orgánica varían significativamente entre temporadas, tal como se observó en esta investigación, ya que en temporada de lluvias se registraron las concentraciones más altas de MO. Esto se debe, a que existe una relación entre la concentración de MO y la intensidad de los procesos que ocurren en la columna de agua, tales como: descargas fluviales, erosión o productividad biológica (Gómez *et al.*, 2006). La materia orgánica en el sedimento (MO) está compuesta de una mezcla heterogénea de residuos de plantas y animales en

diferentes estados de descomposición (Sánchez *et al.*, 2005): Se observó que a lo largo de “Arroyo Moreno” hay una amplia extensión de mangle (*Rhizophora mangle*), lo que influye en los altos niveles de concentración de MO en la zona (Zhang *et al.*, 2016).

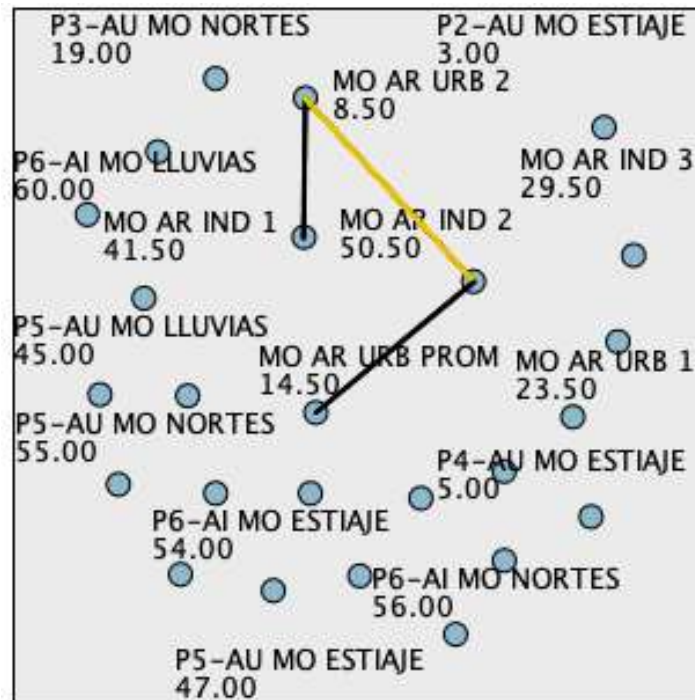


Figura 3. Comparación entre sitios de muestreo. Cada nodo muestra el rango promedio de muestras del sitio.

Esto se ha asociado a la presencia de limos y arcillas, y a una concentración de hasta 80% de MO (Paramasivam *et al.*, 2015). Lo que ha sido confirmado con los resultados de este estudio, donde en Arroyo Moreno predomina los sedimentos limosos.

Según lo reportado por Paramasivam *et al.* (2015), el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales aportan sólidos en suspensión, principalmente MO y detergentes; como se mencionó anteriormente, los sitios de muestro fueron seleccionados con base en la influencia del vertimiento de aguas residuales, lo que explica las altas concentraciones de MO en los sedimentos superficiales. Esto también concuerda con lo reportado por Reyes y Barreto (2011), ya que el origen y la dinámica de la MO tiene una fuerte dependencia de la actividad biológica del sedimento, como de los cambios en el medio ambiente y los efectos de las actividades humanas.



Conclusiones

Se registró mayor porcentaje de MO en el sitio P6 durante la temporada de lluvias, cercano al vertimiento puntual de aguas residuales industriales (AR-I), localizado frente a la Termoeléctrica Dos Bocas. Se obtuvo evidencia de la influencia que ejercen las FPC sobre la concentración de MO en los sedimentos superficiales de la reserva ecológica “Arroyo Moreno”. La temporada en la que se registraron mayores porcentajes de materia orgánica fue la temporada de lluvias, debido a los procesos sedimentológicos que ocurren durante este periodo estacional. Se observó predominancia de limos en las muestras de sedimento analizadas y altas concentraciones de materia orgánica en esta fracción del mismo.

La mayoría de los puntos de muestreo corresponden a ambas clasificaciones de aguas residuales (urbanas e industriales) a excepción del punto de muestreo P2, el cual en temporada de nortes el contenido de materia orgánica disminuye a una concentración similar al del agua residual urbana.

Agradecimientos

Al TecNM por el financiamiento otorgado al proyecto “Evaluación de la calidad de los sedimentos superficiales y su relación con las fuentes puntuales de contaminación en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno” No. 14867.22-P, en su convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica.

Literatura Citada

Alvarez, J. M. 2013. Análisis del estado actual de conservación del área natural protegida Arroyo Moreno, (Boca del Río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica. Tesis de doctorado. Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 88 p.



- Canedo, L., Ruiz, A. y Chi-Ayil, J. 2014. Diagnóstico de la contaminación por metales pesados en sedimento superficial de la laguna de términos, Campeche: una aproximación estadística. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica* 7(2):95–104.
- Dean, W. E. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Research* 44(1):242–248.
- Díaz, M., Sanchez, J. A., Bolaños, Y., Ruiz, A. C., Gómez, M., Morabito, R. y Alonso, C. 2014. Un siglo de sedimentación y contaminación por Hg en la desembocadura del río Sagua la Grande (Cuba). *Ciencias Marinas* 40(4):321–337.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2001. *Methods for Collection, Storage, and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual*(EPA-823-B-01-002)
- García, A., Mendoza, J. M. y López, R. C. 2019. Historical approach of the fish species composition in arroyo moreno, Veracruz, Mexico. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología* 12(45):895-908.
- García, J., Bautista, M. E., Pérez, S. G. y Carrillo, M. A. 2016. Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible. *Revista de Energía Química y Física* 3(7):15-26.
- Gómez, J. A., Fuentes, M. V., Leone, O. y Vega, C. A. 2006. Características geoquímicas de los sedimentos superficiales de la Bahía de Panamá. *Tecnociencia* 8(1):113-132.
- Olguín, E. J., González-portela, R. E., Sánchez-galván, G. y Zamora, J. E. 2010. Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal* 1(2):178–190.



- Paramasivam, K., Ramasamy, V. y Suresh, G. 2015. Impacto de las características de los sedimentos en la concentración de metales pesados y su nivel de riesgo ecológico de los sedimentos superficiales del río Vaigai, Tamilnadu, India. *Spectrochimica Acta Parte A: espectroscopia molecular y biomolecular* 137:397-407.
- Reyez G., M. y Barreto, L. 2011. Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Epsilon* 1(16):31-45.
- Sánchez, B., Ruiz, M. y Ríos, M. M. 2005) Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical* 55(4):507-534.
- Teixeira, G., Sánchez, I. A., Gebara, Dall'Aglio Sobrinho, M. y Matsumoto, T. 2013. Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* (67):172-182.
- Torres, B., González, G., Rustrián, E. y Houbron, E. 2013. Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29(3):135-146.
- Yang, Y., Gao, B., Hao, H., Zhou, H. y Lu, J. 2017. Nitrógeno y fósforo en sedimentos en China: una evaluación y revisión a escala nacional. *Ciencia del Medio Ambiente Total* 576:840-849.
- Zhang, Z., Juying, L., Mamat, Z. and QingFu, Y. 2016. Sources identification and pollution evaluation of heavy metals in the surface sediments of Bortala River, Northwest China. *Ecotoxicology and environmental safety* 126:94-101.



USO DE IMAGEJ® ANALIZADOR DE IMÁGENES PARA EVALUAR LA TOLERANCIA DE HONGOS FILAMENTOSOS AL GLIFOSATO

Laura Marcela Durán Molina^{343*}, Rosalba Argumedo Delira^{343,344}, Oscar García Barradas³⁴⁴, María Esther Díaz Martínez³⁴³, Mario J. Gómez Martínez³⁴⁵, Guillermo Mendoza Cervantes^{343,346} y Ninfa Jiménez Acosta³⁴⁷

Resumen

El glifosato es un herbicida multisistémico que ha sido empleado por más de 40 años alrededor del mundo. Diversos estudios han descrito el impacto que genera en el medio ambiente, en la salud y su persistencia en el suelo. Asimismo, se ha realizado investigación en la búsqueda de alternativas para la sustitución de este herbicida y su remediación. Con respecto a la biorremediación del glifosato hay pocos estudios que describan la tolerancia de cepas fúngicas al glifosato, esto puede deberse a la variabilidad en el crecimiento, el cual no es homogéneo dificultando la medición del porcentaje de inhibición en medio sólido. Por lo cual, el objetivo de este estudio es emplear la herramienta de análisis de imágenes ImageJ® 1.53k en la determinación de la tolerancia de hongos filamentosos en medio sólido contaminado con dosis crecientes de glifosato. Para este estudio, se seleccionó la localidad de Bella Esperanza, en Coatepec, Ver., donde los agricultores de la zona aplican desde hace 15 años el glifosato como principal control de arvenses. En dos parcelas donde se cultiva limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) se aislaron seis cepas fúngicas identificadas como *Mucor* sp. (L1H1), *Paecilomyces* sp. (L1H3), *Aspergillus* sp. (L2H1) y tres cepas de *Trichoderma* sp. (C1H3, C1H4, C1H7). Estas cepas se probaron en cajas Petri con agar papa dextrosa (PDH) adicionado con dosis crecientes de glifosato (0, 1000, 2500 y 5000 mg/L). En los resultados obtenidos con el analizador de imágenes, se observa que todas las cepas fúngicas crecieron en todas las concentraciones, sin embargo, en la concentración más elevada de 5000 mg/L es notable la inhibición en las cepas de *Aspergillus* sp. (L2H1) y *Trichoderma* sp. (C1H3) siendo de 35% y 76% respectivamente. La disminución de crecimiento fue directamente proporcional con respecto a la concentración del contaminante en la mayoría de los casos.

³⁴³ Posgrado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana. *laudmol85@gmail.com

³⁴⁴ Instituto de Química Aplicada, Universidad Veracruzana.

³⁴⁵ Departamento Producción y Sanidad Vegetal, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima, Colombia.

³⁴⁶ Centro de Investigación en Micología Aplicada, Universidad Veracruzana.

³⁴⁷ Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.



Las seis cepas fúngicas son candidatas idóneas para estudiar su capacidad *in vitro* de la degradación del glifosato. Asimismo, el uso de ImageJ® 1.53k facilitó la determinación del porcentaje de inhibición de las cepas fúngicas.

Palabras clave: microorganismos, biorremediación, herbicida

Introducción

El glifosato ha sido el herbicida más empleado desde su lanzamiento al mercado en la década de 1970 por la empresa Monsanto® (ahora Bayer®). Se aplica en más de 200 países (Valavanidis, 2018) como México, en donde se emplea principalmente para la eliminación de arvenses en maíz (35%), cítricos (14%), sorgo (11%), algodón (5%), caña de azúcar (4%) y café (3%) (Rosales, 2020); sin embargo, a raíz de su uso prolongado y prácticamente monopolizado en la industria de cultivos transgénicos, el glifosato ha impactado en diferentes compartimentos ambientales, conllevando al desequilibrio en la homeostasis del suelo, amenazando la existencia de organismos polinizadores y afectando la salud humana (Ansari *et al.*, 2019).

En estudios realizados por Primost *et al.* (2017) se concluye que es necesario actualizar la ficha técnica del glifosato ya que se ha encontrado persistencia en el suelo hasta por tres años una vez que se deja de aplicar. Estudios realizados en microcosmos indican que en suelos con adición prolongada de glifosato existe una reducción en la biodiversidad de especies, así como en la biomasa de algas, cianobacterias (fijadoras de nitrógeno) y bacterias del género *Acidobacteria*. En contraste, el género *Proteobacteria* tiende a aumentar en suelos expuestos al glifosato en comparación con aquellos sin glifosato (Sura *et al.*, 2012; Newman *et al.*, 2016).

Por otro lado, el informe publicado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC, por sus siglas en inglés) determina que el glifosato clasificarse como probable cancerígeno para seres humanos, lo cual abrió un debate a nivel internacional que sigue vigente (IARC, 2017). Al respecto y atendiendo a las solicitudes en materia de Derechos Humanos de diferentes agrupaciones medio ambientales, el gobierno de México publicó en diciembre de 2020 un decreto en miras de eliminar el uso del glifosato, sus diferentes formulaciones y semillas transgénicas en un periodo de 4 años (SEGOB, 2020).



Por lo anterior, el desarrollo de tecnologías para la recuperación de suelos contaminados con glifosato debe ser el complemento para las alternativas de manejo de arvenses que se están proponiendo a nivel nacional. Dentro de estas tecnologías se encuentra la biorremediación, estrategia metodológica que reúne diferentes procesos biológicos para la reducción de contaminantes en suelo o agua mediante la actividad metabólica de microorganismos y/o plantas (Chibueze *et al.*, 2016). Para encontrar microorganismos que ayuden en los procesos de biorremediación de glifosato se realizan ensayos de tolerancia y degradación microbiana. Los ensayos de tolerancia microbiana son el primer acercamiento para encontrar cepas con potencial para probarse posteriormente en ensayos de degradación y finalmente las mejores cepas microbianas con mayor capacidad de degradación se prueban en los procesos de biorremediación.

No obstante, al trabajar con aislamientos microbianos obtenidos de suelos, estos suelen contener una gran biodiversidad de hongos filamentosos que da como resultado un gran número de cepas viables para los ensayos de tolerancia. Esto se traduce en una considerable inversión de tiempo y recursos pues se requiere de realizar diferentes etapas como son: selección y preparación de diversos materiales, medios de cultivo, así como de soluciones de esporas por cada cepa seleccionada. Por lo cual, el uso de analizadores de imágenes como herramienta para determinar áreas de crecimiento microbiano, es una alternativa que ofrece ventajas técnicas para la realización de mediciones semicuantitativas. Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio fue emplear la herramienta de análisis de imágenes ImageJ® 1.53k en la determinación de la tolerancia de hongos filamentosos en medio sólido contaminado con dosis crecientes de glifosato.

Materiales y Métodos

Lugar de estudio y toma de muestras de suelo

El presente estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrícolas y del Instituto de Química Aplicada de la Universidad Veracruzana, campus Xalapa. El sitio de estudio se ubica en la localidad de Bella Esperanza, municipio de Coatepec, Veracruz (Figura 1). Se eligieron dos parcelas (1.14 y 1.10 ha) de limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka) donde se aplica, de 2 a 3 veces por año, el herbicida Takle® como único control de arvenses en la dosis máxima indicada en la etiqueta del producto (8 L/ha). Para el muestreo se utilizó la técnica en zig-zag, en la cual se delimitaron 22



cuadrantes de 30x30 cm por parcela, los cuales se deshieron, eliminaron piedras, hojas, ramas y cualquier otra interferencia para el muestreo y se procedió a cavar hasta una profundidad de 30 cm. Posteriormente se obtuvo la rodaja de tierra de aproximadamente 5 cm de espesor y se depositó en una cubeta limpia. Al finalizar el muestreo de los 22 cuadrantes, se colocó el material recabado en una lona donde se tomaron 1.5 kg de suelo libres de piedras, plantas u otros restos que podrían interferir, conformando la muestra compuesta. Este procedimiento se realizó por triplicado por cada parcela. Estas muestras se conservaron en hielo (4°C) durante el desplazamiento hacia el laboratorio.



Figura 1. Ubicación de las parcelas de muestreo en la localidad de Bella Esperanza (19°25'31.42"N, 96°52'7.91"O). Referencia: Modificado de Google Earth® (2021).

Aislamiento e identificación de cepas fúngicas

Para el aislamiento de las cepas fúngicas de las muestras de suelo de las parcelas seleccionadas, se utilizó la técnica de diluciones seriadas, colocando 100 µL de las diluciones 10^{-1} a la 10^{-4} en cajas de Petri con papa dextrosa agar (PDA) con 400 mg/L de glifosato (herbicida Takle360®), todo por triplicado. Posteriormente, las cajas se colocaron en la incubadora a 26-28°C en periodos de 10 a 15 días. Después de este periodo se seleccionaron las cepas fúngicas de rápido y mediano crecimiento para su purificación mediante el método de pases empleando el medio PDA con 200 mg/L de glifosato. Posteriormente las cepas fúngicas fueron almacenadas en tubos Eppendorf con agua estéril a temperatura ambiente para su identificación macroscópica, microscópica y molecular. La identificación macroscópica y microscópica se hizo tomando como referencias las claves taxonómicas de Domsch *et al.* (2007).



Determinación de tolerancia usando el analizador de imágenes ImageJ®

La metodología para evaluar la tolerancia de las cepas fúngicas en medio sólido es una modificación de la utilizada por Argumedo-Delira *et al.* (2009). Se preparan cajas Petri con medio PDA con diferentes concentraciones de glifosato: 0, 1000, 2500 y 5000 mg/L. Posteriormente, cada caja de Petri se inoculó con una rodaja (mediante un cortador de diámetro de 0.75 ± 0.03 mm) de cada cepa fúngica. Los tratamientos se incubaron en oscuridad a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ por nueve días, tomando fotografías a los 3, 5, 7 y 9 días, todos los tratamientos se realizaron por triplicado. Las fotografías se tomaron en un Smartphone ZTE Blade A51 con sistema Android 11 y cámara de 13 megapíxeles. Se tomaron las siguientes consideraciones para tomar las fotos: 1) Las fotografías a las cajas Petri con crecimiento fúngico fueron tomadas a la misma distancia y con la misma iluminación, empleando un trípode y 2) Se colocó una regla en todas las fotografías que sirvió de escala para el programa ImageJ®. Finalmente se determinó el crecimiento fúngico utilizando como variable de medición el área del crecimiento de los hongos con el uso del analizador de imágenes ImageJ®.

Análisis estadístico

Para la determinación de tolerancia de las cepas fúngicas ante las cuatro concentraciones de glifosato: 0, 1000, 2500 y 5000 mg/L, con el analizador de imágenes ImageJ®, se utilizó un diseño experimental completamente al azar empleando una función factorial 6x4 (seis cepas fúngicas y cuatro concentraciones de glifosato). Cada tratamiento tuvo tres repeticiones. Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$) con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2022).







Resultados y Discusión

Aislamiento e identificación de cepas fúngicas

El muestreo dio como resultado seis cepas fúngicas que se identificaron hasta género mediante su caracterización morfológica y microscópica (Cuadro 1). La cepa identificada como *Mucor* sp. mostró rápido crecimiento (2 a 5 días), las 3 cepas de *Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp. tuvieron crecimiento medio (7 a 15 días), mientras que la cepa de *Paecilomyces* sp. es de lento crecimiento (>15 días).



Cuadro 1. Caracterización morfológica de las cepas fúngicas aisladas.

Clave	Forma	Elevación	Margen	Textura	Superficie	Imagen
L1H1 <i>Mucor</i> sp.	Circular	Elevada/limitada	Desflecado	Filamentosa	Plegada	
L1H3 <i>Paecilomyces</i> sp.	Irregular	Plana/extendida	Liso	Aterciopelada	Sectorizada	
L2H1 <i>Aspergillus</i> sp.	Irregular	Plana/extendida	Desflecado	Aterciopelada	Sectorial radial	
C1H3 <i>Trichoderma</i> sp.	Irregular	Plana/extendida	Ondulado	Aterciopelada	Sectorizada	
C1H4 <i>Trichoderma</i> sp.	Irregular	Plana/limitada	Liso	Aterciopelada	Plegada	
C1H7 <i>Trichoderma</i> sp.	Irregular	Plana/extendida	Ondulado	Aterciopelada	Radial	

El uso del glifosato en el medio PDA permitió obtener cepas fúngicas tolerantes hasta por 400 mg/L, lo cual indica que existen mecanismos de adaptabilidad por la presencia y uso de este plaguicida en las prácticas agrícolas de la zona. De acuerdo con Góngora-Echeverría *et al.* (2019), la presencia del glifosato en suelos arcillosos y limosos es mayor debido a la fuerte adsorción que presenta la molécula con estas superficies, especialmente los óxidos de hierro. Estas características concuerdan con el tipo de suelo de las parcelas seleccionadas, el cual es arcilloso. Los microorganismos del suelo pueden desarrollar diferentes respuestas ante ambientes extremos (temperatura, pH, falta de nutrientes, humedad, etc.), desde mecanismos de tolerancia hasta mecanismos de resistencia. Los primeros son respuestas temporales que posee dentro de su sistema de forma natural; mientras que los segundos son modificaciones a nivel de genoma producto de un proceso complejo de adaptación a las condiciones estresoras permanentes (Biagianti-Risbourg *et al.*, 2013).

Debido a la enorme biodiversidad de microorganismos que habitan en el suelo, la introducción de una variable excluyente como lo es la adición del contaminante desde el aislamiento de los microorganismos, ayuda a reducir la cantidad de cepas fúngicas viables. Asimismo, mediante una









observación cualitativa podemos observar el efecto del glifosato en la concentración más elevada del experimento, donde se puede apreciar el efecto inhibitorio generado. Los hongos a diferencia de las bacterias son más resistentes a medios estresantes y contaminados, ya que tienen una diversidad de mecanismos que los hacen capaces de obtener nutrientes de diferentes fuentes y adaptarse a ambientes extremos (Eman *et al.*, 2013).

Tolerancia fúngica usando el analizador de imágenes ImageJ®

El uso del programa ImageJ® en la medición del crecimiento de las cepas fúngicas, ha ayudado en cepas que no crecen de forma homogénea y que no esporulan. Tal es el caso de *Paecilomyces* sp., que presenta un crecimiento heterogéneo, al igual que las cepas de *Trichoderma* sp. (C1H4 y C1H7), las cuales muestran bordes irregulares y espacios vacíos como se observa en el Cuadro 2. Este comportamiento en el crecimiento de este tipo de hongos complica hacer las mediciones de forma manual.

Cuadro 2. Comportamiento de seis cepas fúngicas ante la concentración de glifosato de 5000 mg/L.

<i>Mucor</i> sp.	<i>Paecilomyces</i> sp.	<i>Aspergillus</i> sp.	<i>Trichoderma</i> sp. C1H3	<i>Trichoderma</i> sp. C1H4	<i>Trichoderma</i> sp. C1H7
					

Además, con el programa ImageJ® se arrojan mediciones con mayor precisión, reduciendo el error de cuando se realizan las mediciones de manera manual. Como se observa en la Figura 2, se facilita medir el crecimiento de los hongos ante diferentes concentraciones de glifosato.

Con respecto a los resultados obtenidos con el analizador de imágenes, se observa que todas las cepas fúngicas crecieron en todas las concentraciones, sin embargo, en la concentración más elevada de 5000 mg/L es notable la inhibición en las cepas de *Aspergillus* sp. (L2H1) y *Trichoderma* sp. (C1H3) siendo de 35 y 76%, respectivamente. La disminución de crecimiento fue directamente proporcional con respecto a la concentración del contaminante en la mayoría de los casos. Esto concuerda con lo reportado por Arfarita *et al.* (2013), donde usaron una concentración de 10 mmol de glifosato (1690 mg/L), la cual es menor al experimento presentado. Por otro lado, *Aspergillus* sp. mostró una mayor



tolerancia con respecto a lo reportado por Eman *et al.* (2013), quienes reportan que el género *Aspergillus niger*, *A. flavus* y *A. terreus*, mostraron inhibición entre el 45 al 52%, a la misma concentración.

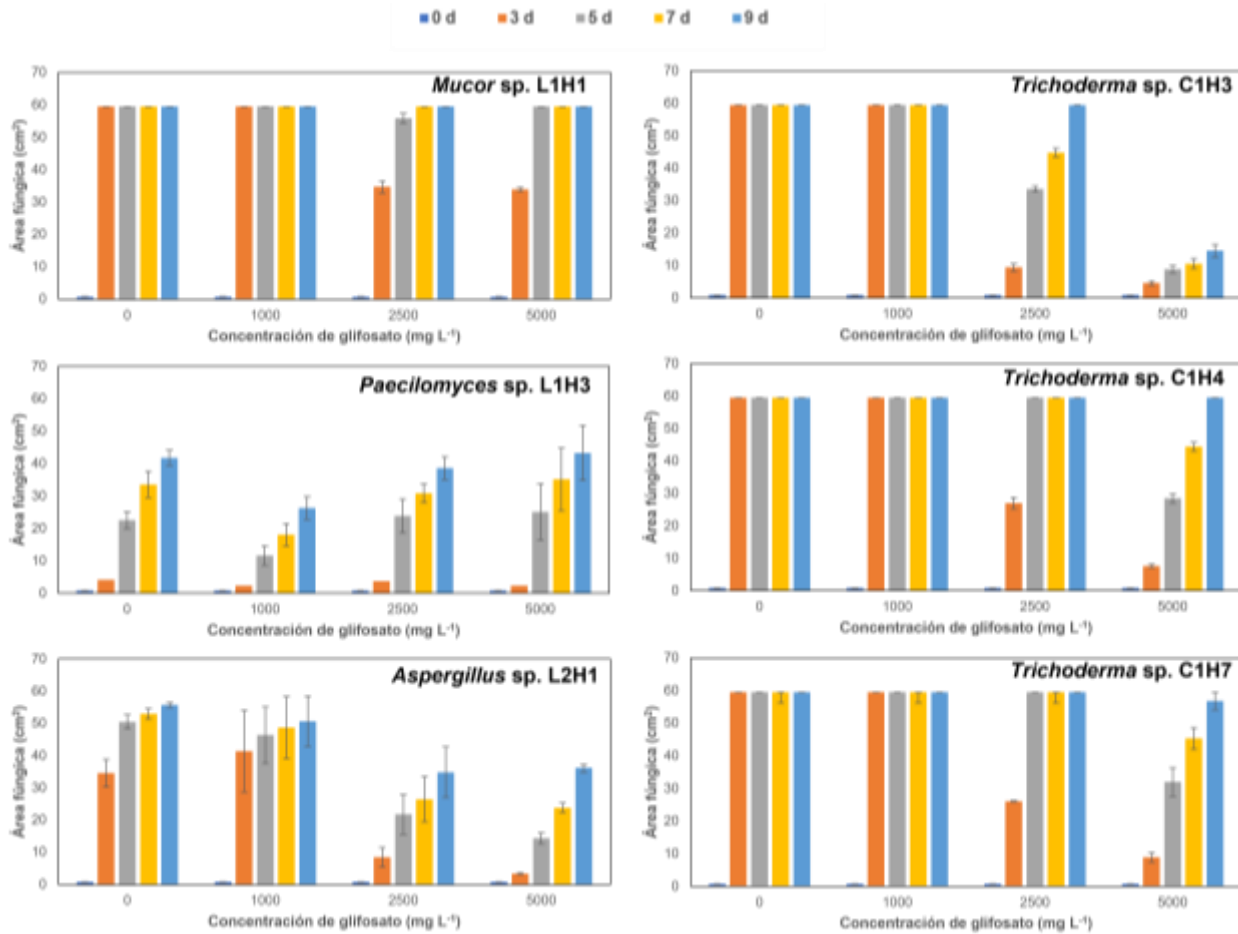


Figura 2. Respuesta de las cepas fúngicas ante dosis creciente de glifosato con respecto al tiempo a $28 \pm 2^\circ\text{C}$ (Media \pm error estándar, $n=3$).

Por otro lado, la cepa de *Paecilomyces sp.*, muestra un crecimiento tardío con respecto a las demás cepas, esto es debido a que su crecimiento es lento por naturaleza propia, lo que sí se puede observar es un comportamiento particular con respecto al resto de los hongos y es que, a la concentración de 1000 mg/L hay una reducción del crecimiento del 37% con respecto al control sin glifosato mientras que el tratamiento de 2500 mg/L obtuvo un 8% de inhibición y a 5000 mg/L fue un 4% mayor que al control sin glifosato.



Debido al uso continuo y prolongado del herbicida, los microorganismos aislados en la parcela de limón persa presentan crecimiento en el medio modificado con glifosato debido a la capacidad de generar mecanismos de resistencia ante fenómenos estresantes en su hábitat conocido como bioestimulación (Kryuchkova *et al.*, 2014; Villarreal-Chiu *et al.*, 2012). Las respuestas que desarrollan los microorganismos frente a la exposición de contaminantes químicos incluyen proteínas de estrés y factores de transcripción, bombas de expulsión, alteración en la composición de la membrana, metabolismo energético adaptado al estrés, desintoxicación química, entre otros (Nicolau *et al.*, 2010). Los microorganismos aislados de suelos con exposición al glifosato son los que han desarrollado mecanismos para la degradación de dicha sustancia (Bento *et al.*, 2016; Malviya *et al.*, 2015; Ermakova *et al.*, 2010). Por lo tanto, las cepas fúngicas aisladas muestran características de tolerancia que las hacen candidatas para aplicarse en experimentación de degradación de glifosato *in vitro*.

Conclusiones

El uso del programa ImageJ® en el análisis del crecimiento de las cepas fúngicas provee de una alternativa rápida y fácil de usar, con la cual se obtienen valores cuantitativos de tolerancia en medio sólido. La técnica empleada dio por resultado la selección de cepas tolerantes al glifosato hasta 5000 mg/L, tales como *Mucor* sp. L1H1 y *Trichoderma* sp. C1H4, que pueden utilizarse como candidatas para la siguiente etapa de experimentación, que es la determinación de degradación de glifosato *in vitro*.

Agradecimientos

Se agradece a la Facultad de Ciencias Agrícolas y del Instituto de Química Aplicada de la Universidad Veracruzana, campus Xalapa y al CONAHCYT.



Literatura Citada

- Ansari, M., Hatami, B. and Khavidak, S. S. 2019. Toxicity, biodegradability and detection methods of glyphosate; the most used herbicide: A systematic review. *Journal of Environmental Health Sustainable Development* 4(2):731-743.
- Arfarita, N., Imai, T., Kanno, A., Yarimizu, T., Xiaofeng, S., Jie, W. *et al.* 2013 The Potential use of *Trichoderma viride* strain FRP3 in biodegradation of the herbicide glyphosate, *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 27(1):3518-3521.
- Argumedo-Delira, R., Cruz-Díaz, J., Carrillo-González, R., Carrillo-Castañeda, G., Rojas, R., González-Ramírez, P. *et al.* 2009. Tolerancia y solubilización de cobre por rizobacterias aisladas de sitios contaminados con elementos potencialmente tóxicos. *Terra Latinoamericana* 27(1):17-25.
- Bento, C., Xiaomei-Yang, Gort, G., Sha-Xue, Dam, R. v., Zomer, P. *et al.* 2016. Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness. *Science of the total Environment* 572(1):301-311.
- Biagiante-Risbourg, S., Paris-Palacios, S., Mouneyrac, C. and Amiard-Triquet, C. 2013. Pollution acclimation, adaptation, resistance, and tolerance in ecotoxicology. P. 883-892. *In: J. F. Fe´rard, C. Blaise (eds.), Encyclopedia of Aquatic Ecotoxicology.*
- Chibueze-Azubuiké, C., Blaise-Chikere, C. & Chijioke-Okpokwasili, G. 2016. Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. *World J Microbiol Biotechnol*, 1-18.
- Domsch, K.H.; Gams, W.; Anderson, T. H. 2007. *Compendium of Soil Fungi*. 2nd ed. IHW-Verlag: Eching, Germany. 672 p.



- Eman, A., Abdel-Megeed, A., Areej Suliman, A., Sadik, M. and Sholkamy, E. 2013. Biodegradation of glyphosate by fungal strains isolated from herbicides polluted-soils in Riyadh area. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2(8):359-381.
- Ermakova, I., Kiseleva, N., Shushkova, T., Zharikov, M., Zharikov, G., and Leontievsky, A. 2010. Bioremediation of glyphosate-contaminated soils. *Applied Microbiology Biotechnology*, 585-594.
- Góngora-Echeverría, V., Martin-Laurent, F., Quintal-Franco, C., Lorenzo-Flores, A., Giacomán-Vallejos, G. and Ponce-Caballero, C. 2019. Dissipation and adsorption of 2, 4-D, atrazine, diazinon, and glyphosate in an agricultural soil from Yucatan state, México. *Water, air, soil pollution*, 1-15.
- Kryuchkova, Y., Burygin, G., Gogoleva, N., Gogolev, Y., Chernyshova, M., Makarov, O., *et al.* 2014. Isolation and characterization of a glyphosate-degrading rhizosphere strain, *Enterobacter cloacae* K7. *Microbiological Research* 169:99-105.
- IARC (International Agency of Research for Cancer). 2017. Some organophosphate insecticides and herbicides. International Agency for Research on Cancer, IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon: IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
- Malviya, B., Jadeja, V., Sherathiya, H., Parakhia, M., Tomar, R., Vaja, M., *et al.* 2015. Bioremediation of glyphosate by bacteria isolated from glyphosate contaminated soil. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 1-5.
- Newman, M., Hoilett, N., Lorenz, N., Dick, R., Lilies, M., Ramsier, C., *et al.* 2016. Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *Science of the Total Environment*, 155-160.



- Nicolaou, S.A., Gaida, S.M. & Papoutsakis, E.T. 2010. A comparative view of metabolite and substrate stress and tolerance in microbial bioprocessing: From biofuels and chemicals, to biocatalysis and bioremediation. *Metabolic Engineering* 12:307-331.
- Primost, J., Marino, D., Aparicio, V. C. and Carriquiriborde, O. 2017. Glyphosate and AMPA, “pseudo-persistent” pollutants under realworld agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution*, 1-9.
- Rosales-Robles, E. 2020. El uso de glifosato en México y su impacto ambiental. Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza A.C. Texcoco, edo. México. Méx. Pp. 1-43.
- SAS, Intitute Inc. (2022). The SAS systems for windows, ver. 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2020. Decreto para sustituir gradualmente el uso del glifosato y derivados en México. Diario Oficial de la Federación. DOF:31/12/2020. CdMx, México.
- Sura, S., Waiser, M., Tumber, V., Lawrence, J. C. and Glozier, N. 2012. Effects of glyphosate and two herbicide mixtures on microbial communities in prairie wetland ecosystems: A mesocosm approach. *Journal of Environmental Quality* 41(3):732-743.
- Valavanidis, A. 2018. Glyphosate, the most widely used herbicide. Health and safety issues. Why scientists differ in their evaluation of its adverse health effects. *Scientific Reviews* 1:1-40.
- Villarreal-Chiu, J., Quinn, J. and McGrath, J. 2012. The genes and enzymes of phosphonate metabolism by bacteria, and their distribution in the marine environment. *Frontier Microbiology* 3(19):19.



ESTABLECIMIENTO Y EVALUACIÓN DE UN RODAL SEMILLERO DE *Cajanus cajan* EN UN CLIMA AW₂

Manuel Villarruel Fuentes^{348*}, Ignacio Garay Peralta³⁴⁹, Rómulo Chávez Morales³⁴⁹, Luis Alberto Montes Gutiérrez³⁴⁹, José Carlos Rosado Santamaría³⁵⁰, Juan Miguel Aguilar Cervantes³⁵⁰ y Carlos Eduardo Huerta Velázquez³⁵⁰

Resumen

Preservar la biodiversidad local es un objetivo prioritario dentro de los enfoques agroecológicos, no solo por un interés productivo, sino particularmente para mitigar el efecto del cambio climático. Las condiciones edafoclimáticas han cambiado bruscamente en las últimas tres décadas, al grado de modificar la expresión genética de la flora nativa e introducida. La erosión genética es un fenómeno presente en las dinámicas agrobiológicas, afectando sus enfoques y modelos. Con base en ello se realizó un estudio exploratorio-descriptivo dentro de un rodal artificial de *Cajanus cajan*. Para su establecimiento se colectó semilla de un espécimen localizado en condiciones de acahual, en la zona central costera de Veracruz. Se sembraron 28 plantas en un diseño en líneas. Se evaluó peso de la semilla, número de semillas por vaina, porcentaje de supervivencia, presencia de plagas y enfermedades, altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT) y número de ramas primarias (NRP). Los resultados mostraron una $\bar{X}=149.719\pm 24.58$ cm; 11.946 ± 3.88 mm y 35.00 ± 6.38 para AP, DT y NRP, semejantes a los percentiles medios (50) encontrados, con coeficientes de variación de 16.41, 32.47 y 18.22% respectivamente, con r que van de 0.709** a 0.0785**. Se concluye en la viabilidad de establecer bancos de germoplasma de *Cajanus cajan* con material genético local, manejado bajo condiciones de sitio.

Palabras clave: banco germoplasma, frijol de árbol, trópico subhúmedo, agroecología

³⁴⁸ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. *dr.villarruel.fuentes@gmail.com

³⁴⁹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

³⁵⁰ Estudiante de la carrera de Biología del Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.



Introducción

La posibilidad de colectar germoplasma de varios árboles identificados como sobresalientes, procedentes de masas forestales naturales, es el punto de partida para propagar una especie y conservar una amplia base genética, así como para impulsar una estrategia tendiente a aumentar los rendimientos de plantaciones forestales (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2021). Sin embargo, las condiciones edafoclimáticas en los trópicos húmedos y subhúmedos del continente americano se han modificado ostensiblemente en las últimas décadas, debido principalmente al cambio climático. Diversos estudios destacan que el cambio climático registrado en los últimos 30 años ha tenido un impacto en la distribución, abundancia, fenología y fisiología de muchas especies (Jarma-Orozco *et al.*, 2012). Situación que se ha visto complejizada por la contaminación de suelos y su empobrecimiento, la polución química y biológica del aire, pero sobre todo por la pérdida de biodiversidad. En muchos sentidos el sector agropecuario es altamente dependiente del clima y, por lo tanto, vulnerable a los cambios del mismo (CEDRSSA, 2019).

Bajo estos contextos, la respuesta ha sido diferenciada en función a los campos de desempeño profesional, destacándose el impulso que en la agronomía ha tenido el enfoque agroecológico. Desde esta perspectiva interdisciplinar, las estrategias y acciones han sido conducidas hacia los modelos sistémicos de entender e intervenir en la realidad biológica, bajo propósitos productivos y criterios sustentables. Como producto de ello, actualmente existen propuestas orientadas hacia la recuperación de suelos marginales, el establecimiento de sistemas agro y silvopastoriles, el rescate y aprovechamiento de germoplasma nativo, la identificación de flora promisoría de interés agroecosistémico, derivando todo ello en modelos biosociales, ejemplificados por los servicios ecosistémicos que estos nuevos esquemas proveen.

Desde este marco conceptual es que se hace necesario validar la expresión biológica que las especies vegetales tienen frente a estos nuevos escenarios edafoclimáticos, particularmente de aquellas que ya han mostrado en la práctica agrícola su potencial productivo, como es el caso de *Cajanus cajan* (frijol de árbol o de palo, gandúl, quinchoncho), el cual es una leguminosa multipropósito, de alto valor nutritivo, que se cultiva en países de Asia, África, islas del Caribe y el sur de América. Se puede sembrar bajo esquemas intensivos como cultivo único o asociado con otros cultivos en pequeñas superficies. Debido a sus hábitos de crecimiento los granos secos pueden comercializarse durante todo el año. Además de poder emplearse como forraje y abono verde, su riqueza proteica, de almidones,



fibra y fitonutrientes lo hace una excelente fuente alimenticia para la población humana (Navarro *et al.*, 2014).

La importancia de *Cajanus cajan* estriba en que es una de las 92 especies que abarca el sistema de semillas agrícolas de calidad declarada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2003). Dicho sistema fue diseñado como estrategia para aumentar la disponibilidad de semillas de calidad en la comunidad agrícola mundial, publicándose sus directrices en 1993 y revisándose para republicación en 2003 (FAO, 2003).

Respecto a las condiciones climáticas recomendadas para su cultivo se estima en temperatura máxima de 32°C y una temperatura mínima de 22°C, bajo una precipitación entre 600 a 1500 mm y una altitud óptima de 0 a 800 msnm (Arenas-Rubio *et al.*, 2022), prefiriéndose suelos francos, profundos, pobres, buen drenaje, pH 5.5 – 7.8 (Castillo-Gómez *et al.*, 2016; Cedano, 2006; Saladín, 1990). Sin embargo, los acelerados cambios climáticos han ido afectando la fisiología de las plantas, al grado de provocar problemas de erosión genética, dificultando a futuro la solución de problemas limitantes de la producción agrícola, reportándose importantes reducciones en los géneros *Arachis* y *Solanum* (Thomas *et al.*, 2004). Bajo este contexto es necesario contar con cultivos y ganaderías adaptables a una amplia gama de condiciones de producción, en lugar de aquellos que tengan un conjunto limitado de condiciones climáticas (Nelson *et al.*, 2009).

A pesar de los beneficios que aporta esta leguminosa, el problema principal de *C. cajan* y su desarrollo en campo, es que existen muchas líneas y accesiones, encontrándose que la mayoría son de floración indeterminada o semideterminada, con un subsistema de reproducción de 60% autógamo y una probabilidad de cruce por medios naturales de 40% (Cannon *et al.*, 2009; Francis, 2003; Young *et al.*, 2003). De aquí la necesidad de validar su expresión biológica (agromorfología), bajo determinadas condiciones de suelo y clima.

Con base en ello, se estableció un rodal artificial de una accesión de *Cajanus cajan*, colectada dentro de un acahual, en la zona centro de Veracruz, México, iniciándose su manejo con fines de conservación, evaluación y propagación (banco de germoplasma), dentro de una Unidad Productora de Germoplasma Forestal, localizado en un clima AW₂.



Materiales y Métodos

Ubicación geográfica y clima

El estudio se realizó en el Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Ver., México, dentro del área denominada: Unidad Productora de Germoplasma Forestal. La cual se define como un área establecida con rodales, plantaciones o viveros, con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo y/o fenotipo que posee bien identificada su procedencia, usada para la producción de frutos, semillas o material vegetativo (CONAFOR, 2015), localizada a 19° 24' 42.8" N y 096° 21' 28.0" W, ubicado a 8 msnm, con una precipitación media anual de 1017.7 mm y una temperatura media anual de 25.8°C, con un clima AW₂.

Diseño y establecimiento del rodal (banco de germoplasma)

La semilla fue colectada directamente en campo, mediante cosecha manual, dentro de un espécimen localizado en condiciones de acahual dentro de la zona central de Veracruz, México (Figura 1). La semilla fue sembrada sin ningún tratamiento previo, dentro de una charola germinadora.



Figura 1. Semilla de *Cajanus cajan* colectada en espécimen localizado en acahual.

Verificada la presencia de dos hojas verdaderas en las plántulas, se colocaron en bolsas negras de un kilo de capacidad, en sustrato elaborado con suelo y humus activo (52.59% p/p), en proporción 50:50, hasta alcanzar 20 cm de altura, momento en que fueron trasladadas a campo, mediante siembra completa (planta y sustrato) (Figura 2).



Figura 2. Semilla de *Cajanus cajan*, siembra en charola germinadora y planta sembrada en bolsa (de izquierda a derecha).

Se contó con 28 plantas sembradas en tres líneas, a una distancia de 1 m entre planta y planta y de 1.5 m entre líneas (Figura 3), con una densidad de siembra de 6,667 plantas/ha. El suelo se identificó como arcillo-arenoso, con 1.4% de materia orgánica y un pH de 7.0.



Figura 3. Diseño de siembra en líneas de *Cajanus cajan*.

Evaluación y variables medidas

El periodo de evaluación se realizó a los cinco meses de establecido el rodal en campo, al inicio de la primera floración. Las variables medidas fueron: Peso de la semilla (g), número de semillas por vaina, supervivencia en condiciones de campo (%), presencia de insectos plagas (% de plantas plagadas), presencia de enfermedades (% de plantas enfermas), altura de planta (cm del ras del suelo a la yema



apical), diámetro de tallo (mm, a 20 cm del ras del suelo) y número de ramas primarias. Dichas variables representan la respuesta biológica de la planta a las condiciones edafoclimáticas propias del sitio, constituyéndose en la primera evidencia de la calidad de las plantas y su adaptación a dichas condiciones. Se empleó un vernier electrónico (Carbon Fiber Composites Digital Caliper), con resolución 0.1mm/0.01, así como flexómetro metálico en escala métrica decimal.

Manejo del material biológico

A partir de la siembra en sitio se realizaron riegos de apoyo cada tercer día, en proporciones que fueron de 5 litros por planta al inicio, hasta llegar a los 25 litros desde la segunda mitad del periodo. Cada semana se eliminaron manualmente las arvenses y se monitoreó diariamente la presencia de plagas o enfermedades.

Resultados y Discusión

La observación visual permitió identificar la presencia de áfidos (pulgones) en 4 plantas (14.28%), condición controlada en todo el rodal con la aplicación de Praletina (1.00g/kg) combinada con Fenotrina (1.25 g/kg) durante tres días consecutivos. No se detectaron enfermedades fúngicas, bacterianas o virales durante el periodo.

El número de semillas por vaina y el peso promedio de la semilla (g) expresaron una $\bar{X}=4.2\pm 0.9$ (CV=21.42%), con moda y mediana = 4.0, así como $\bar{X}=0.130\pm 0.06$ g (CV=46.15%) con moda de 0.10g y mediana de 0.13g, respectivamente. A pesar de la alta dispersión mostrada, sobre todo para el peso de las semillas, las medidas de tendencia central indican homogeneidad en cada variable. La variabilidad presente se atribuye a que la semilla no fue seleccionada con base en atributos morfológicos, debido al poco material con que se contó, condición que puede afectar la calidad fisiológica de la semilla (Correa *et al.*, 2013), expresada en sus parámetros fisiológicos, tales como el porcentaje de germinación, que para este caso fue del 77.77%.

Para las variables asociadas a su expresión biológica (Cuadro 1), se consideraron 26 plantas de 28 disponibles, eliminándose dos mediciones por identificarlas como datos atípicos. Se encontró una $\bar{X}=149.719\pm 24.58$ cm; 11.946 ± 3.88 mm y 35.00 ± 6.38 para altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas primarias (variables dendrométricas), respectivamente. Semejantes a los percentiles



medios (50) encontrados. Esto es evidencia de un desarrollo armónico de las plantas (indicadores de la calidad de la planta), tal como lo confirma los coeficientes de variación, los cuales fueron del orden de 16.41%, 32.47% y 18.22% respectivamente.

Cuadro 1. Medidas de tendencias central y Dispersión estimadas en las variables de estudio.

		Altura de Planta (cm)	Diámetro de Tallo (mm)	Número de Ramas Primarias
N		26	26	26
Media		149.719	11.946	35.000
Mediana		147.250	11.150	34.500
Moda		142.0 ^a	10.3 ^a	33.0 ^a
Std. Desviación		24.5812	3.8890	6.3812
Varianza		604.237	15.124	40.720
Mínimo		104.0	6.4	23.0
Máximo		195.0	23.3	48.0
Percentiles	25	134.750	9.875	31.250
	50	147.250	11.150	34.500
	75	167.000	13.825	38.250

a. Existen varias modas. Se muestra el valor más pequeño.

Se debe considerar que, en un rodal coetáneo, con una especie creciendo bajo similares condiciones de sitio, existe una relación no lineal entre la altura de los árboles y su correspondiente valor del diámetro. Estas relaciones son afectadas por la calidad de sitio y la densidad del rodal. Por ejemplo, la curva de alturas de rodales jóvenes en sitios buenos en general tiene una pendiente más fuerte, con edades mayores y en sitios malos, la pendiente se aplanan (Arias-Aguilar, 2004).

El crecimiento de los árboles es el resultado de su tendencia al crecimiento ilimitado (dependiente de su potencial biótico, actividad fotosintética, entre otros) y de las restricciones impuestas por el medio (competencia con otros individuos, proceso de envejecimiento). Si bien el análisis de estos factores es complejo, se acepta que la interacción espacial con los árboles cercanos (denominada competencia) tiene el mayor peso en el proceso (Álvarez-Taboada *et al.*, 2004). La mayor variación presente en el diámetro de tallo, se atribuye a la velocidad de crecimiento de la planta (altura), la cual es inversamente



proporcional: a mayor crecimiento, menor diámetro del tallo, condición propia de las arbóreas, asociada a la densidad de siembra (competencia entre plantas). Ello se aprecia en los mínimos (6.4 mm) y máximos (23.3 mm) mostrados para esta variable.

Las correlaciones lineales entre variables (Cuadro 2) mostró asociaciones importantes entre ellas (r), del orden de 78.5% y 73.1% para altura de planta con diámetro de tallo y número de ramas primarias, respectivamente; y de 70.9% para diámetro de tallo y número de ramas primarias. Estos resultados permiten estimar que el diámetro de tallo explica solo en un 50.26% (r^2) el número de ramas primarias, mientras que la misma variable explicaría el 61.62% (r^2) de la altura de planta.

Cuadro 2. Correlaciones lineales entre las variables de estudio.

		Altura de Planta (cm)	Diámetro de Tallo (mm)	Número de Ramas Primarias
Altura de Planta	Correlación de Pearson	1	.785**	.731**
Diámetro de Tallo	Correlación de Pearson	.785**	1	.709**
Número de Ramas Primarias	Correlación de Pearson	.731**	.709**	1

** Correlación significativa al α 0.01.

Al parecer existe un mayor efecto de la altura de planta sobre el número de ramas primarias ($r^2=53.43\%$). Se destaca la alta significancia mostrada en todos los coeficientes de correlación.

Estas evidencias son relevantes si se considera el establecimiento de rodales con fines forrajeros, sobre todo cuando se establece la relación entre el número de ramas, la altura y el diámetro como antecedentes para determinar la producción de biomasa aérea, atributos morfológicos comúnmente medidos para determinar la calidad de la planta (Quiroz *et al.*, 2009); pero además de servir para la alimentación humana, el forraje puede ser utilizado para la alimentación animal, debido a sus altos niveles de proteína (16 a 22%) y una digestibilidad de la materia seca de aproximadamente del 59% pudiendo ser suministrado en materia verde en pastoreo o como forraje seco en corral (Carvajal-Tapia *et al.*, 2016; Peters *et al.*, 2003; Trómpiz *et al.*, 2001).



Respecto a las temperaturas presentadas durante el periodo de evaluación, estas oscilaron entre 21.97°C y 28.60°C mostrándose una curva ascendente en el tiempo (Figura 4) a media que se transitó de primavera a verano, lo que se expresó en un estrés calórico que explica el rápido crecimiento de las plantas y su floración, así como el aborto floral observado. Al parecer las plantas aceleraron su ciclo biológico ante las adversas condiciones. Sin embargo, la condición del rodal mostró que el rango de temperatura se asume como un diferencial térmico que puede tolerar, así como una temperatura mínima permisible antes de que haya paro fisiológico o muerte celular (INTAGRI, 2015). En este sentido las referencias reportan un lapso de 150 días de la plantación a la floración (Facholi, 2023), lo que coincide con lo observado en el rodal.

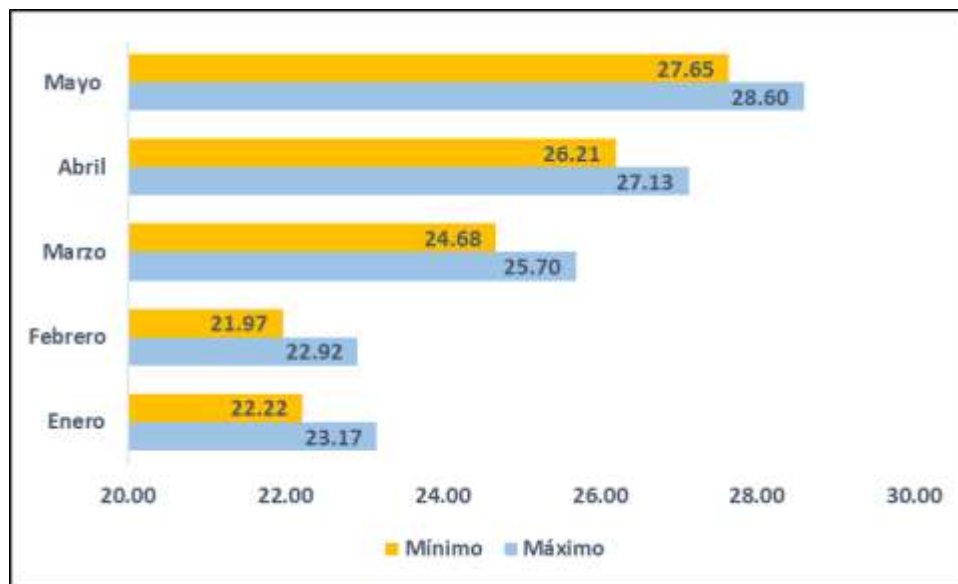


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas promedio (°C) durante el periodo de evaluación (2023). Vivero Agroforestal Pecuario. Estación meteorológica del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván.

Aunque actualmente existen métodos más sofisticados para determinar la calidad de las plantas, basados en las características morfológicas y fisiológicas de las plantas (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2021), debe considerarse que la evaluación dendrométrica es también un método efectivo para ello, en tanto ambos estudios se basan en indicadores de su capacidad para sobrevivir y crecer en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, que depende, en gran medida, de la calidad genética del germoplasma utilizado y de las condiciones proporcionadas a las plantas durante su producción en



vivero: sustratos, envases, nutrición, riego, sanidad y manejo integral de dichos factores, lo cual se consideró en el presente estudio.

Conclusiones

La evidencia demostró la viabilidad de hacer colectas de germoplasma en condiciones de campo (acahual), existiendo un potencial genético nativo que debe ser aprovechado en el establecimiento de bancos de germoplasma, tal como se mostró en el presente estudio.

La calidad de la plantación se asume como apropiada en términos de las condiciones en que se estableció, bajo diseño en líneas y con alta densidad de siembra.

Cajanus cajan demostró ser una planta que tolera diferenciales de temperatura por arriba de los 28°C, con tendencias al alza, siempre y cuando se realicen riegos de apoyo durante su etapa de crecimiento.

Se recomienda evaluar las etapas de floración y fructificación en rodales a distintas densidades de siembra, realizándose estudios morfométricos de vaina y semilla.

Literatura Citada

Álvarez-Taboada, M.F., Marqués-González, R., Fernández-Manso, A. y Castedo-Varela. 2002. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección de *Pinus radiata* D. Don en el bierzo (León). *Cuad. Soc. Esp. Cien.* 18:129-133.

Arenas R. I., Del Toro A. J. M., Moreno P. S., ... *et al.* 2022. Manual técnico para la producción de semilla de guandul (*Cajanus cajan* (L.) Huth) en Colombia. Santa Marta, Colombia. AGROSAVIA. 85 p.

Arias-Aguilar, D. 2002. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal (2):1-11.



- Cannon, S. B., May, G. D. & Jackson, S. A. 2009. Three sequenced legume genomes and many crop species: rich opportunities for translational genomics. *Journal Plant of Physiology* 151(3):970–977.
- Carvajal-Tapia J. I., Martínez-Mamian C. A, Truque-Ruiz N. Y. 2016. Digestibilidad de la harina de guandúl (*Cajanus cajan*) en alimentación de pollos de engorde. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(1):87-94.
- Castillo-Gómez, C., Narváez-Solarte, W., & Hahn-von-Hessberg, C. M. 2016. Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. (*Fabaceae*). *Boletín Científico del Centro de Museos* 20(1):52-62.
- Cedano, J. 2006. Guía técnica cultivo de guandul. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF). https://www.academia.edu/28739611/Guía_Técnica_Cultivo_de_Guandul
- CEDRSSA. 2019. El cambio climático y el sector agropecuario en México. Cámara de Diputados, LXIV Legislatura. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/12El%20cambio%20clim%C3%A1tico.pdf>
- Correa, E., Espitia, M., Araméndiz, H., Murillo. O. y Pastrana, I. 2013. Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L.f. En: La conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 16(2):379-389. Facholi. 2023. *Guandu Mandarin*. <http://www.grupofacholi.com.br/es/folheto/?id=196>
- Francis, J. K. 2003. *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Documento preparado por el Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Georgia, USA.
- INTAGRI. 2015. El Estrés Vegetal Parte I: Estrés por Altas Temperaturas. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/estres-vegetal-parte-1-estres-por-altas-temperaturas>.



Jarma-Orozco, A., Cardona, A. C. y Hermes, A. T. 2012. Fisiología plantas y cambio climático. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 15(1):63-76.

Navarro, V. C. L., Restrepo, M. D. y Pérez, M. J. 2014. El guandul (*Cajanus cajan*) una alternativa en la industria de los alimentos. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial 12(2):197-206.

Nelson, C., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T. *et al.* 2009. Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias IPFRI. www.fao.org

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2003. Semillas de calidad declarada. <http://www.fao.org/3/a0503s/a0503s02.pdf>

Peters, M., Horacio L., Schomidt A., Hincapié B. 2003. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.

https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=OxcbAyx8UFsC&oi=fnd&pg=PA47&dq=PETERS+M,+Horacio+L,+Schmidt+A,+Hincapi%C3%A9+B.+2003.+Especies+forrajeras+multiproposito&ots=M0K2cB_IJ_&sig=J8VIDa1Y_dFRk3BNYzrotZ02XTA#v=onepage&q&f=false

Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., Casanova, K & Soto, H. 2009. Calidad de planta y certificación. Centro tecnológico de la planta forestal. <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v12-n1-5-indicadores-de-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>

Rodríguez-Ortiz, G., José-Hernández, Y., Enríquez-del Valle, J. R. y Campos-Angeles, G. V. 2021. Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. CIENCIA ergo-sum, 28(1). <https://doi.org/10.30878/ces.v28n1a7>



Saladín, F. 1990. Cultivo de guandul. Fundación de Desarrollo Agropecuario de República Dominicana.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C. *et al.* 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427(6970):145-148.

Trómpiz J., Ventura M., Esparza, D., Higuera, A., Padrón, S. y Aguirre J. 2001. Efecto de la sustitución parcial del alimento balanceado por harina de follaje de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp), sobre el comportamiento productivo en cerdos en etapa de engorde. *Revista Científica (FCV-LUZ)* 11(5):391-396.

Young, N.D., Mudge, J., Ellis, TH.N. 2003. Legume genomes: More than peas in a pod. *Current Opinion in Plant Biology* 6(2):199-204.



EVALUACIÓN DEL RIESGO POR ESCORRENTÍA, ASOCIADOS A CICLONES TROPICALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Claudio Hoyos Reyes^{351*}, Uriel Antonio Filobello Niño³⁵¹, Ángel Emmanuel Zúñiga Tovar³⁵², María Inés Mota Gomez³⁵¹ y Luis Renato Bello Delgado³⁵¹

Resumen

La cuenca del Río Ídolos, localizada en el estado de Veracruz, presenta en la parte baja inundaciones por lluvias y en diversas ocasiones asociadas a ciclones tropicales. Por lo que, el objetivo fue evaluar la dinámica del riesgo de escorrentía superficial a partir de eventos de precipitación originados por ciclones tropicales, utilizando el modelo hidrológico HEC-Hydrologic Modeling System. Se trabajó con la red de estaciones climatológicas obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional e hidrométrica obtenidas del Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas, ambas pertenecientes a Conagua. Para los cálculos de parámetros y variables del modelo hidrológico se utilizaron los datos de lluvia-escorrentía de 12 eventos de precipitación dentro del periodo de 1984 – 2014. Se tomó en consideración las lluvias asociadas a ciclones tropicales reportados por el Servicio Meteorológico Nacional. Para determinar cambios en la capacidad de escorrentía-infiltración de los suelos para diferentes periodos, se utilizó el método hidrológico del Número de Curva. Los valores de Número de Curva fueron establecidos con base a la cobertura de uso de suelo, vegetación, así como las propiedades físicas de los suelos (edafología y textura); se pudo determinar cambios en el proceso de lluvia-escorrentía de la cuenca. Para crear los escenarios de cambio climático de la escorrentía, se trabajó con la base de datos del Modelo de Circulación General Geophysical Fluid Dynamic Laboratory de los Estados Unidos. Para el riesgo de inundación se determinó con la información de la escorrentía superficial de la cuenca y los eventos de lluvia intensa originada por ciclones tropicales. A los resultados del modelo hidrológico se aplicó la estadística de prueba del coeficiente de determinación, que mostró un ajuste entre datos observados versus simulados de 88.51%, respaldando la aplicabilidad del modelo hidrológico para simular, diagnosticar y/o predecir la escorrentía superficial. En cuando al escenario de cambio climático de la escorrentía generalmente presenta una

³⁵¹ Facultad de Instrumentación Electrónica, Ciencias Atmosféricas, Universidad Veracruzana. * choyos@uv.mx.

³⁵² Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.



tendencia a disminuir en la zona de estudio. Finalmente se tiene que la cuenca del Río Ídolos fue evaluada mayormente con un nivel de riesgo de medio a alto.

Palabras clave: número de curva, simulación hidrológica, peligro hidrológico, vulnerabilidad, ciclones tropicales

Introducción

Se han desarrollado diversas metodologías para tratar de entender el proceso generador del riesgo por inundaciones (Grigg, 2023; Arnal *et al.*, 2023; Rubinato *et al.*, 2019), este tipo de estudios concentra su mayor esfuerzo en analizar la dinámica del peligro (lluvias intensas), limitando la utilidad de las acciones de reducción y mitigación del riesgo de desastres, debido al desconocimiento del contexto de vulnerabilidad en que los excesos de escorrentía presentan.

Puesto que, en la región costera del Golfo de México, el modelo de desarrollo económico asociado con el crecimiento de centros urbanos y la necesidad de mayores áreas agrícolas (Mas *et al.*, 2004) han contribuido con el deterioro ambiental de la región. En este proceso de transformación aunado a las lluvias asociados a los ciclones tropicales, favorece la generación de escorrentía superficial y con ellos desbordamiento de ríos e inundaciones en la región costera (Bonasia y Ceragene 2021; Zúñiga, 2018).

Debido a esta condición y a las características hidrológicas y orográficas existentes de la región hidrológica 28 de la cuenca del Río Papaloapan, los eventos de inundación son frecuentes en esta región central del estado de Veracruz (Tejeda, 2006). Aunque, la temporada de lluvias intensas y ciclones tropicales (junio-noviembre) está claramente definida por la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz, (Gobierno del Estado de Veracruz, 2022), es importante evaluar el impacto de las lluvias intensas en las cuencas hidrológicas a través de estudios que reflejen cambios en la dinámica de la escorrentía superficial con fines de monitorear comportamientos durante la temporada de ciclones tropicales en función del riesgo. Por lo todo lo anterior, el objetivo es evaluar el riesgo de inundaciones generado por la escorrentía superficial en la cuenca del Río Ídolos, como resultado de eventos de lluvia intensa asociados a ciclones tropicales. De esta forma, se busca proponer elementos clave que puedan ser utilizados como herramientas para la adaptación ante el cambio climático, a partir del diseño de



escenarios que aporten información sobre el comportamiento actual y futuro de la escorrentía superficial en la región de estudio (EWC III, 2006).

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La Subcuenca del Río Ídolos drena un área de 600.8 km², pertenece a la cuenca del Río Actopan, que a la vez pertenece a la Región Hidrológica número 28 de Papaloapan. La subcuenca del Río Ídolos, de ahora en adelante, cuenca para fines prácticos se redelimitó de acuerdo con la ubicación de la estación hidrométrica Los Ídolos. La figura 1, muestra el área de estudio modificada, se tomó en cuenta la necesidad de una corrección en el contorno de todos aquellos ríos cuya escorrentía no está cuantificada por la estación hidrométrica.

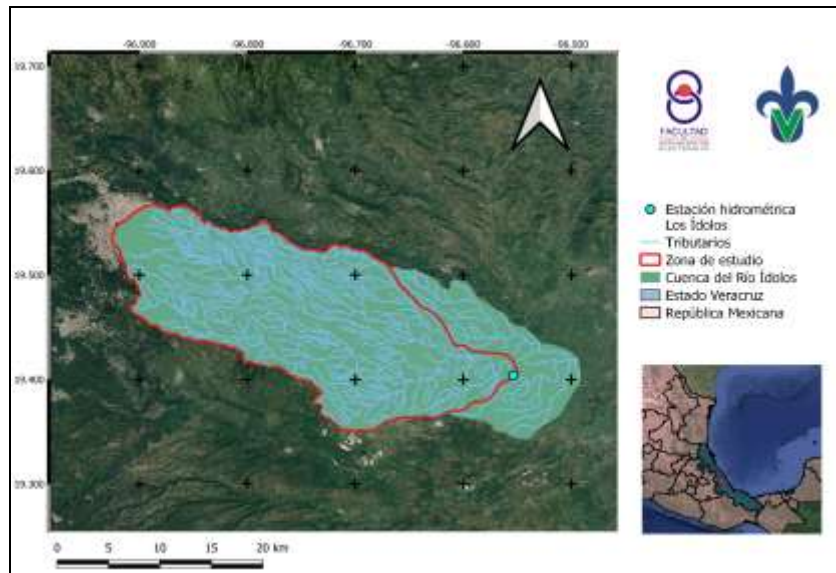


Figura 1. Cuenca del Río Ídolos, su redelimitación y la estación hidrométrica.

Base de datos

Del banco nacional de datos de aguas superficiales fue posible obtener la base de datos con los registros de gasto diario correspondientes a la estación hidrométrica Los Ídolos (Conagua, 2022). Estos registros, se compararon con información de eventos de precipitación (tormentas), para identificar la



magnitud de la esorrentía directa registrada durante 30 años (1984-2014). Mientras que, los registros de precipitación se obtuvieron del banco de datos bajo resguardo del Servicio Meteorológico Nacional. Para estimar la precipitación espacial promedio, se utilizó el método de polígonos de Thiessen. En figura 2 se muestra la distribución espacial de las estaciones climatológicas.

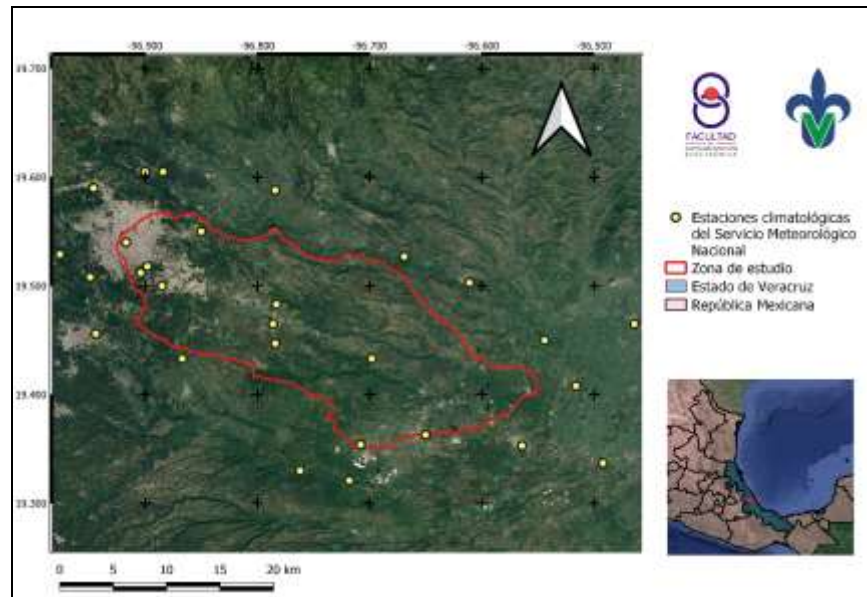


Figura 2. Estaciones climatológicas de la zona de estudio.

Aparte, para la identificación de ciclones tropicales contemplando su fecha, duración y reportes, se consultó la base de datos de DesInventar, principalmente para los municipios de Xalapa, Actopan y Emiliano Zapata (DesInventar, 2022).

Sistema de modelado hidrológico

El modelo utilizado fue el HEC-HMS, creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de la Armada de los Estados Unidos, para simulación de esorrentía superficial. Es un tipo de modelo de lluvia-esorrentía, donde los parámetros de entrada son los componentes que representan factores meteorológicos como la precipitación promedio de la cuenca, además, cuenta con módulos adicionales que permiten determinar las pérdidas por infiltración mediante el método de Número de Curva, a través de variables, como la pendiente, área de la cuenca, longitud del cauce principal, tiempo de concentración, entre otras (Wałęga, 2013). La integración de estas variables, constantes y parámetros permiten la caracterización idónea de la zona de estudio y la obtención de resultados confiables que puedan ser comparados con los registros observados (Mohamed, 2020).



Número de curva

El número de curva (NC), un método desarrollado por el Servicio de Conservación del Suelo, ahora Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS). Se caracteriza por estimar la cantidad de lluvia que se infiltra en el suelo y la cantidad de escorrentía superficial que es generada, considerando diversos episodios de lluvia. El método estima la precipitación en exceso como función de la precipitación acumulada, vegetación, uso de suelo y edafología (Shukur, 2017). La estimación del NC representativa de toda la cuenca, se usó el promedio ponderado, considerado cada una de las áreas de la vegetación, uso de suelo y edafología.

Escenarios de cambio climático

Se trabajó con la base de datos del Modelo de Circulación General GFDL-CM3 (Geophysical Fluid Dynamic Laboratory) de los Estados Unidos, debido a la posición geográfica de la cuenca, que pertenece a Norte América (INECC, 2017) y las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP, por sus siglas en inglés) de RCP 4.5 y RCP 8.5 de los periodos 2015-2039, 2045-2069 y 2075-2099.

Modelo clásico de riesgo

Para identificar los niveles de riesgo sobre la cuenca del Río Ídolos, se utilizó un modelo “clásico”, partiendo de combinar información de peligrosidad (H) y vulnerabilidad (V) (Haer *et al.*, 2017; Ritter *et al.*, 2020; Singh *et al.*, 2020). En cuando al peligro hidrológico, los valores fueron determinados por la escorrentía directa en mm obtenido para cada una de las tormentas en el modelo hidrológico HEC-HMS, debido a que las unidades en mm permiten homogeneizar el estudio, al comparar la escorrentía con la precipitación registrada en la cuenca.

En cuando a la vulnerabilidad ambiental, se incorporó a la cuenca del Río Ídolos como un elemento de riesgo, en medida del proceso de transformación del territorio, por cambio en la cobertura y uso del suelo, que han contribuido con el aumento de escorrentía y, han impactado en la población ante la ocurrencia de eventos intensos de lluvia de origen ciclónico. Se consideró la magnitud determinada por el NC para establecer un índice de vulnerabilidad que oscilará entre 0 y 1, con la finalidad de realizar la evaluación con el modelo clásico de riesgo más simplificado. Por lo que se estandarizó el NC con la siguiente ecuación (Guzmán, 2022):

$$X' = \left(\frac{x}{x_{min}} \right) / \left(\frac{x_{max}}{x_{min}} \right) \quad (1)$$

Donde:

X' = Indicador estandarizado



x = Valor del NC que será estandarizado

x_{max} , x_{min} = Valores extremos en la serie de datos (1 y 100)

Matriz de riesgo

Se elaboró una matriz de riesgo (Figura 3) que involucró las variables del modelo clásico de riesgo (peligro hidrológico y vulnerabilidad ambiental), que permitió obtener diferentes niveles de riesgo originados por la escorrentía superficial. Se clasificaron cinco niveles de riesgo tomando como base el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT, 2022). Los niveles de riesgo determinados por el SIAT-CT que se utilizaron son:

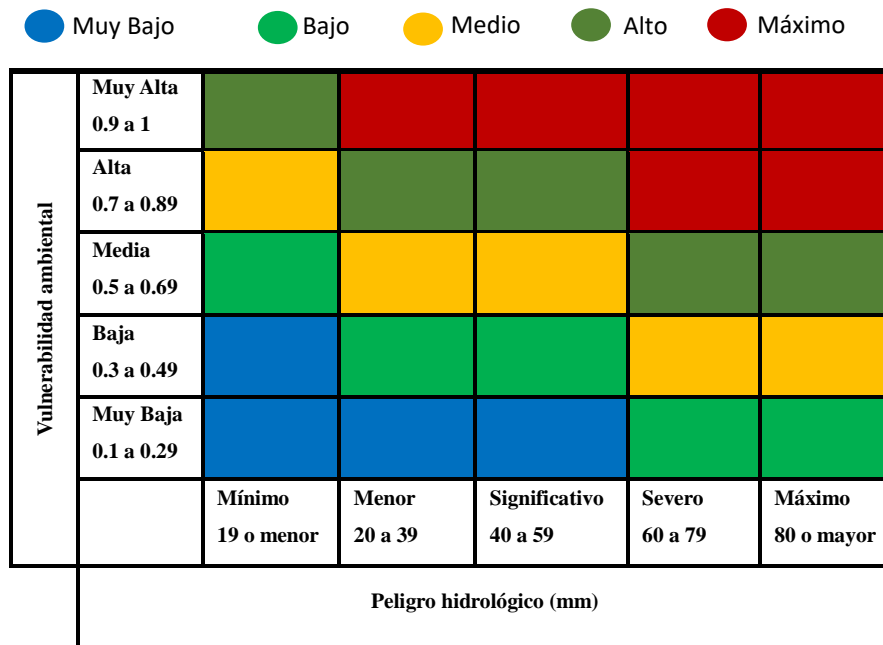


Figura 3. Matriz para la evaluación del riesgo por escorrentía superficial.

Esta clasificación está compuesta con tener un NC muy pequeño, que permita tener una escorrentía directa mucho menor a la precipitación acumulada, con la probabilidad de inundaciones y desbordamiento de ríos que sea considerada muy baja, por consiguiente, el riesgo es muy bajo (semáforo color azul). En contraste, el riesgo máximo (semáforo color rojo) se caracterizó con un NC cercano a 100, generado con precipitación acumulada intensa y la escorrentía directa muy similar, por lo tanto, la probabilidad de que el peligro hidrológico se consolide en desastre es muy alta. Con lo anterior, se construyó la matriz de riesgo con valores de vulnerabilidad ambiental, 0.1 de valor bajo y 1



de valor máximo, relacionado con el peligro hidrológico establecido por la escorrentía directa dada en mm.

Resultados y Discusión

Con base a los registros obtenidos de las bases de datos de precipitación y escorrentía, se muestran las tormentas con sus características (precipitación y gasto máximos para cada evento de precipitación) mostradas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los eventos seleccionados.

Tormenta	Duración	Ciclón tropical asociado	Precipitación máxima (mm)	Gasto máximo (m ³ /s)
1	30 junio al 3 de julio 2011	Tormenta tropical Arlene	58.0	95.3
2	8 al 11 de agosto 2012	Huracán Ernesto	98.8	689.0
3	16 al 19 de septiembre 2010	Huracán Karl	296.7	203.3
4	5 al 8 de julio 2008	Depresión tropical DT5E	60.7	169.5
5	26 al 29 de septiembre 2007	Huracán Lorenzo	83.7	119.2
6	18 al 22 de junio 2013	Tormenta tropical Barry	139.3	988.8
7	21 al 24 de agosto 2005	Tormenta tropical José	105.7	250.28
8	18 al 20 de octubre 1998	Huracán Madeline	70.1	224.3
9	19 al 22 de octubre 1995	Huracán Roxanne	81.3	62.0
10	19 al 22 de junio 1993	Tormenta tropical Beatriz	75.6	278.6
11	3 al 6 de julio 1993	Huracán Calvin	81.8	310.3
12	2 al 5 de septiembre 1988	Huracán Debby	36.9	91.2

Por otro lado, con la información fisiográfica, climatológica, hidrológica, se realizó la ejecución del modelo HEC-HMS con 12 tormentas y se graficaron con los datos observados correspondientes (Figura 4).

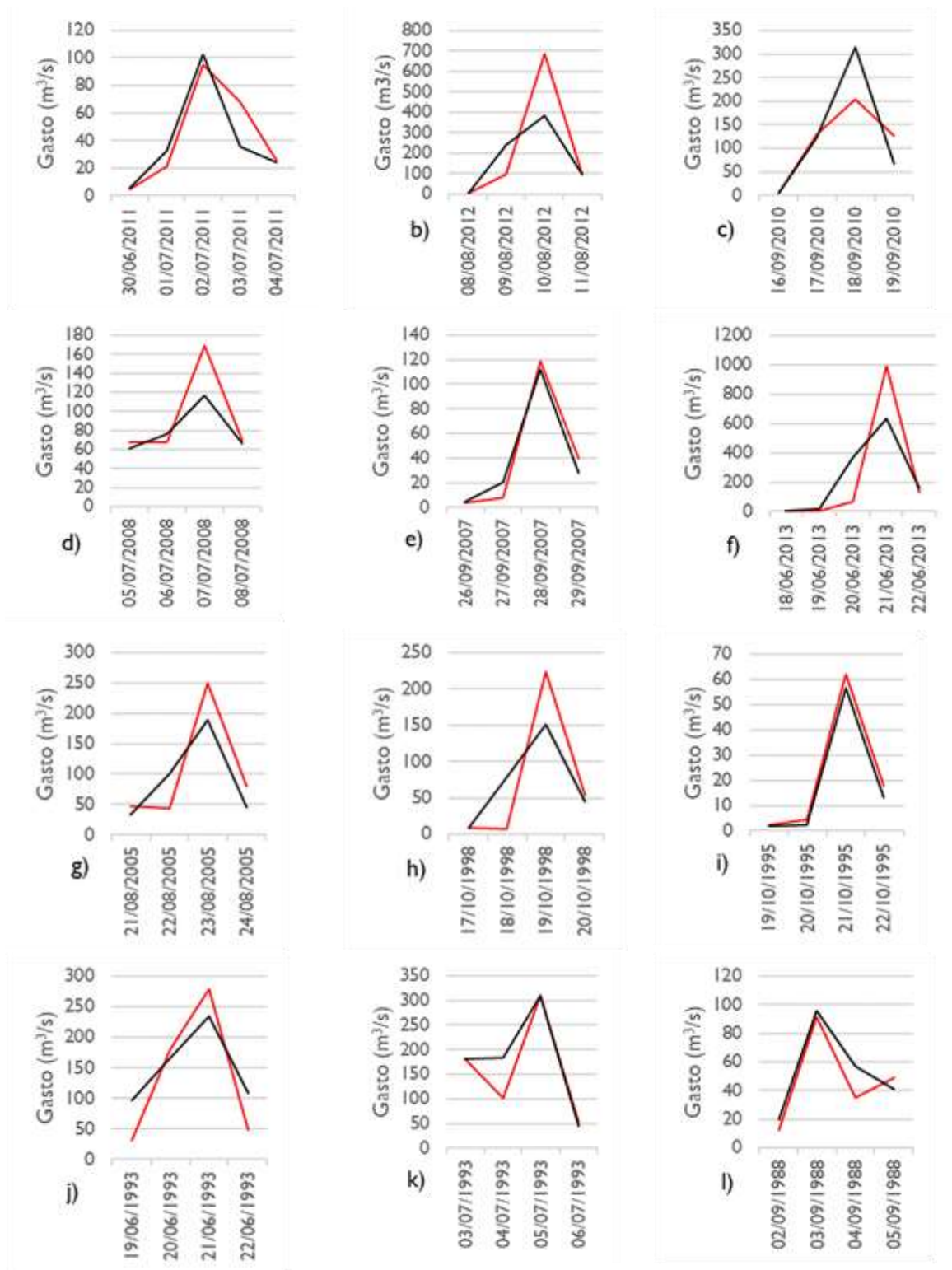


Figura 4. Hidrogramas de gasto observado y gasto simulado por HEC-HMS. La línea roja es el gasto observado y la negra el gasto simulado de las tormentas a) Tormenta 1, b) Tormenta 2, c) Tormenta 3, d) Tormenta 4, e) Tormenta 5, f) Tormenta 6, g) Tormenta 7, h) Tormenta 8, i) Tormenta 9, j) Tormenta 10, k) Tormenta 11 y l) Tormenta 12.



Para la evaluación del modelo hidrológico con las 12 tormentas, la Figura 5 muestra el coeficiente de determinación entre el gasto pico simulado, de lo que logró explicar con respecto al gasto pico observado de cada una de las tormentas simuladas, siendo este de $R^2=88.51\%$.

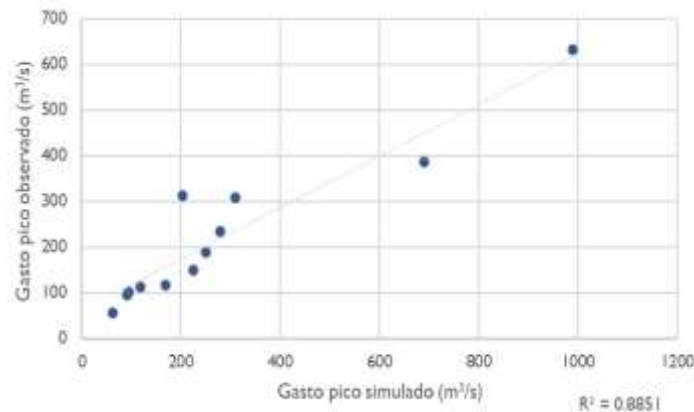


Figura 5. Coeficiente de determinación del gasto pico observado vs. simulado.

Una vez identificadas las tormentas mediante la selección de las lluvias asociadas a ciclones tropicales, se analizó el efecto de precipitaciones intensas, en el riesgo de escorrentía, con lo que se logró observar la intensidad de los ciclones tropicales de manera similar al estudio realizado por Domínguez y Magaña (2018), quienes concluyeron que un ciclón tropical puede causar aumentos significativos en disponibilidad de agua gracias a 1 o 2 días de precipitaciones intensas, siempre y cuando el ciclón esté cerca de la costa, como la cuenca del Río Ídolos que está ubicada a unos cuantos kilómetros de la vertiente del Golfo de México.

En lo concerniente al ajuste y validación realizada con el modelo hidrológico HEC-HMS, se logró observar que los resultados indican una buena aproximación entre el gasto observado y el simulado para las 12 tormentas evaluadas, al igual que los resultados obtenidos con la metodología propuesta por Othman *et al.*, (2021), quienes validaron sus tormentas en la cuenca del Río Kuantan con porcentajes de diferencia entre el caudal punta simulado y el observado, en promedio a los eventos evaluados se obtuvo un 7% de diferencia para el modelo calibrado. De otro modo, el coeficiente de determinación que obtuvieron fue de 93%, con lo cual, optaron por recomendar la optimización matemática del HEC-HMS para futuras evaluaciones de riesgos por inundaciones y debido a tal razón, suponen entonces que esto es suficiente para utilizar el modelo en predicciones con una determinación razonablemente buena.



Número de curva

Con los conjuntos de datos vectoriales de tipo de suelo, el uso de suelo y vegetación proporcionados por el INEGI (INEGI, 2022) y con ayuda del SIG Qgis, da como resultado que la cuenca del Río Ídolos se caracteriza por tener una buena permeabilidad, sin embargo, considerando que el punto más alto tiene un uso del suelo de zona urbana y en su mayoría la zona de estudio tiene agricultura y pastizal, la permeabilidad se condiciona teniendo como resultado un NC aproximado de 51, siendo el promedio de toda la cuenca y con las siete series de uso de suelo y vegetación del INEGI. Lo anterior, permitió comparar los valores cronológicamente e identificar la tendencia de cambio que, en este caso para la cuenca del Río Ídolos, el NC tiende a incrementar en una unidad cada década a causa, principalmente por la expansión urbana y los usos de suelo como se muestra en la figura 6.

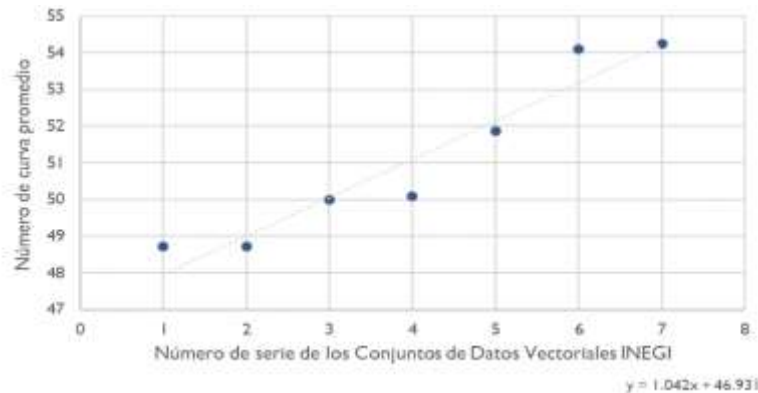


Figura 6. Tendencia de cambio del NC en la cuenca del Río Ídolos.

En consecuencia, el cambio en la cobertura y uso del suelo para la cuenca del Río Ídolos, en su mayoría se debe a causas de origen antropogénico, puesto que la tendencia del NC identificada, indica un incremento sostenido a causa de la expansión de los asentamientos urbanos y su respectiva pavimentación en las ciudades impermeabilizando la superficie, independientemente del tipo de suelo que sea y por tal razón el NC en zona urbana es muy grande (cercano a 100), como fue identificado por Guzmán (2022) bajo un análisis sobre el riesgo de inundaciones en el estado de Chiapas, donde observó que la expansión de asentamientos urbanos genera una gran pérdida en la capacidad de infiltración de los suelos, provocando que la escorrentía sean probablemente mayores y cada vez más similares en la cantidad de milímetros de precipitación, lo que incrementa el peligro hidrológico ante el impacto de un ciclón tropical que se caracteriza por dejar a su paso precipitaciones intensas.



Escenarios de cambio climático

Para los resultados de los escenarios de cambio climático, se consideró como escenario base las tormentas que se lograron simular con datos del SMN, con ello se compararon cuantitativamente. Los escenarios RCP 4.5 para la década de los años 40's y RCP 8.5 para la década la década de los años 70's mostraron mayormente una disminución en sus valores de la zona de estudio (Figura 7). Por su parte, las tormentas 8 y 9 en ambos escenarios tuvieron un incremento considerable, con lo cual la escorrentía es mayor para estas tormentas, mismas que coinciden en el mes de octubre.

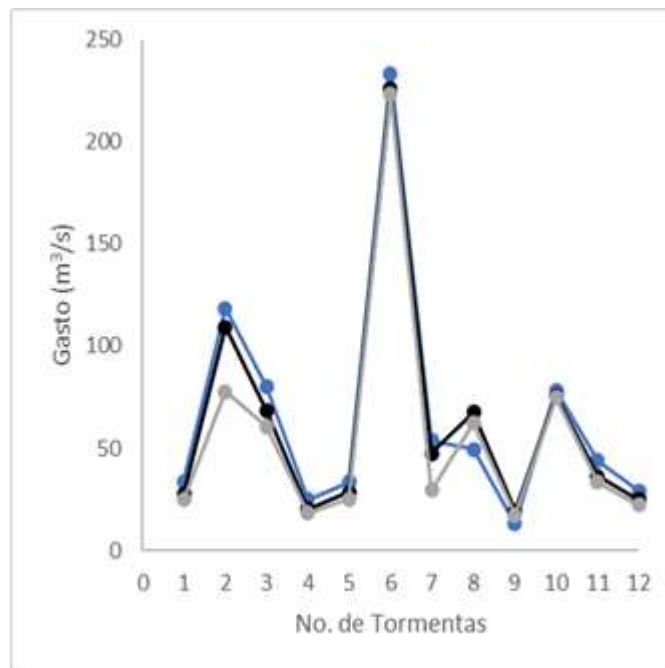


Figura 7. Escorrentía directa (m^3/s), línea azul escenario base, línea negra RCP 4.5 en el periodo 2015-2039 y línea gris RCP 8.5 en el periodo 2045-2069.

Evaluación del riesgo

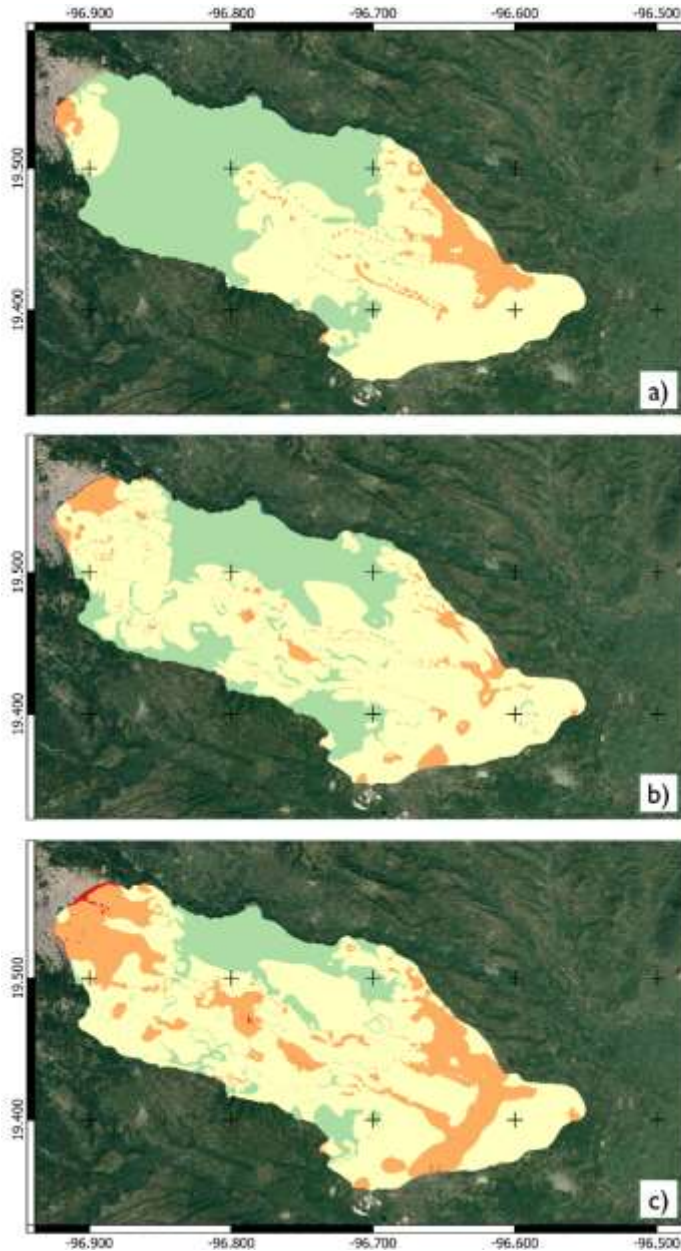
Para la evaluación de cada una de las tormentas, se elaboró el nivel del riesgo como producto entre el peligro hidrológico dado por la escorrentía directa estimada en el modelo hidrológico HEC-HMS y la vulnerabilidad ambiental para la cuenca del Río Ídolos, con un NC promedio en la cuenca de estudio de 51 para las condiciones observadas, de 61 para el escenario actual y de 71 para el escenario cercano, considerando la tendencia de cambio que tiene el NC a causa del crecimiento de asentamientos urbanos y por lo consiguiente la impermeabilización de los suelos, implicando un aumento del riesgo por escorrentía superficial, ya que la tendencia indica que las proyecciones, lo que lleva a escurrir y



consecuentemente si la precipitación es intensa, la escorrentía tendrá un nivel considerablemente alto o máximo.

Asimismo, el riesgo con tendencia a incrementar a causa del cambio en la cobertura y uso del suelo identificado para las 12 tormentas, asociadas a ciclones tropicales coincide con el riesgo de inundaciones por efectos urbanos evaluado por Zúñiga *et al.*, (2020), puesto que bajo un análisis espacial de la ocurrencia de inundaciones, indica que la proximidad de la urbanización al río aumenta las posibilidades de inundaciones urbanas en el estado de Veracruz.

En la región norte de Veracruz, se produjo un lento desarrollo urbano en el periodo de análisis con asentamientos humanos en proximidad "alta" respecto al río, lo que se tradujo en 36 eventos de inundación durante el periodo 1970-2016, pero con un claro sesgo a más eventos en los últimos años, aunado a que la pérdida de cobertura forestal puede aumentar la escorrentía en las cuencas hidrológicas entre un 30% y un 45%, cuando los suelos agrícolas sustituyen a los bosques y hasta un 50%, cuando los suelos urbanos se convierten en el nuevo uso del suelo en una región anteriormente boscosa. No obstante, con las capas vectoriales de uso de suelo y vegetación del INEGI, se evaluó el riesgo por escorrentía superficial en la cuenca del Río Ídolos para los escenarios de cambio climático, se identificaron las zonas con sus respectivos niveles de riesgo, determinados por el índice de vulnerabilidad ambiental y el promedio de la escorrentía directa de las 12 tormentas, con lo que se utilizó el modelo clásico de riesgo por la matriz establecida. En la figura 8 se muestra a detalle los cambios proyectados para los niveles de riesgo, según las estimaciones de escorrentía directa del modelo hidrológico HEC-HMS y los a causa del cambio en la cobertura y uso del suelo en la zona de estudio, la cual muestra un aumento del riesgo en la zona urbana de Xalapa.



- a) Escurrecimientos observados (1984-2014)
- b) Escenario actual (2015-2039)
- c) Escenario cercano (2045-2069)

Nivel del riesgo

- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Máximo
- Zona de estudio
- Estado de Veracruz
- República Mexicana

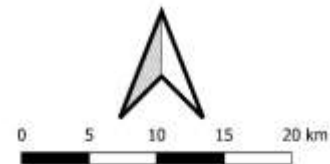


Figura 8. Evaluación del riesgo por escorrentía superficial en la cuenca del Río Ídolos y sus escenarios de cambio climático.

Conclusiones

La escorrentía directa estimada por el modelo hidrológico HEC-HMS presentó con un buen ajuste dado el coeficiente de determinación, se permitió evaluar el riesgo por escorrentía superficial asociada a



ciclones tropicales en la cuenca del Río Ídolos para tres periodos que comprenden: la climatología realizada en el temporal de los eventos observados que comprende los años de 1984 al 2014, el escenario de cambio climático actual con el RCP 4.5 para los años de 2015 al 2039 y el escenario cercano con el RCP 8.5 para los años 2045 al 2069 de acuerdo con los cambios en la precipitación del MCG de los Estados Unidos.

Se logró identificar que los 8 de las 12 tormentas extrema declarados como desastres por inundación o lluvia intensa en la base de datos de DesInventar fueron evaluados con un nivel de riesgo medio y alto considerando la vulnerabilidad ambiental de la zona de estudio determinada por el NC promedio de la cuenca, así como de los registros diarios tanto de precipitación y gasto de las tormentas.

Por su parte, el cálculo de NC para cada una de las siete series de los Conjuntos de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, fue de gran utilidad porque se identificó que el crecimiento urbano implica una amenaza por la impermeabilización, con esto, la vulnerabilidad de la cuenca del Río Ídolos aumenta y al ser un elemento que se utilizó para evaluar el riesgo se obtiene que este aumentará proporcionalmente al incremento del NC.

Asimismo, con las proyecciones de los escenarios de cambio climático, se esperan precipitaciones menores para los próximos años en la cuenca del Río Ídolos para los meses de junio a septiembre en contraste para el mes de octubre en el cual se encontró que las precipitaciones tenderán a incrementar.

Por último, con base a las variables que se utilizaron en la metodología se obtuvo que la vulnerabilidad ambiental determinada por NC y el peligro hidrológico por escorrentía directa son buenos estimadores para la evaluación de riesgo con una matriz que clasifique el nivel de riesgo como lo propone la OMM.

Literatura Citada

Arnal, L., Pietroniro, A. C., Pomeroy, J. W., Fortin, V., Casson, D. R., Stadnyk, T. A., *et al.* 2023. Towards a coherent flood forecasting framework for Canada: Local to global implications. *Journal of Flood Risk Management*, e12895. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12895>.

Bonasia, R., & Ceragene, M. 2021. Hydraulic numerical simulations of la sabana river floodplain, México, as a tool for a flood terrain response analysis. *Water*, 13(24): 351. <https://doi.org/10.3390/w13243516>.



Comisión Nacional del Agua (Conagua). 2022. Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales. Recuperado <https://app.conagua.gob.mx/bandas/>. [consultado el 23 de enero 2023].

DesInventar. 2022. Base de datos de desastres. *Red de Estudios de Desastres*. Recuperado de <https://www.desinventar.org/>. [consultado el 23 de enero 2023].

Dominguez, C. & Magaña. V. 2018. The Role of Tropical Cyclones in Precipitation Over the Tropical and Subtropical North America. *Frontiers in Earth Science*. Recuperado de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2018.00019/full>. [consultado el 23 de enero 2023].

EWC III. 2006. Third International Conference on Early Warning: From Concept to Action. *International Strategy for Disaster Reduction*. Recuperado de https://www.unisdr.org/files/608_spanish.pdf. [consultado el 23 de enero 2023].

Gobierno del Estado de Veracruz. 2022. Secretaría de Protección Civil. *Calendario de Temporadas y Fenómenos Meteorológicos para el Estado de Veracruz*. Recuperado de <http://www.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/5/2017/05/CALENDARIO-2107.pdf>. [consultado el 23 de enero 2023].

Grigg, N. S. 2023 Comprehensive Flood Risk Assessment: State of the Practice. *Hydrology*, 10, 46. <https://doi.org/10.3390/hydrology10020046>.

Guzmán, D. 2022. Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de inundaciones en el estado de Chiapas, México: periodo 1970 y 2016. Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 94 p.

Haer, T., Wouter, W., Zavala, J., Cusell, C. & Ward, P. 2017. Economic evaluation of climate risk adaptation strategies: Cost-benefit analysis of flood protection in Tabasco, Mexico. *Atmósfera*, 30(2): 101-120.



Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2017. Anomalías deltas de cambio de 4 modelos de circulación general. Recuperado de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/deltas-de-cambio-anomalias-de-4-modelos-de-circulacion-global>. [consultado el 23 de enero 2023].

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2022. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. [consultado el 23 de enero 2023].

Mas, J. F., Velázquez A., Díaz-Gallegos J. R., Mayorga-Saucedo R., Alcántara C., Bocco G. *et al.* 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *Int J Appl Earth Obs Geoinf.* 5(4): 249-261.

Mohamed, W. A. 2020. Applicability of HEC-HMS Hydrologic Modelling in Arid and Semi-Arid Regions Case Study: Wadi El-Melaha, Sinai, Egypt. *International Journal of Scientific & Engineering Research.* 11 (2): 414-429.

Othman, N., Romali, N., Samat, S. & Ahmad, A. 2021. Calibration and validation of hydrological model using HECHMS for Kuantan River Basin. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1092/1/012028>.

Ritter, J., Berenguer, M., Corral, C., Park, S. & Sempere-Torres, D. 2020. ReAFFIRM: Realtime assessment of flash flood impacts—a regional high-resolution method. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105375>.

Rubinato, A., Nichols Y., Peng J. min Zhang C., Lashford, Y., Peng C. P., *et al.* 2019. Urban and river flooding: comparison of flood risk management approaches in the UK and China and an assessment of future knowledge needs *Water Sci. Eng.*, 12, pp. 274-283, <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004>.



Shukur, H. 2017. Estimation Curve Numbers using GIS and Hec-GeoHMS Model. *Journal of Engineering*. 5(23): 1-11.

SIAT-CT (Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales). 2022. Sistema Nacional de Protección Civil, México. Recuperado de <http://proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/62/1/images/siatctnueva.pdf>. [consultado el 29 de mayo 2023].

Singh, R. K., Villuri, V. G. K., Pasupuleti, S. & Nune, R. 2020. Hydrodynamic modeling for identifying flood vulnerability zones in lower Damodar river of eastern India. *Ain Shams Engineering Journal*. 11(4):1035-1046.

Tejeda, A. 2006. Panorámica de las inundaciones en el estado de Veracruz durante 2005. A. Tejeda, C. Welsh & L. Calatayud (Eds.). p. 9-20. In: *Inundaciones 2005 en el Estado de Veracruz*. Consejo Veracruzano de Ciencia y Tecnología, Xalapa, Ver., México.

Walega, A. 2013. Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin / Zastosowanie programu HEC-HMS do odtworzenia wezbrania powodziowego w zlewni niekontrolowanej. *Journal of Water and Land Development*. No. 18 (I-VI): 13–20. <https://doi.org/10.2478/jwld-2013-0002>.

Zuñiga T., A. E. 2018. Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico: The effect to land use cover change. *Investigaciones Geográficas*. 95. DOI <https://doi.org/10.14350/rig.59465>.

Zúñiga, E.; Magaña, V. & Piña, V. 2020. Effect of Urban Development in Risk of Floods in Veracruz, Mexico. *Geosciences*. 10, 402. 1-14. <https://doi.org/10.3390/geosciences10100402>.



IDENTIFICACIÓN DE HONGOS FILAMENTOSOS EN POBLACIONES DE *Vitis* spp. PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE SUELOS AGRÍCOLAS, EN LA REGIÓN DE LOS TUXTLA, VERACRUZ, MÉXICO

Álvaro Palacios Mendoza^{353*}, María del Refugio Castañeda Chávez³⁵³ y Humberto Mata Alejandro³⁵³

Resumen

La huella ambiental agrícola en particular sus actividades, causa un efecto negativo en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. La agricultura en particular al reducir las poblaciones de hongos, causa un efecto negativo en los parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo. En tal sentido, la ingeniería ambiental propone una alternativa que brinda potencial para el desarrollo sostenible de la producción agrícola. Al desarrollarse en diversos campos, como la producción de alimentos, la agricultura, la producción de materiales y en el sector salud, aparece la biorremediación de suelos agrícolas. El objetivo de esta investigación es comparar hongos filamentosos presentes en cuatro sitios con presencia de *Vitis* spp. en la Región de Los Tuxtla del Estado de Veracruz. El muestreo se efectuó de acuerdo con la norma NMX-AA-132-SCFI-2006. Se tomaron muestras de suelo con una pala recta (cuatro submuestras) por punto al azar. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno debidamente rotuladas y llevadas al laboratorio. En cada punto se tomó una muestra de suelo de 1 kg a una profundidad de 0-20 cm. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río, para su procesamiento y análisis. Para el aislamiento de los hongos filamentosos del suelo se empleó el método de siembra directa. Los datos de C.O. y M.O. (%) fueron confrontados con la abundancia de hongos filamentosos, mediante un análisis estadístico ANOVA. La comparación de medias se realizará a través de una prueba de Tukey con un $p > 0,05$. Los Resultados de la diversidad de hongos filamentosos aislados en medio PDA fue 35 colonias de hongos filamentosos, el género *Absidia* spp. con mayor presencia, seguido de *Trichoderma* spp., *Aspergillus* spp.

³⁵³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBoca). Laboratorio Multidisciplinario de Ciencias Ambientales, Laboratorio de Ecotecnologías. *Autor de correspondencia: alvaro_palacios_14@hotmail.com



Palabras clave: *Vitis tiliifolia*, hongos filamentosos, microorganismos benéficos

Introducción

La actividad agrícola en estos últimos tiempos, viene generando preocupación por las aplicaciones de productos químicos, sin asesoramiento técnico profesional, lo que genera graves alteraciones ambientales al ecosistema, sobre todo por la falta de asesoría y el manejo adecuado de productos agroquímicos ignorando las buenas prácticas agrícolas. Los agricultores aplican los pesticidas por la necesidad de proteger a sus cultivos, así como la aplicación de agroquímicos, sin tomar en cuenta la toxicidad del producto y el manejo adecuado mediante monitoreo y análisis de suelos, lo que conlleva a la contaminación por residuos de fertilizantes y agroquímicos, lo cual repercute en el suelo, aire y agua. La presencia de plaguicidas en los suelos es ocasionada por diversas formas, como la aplicación aérea a las plantas para controlar plagas, con insecticidas, fungicidas y herbicidas que son los más usados, lo que ocasiona un almacenamiento del 50% del producto en el suelo. Sin embargo, la aplicación de herbicidas por su direccionalidad a combatir las malas hierbas va directo al suelo durante la preemergencia (antes que emerjan las plántulas) y pre siembra.

Por tanto, los plaguicidas incorporados al suelo ingresan en un ecosistema dinámico y empieza su degradación en tiempos variables, diferenciando tres etapas del proceso: (1) latencia, tiene una duración corta, manteniendo el plaguicida una determinada concentración; (2) disipación, es por lo general relativamente rápida su degradación en el suelo y (3) persistencia, es cuando el plaguicida introducido al suelo su degradación es lenta. Sin embargo, la intensificación por desinfectar el suelo para la siembra de cultivos y evitar la incidencia de patógenos se vuelve cada vez más rutinario, lo que ocasiona la destrucción de los microorganismos benéficos existentes en el suelo (Navarro y Barba, 1996).

Por otra parte, en el estado de Veracruz se tiene reportada seis especies de uvas silvestres y la de mayor distribución en el Estado es *Vitis tiliifolia* (Mata-Alejandro *et al.*, 2021), esto resulta potencialmente interesante para la exploración de *Vitis*. Las plantas silvestres de vides, a menudo difieren mucho en rasgos morfológicos y se encuentran en zonas de montaña tanto en clima tropical como templado, ya que se puede encontrar desde los 2200 hasta los 40 msnm. Su gran diversidad y el hecho de que se distribuya en un amplio rango altitudinal, confiere interesantes posibilidades para encontrar hongos



filamentosos con potencial aprovechamiento. De ahí la importancia de estudiar la microbiota del suelo de esta especie silvestre. Esto puede dar solución al grave problema del deterioro de los suelos, ya que los microorganismos de montaña pueden llegar a mejorar este problema de deterioro por contaminación y a la vez poder enriquecer los suelos agrícolas. Es a partir de estos factores que derivamos nuestro objetivo de investigación que es: la identificación hongos filamentosos obtenidos en muestra de suelo de *Vitis* spp. en la Región de Los Tuxtla, ubicados en el estado de Veracruz con potencial para enriquecimiento de suelos agrícolas.

Materiales y Métodos

El área de estudio se encuentra localizada en el estado de Veracruz, en la Región de Los Tuxtlas. Se eligieron cuatro sitios de estudio, en los Municipios de Santiago y San Andrés Tuxtla (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios de estudio en los que se recolectaron muestras en la Región de Los Tuxtla.

Municipio	Localidad
San Andrés Tuxtla	Calería
San Andrés Tuxtla	Calería (Finca Tepach)
Santiago Tuxtla	Cerro Vigía
Santiago Tuxtla	Santiago

El municipio de Santiago en la Región de Los Tuxtlas, se ubicada geográficamente en la zona sur del estado, en las estribaciones de la Sierra de los Tuxtlas, en las coordenadas 18° 28" latitud norte y 95° 18" longitud oeste, a una altura de 200 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con el municipio Ángel R. Cabada; al este con San Andrés Tuxtla; al sur con Hueyapan de Ocampo; al oeste con Isla y Tlacotalpan. Con clima cálido-húmedo-regular con una temperatura promedio de 24.3°C; precipitación pluvial media de 2,314.3 mm. Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de selva alta perennifolia y secundaria (INEGI, 2021). En cada una de ellas se muestrearon tres puntos en donde existen individuos y poblaciones naturales en el aprovechamiento de vides silvestres.

Recolecta de muestras

La toma de muestras se efectuó de acuerdo con un método normalizado según la Norma NMX-AA-132-SCFI-2006. Las muestras se recolectaron con una pala recta (previamente desinfectada), se utilizó



un cuadrado (40 x 40 cm) por muestra, compuesta de 4 submuestras por punto; en cada punto se tomó una muestra de suelo de 1 kg a una profundidad de 0-20 cm. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas, se almacenaron en una nevera con hielo e inmediatamente fueron trasladadas al laboratorio (Burlage *et al.*, 1998).

Las muestras fueron transportadas vía terrestre al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Boca del Río, para su procesamiento y análisis.

Análisis de materia orgánica y carbono orgánico

La determinación de la materia orgánica se realiza por la técnica de calcinación o ignición (Schulhe y Hopies, 1996). Se utilizaron capsulas de porcelana, en las cuales se pesaron cinco gramos de suelos, posteriormente se llevaron a un horno eléctrico a una temperatura de 105°C por 24 h; a fin de retirar la humedad remanente en las muestras, y que permanezca solo el agua constitutiva de los elementos de la muestra. Trascurrida las 24 horas, las muestras se pasaron a un desecador de vidrio y se dejaron enfriar, una vez que tomó la temperatura ambiente se volvieron a pesar en una balanza analítica, obteniendo así el peso inicial a 105°C. Posteriormente las muestras se introdujeron a una mufla para su calcinación a una temperatura de 360°C por dos horas; una vez transcurrido este tiempo se pasaron al desecador de vidrio para su enfriamiento. Con las muestras ya frías se pesaron nuevamente en una balanza analítica. La materia orgánica se obtiene por la diferencia de pesos iniciales y finales. El cálculo de materia orgánica se representa con la siguiente ecuación:

$$\%MOS = [(PESO A 105^{\circ}C - PESO A 360^{\circ}c) / (PESO A 105^{\circ}C)] * 100$$

Aislamiento de hongos

Para el aislamiento de los hongos filamentosos del suelo se empleó el método de siembra directa (Bills *et al.*, 2004). Para ello se pesaron 100g de suelo, se realizaron una modificación del tamizado donde en lugar de ocupar un tamiz metálico se filtró en una serie de gasas para mantener la inocuidad con agua destilada. El líquido obtenido se colocó en tubos de ensayo haciendo tres diluciones: 1/10, 1/100, 1/1000 para cada muestra, se seleccionó la última dilución para la siembra. En las placas de Petri de 90 x 15 mm, se puso agar selectivo de PDA y Cloranfenicol (400ppm) para evitar crecimiento de otros microorganismos, posteriormente, se realizó la siembra directa con la ayuda de un asa usando la tercera dilución. De cada muestra se realizaron tres repeticiones, manteniéndolas en una estufa, cada una de las cajas aisladas y en incubación, a temperatura de 25°C durante tres días. La determinación macro y microscópica de las cepas para el reconocimiento de hongos filamentosos se realizó mediante el uso del



microscopio, mediante la técnica de cinta adhesiva (Díaz *et al.*, 1999), que consta de tomar una pequeña parte de la colonia haciendo una presión leve de la parte del pegamento de la cinta en el micelio del hongo y colocar la cinta en el portaobjetos agregando una gota de azul de lactofenol. El proceso de observación de las partes morfológica de la cepa, se realizó en el microscopio a 40X y se tomó evidencia fotográfica. Para determinar el género taxonómico de la cepa se tomó como base las características microscópicas, realizando una comparación con antecedentes de la literatura sobre las claves taxonómicas (Barnett y Hunter 1998, Kirk *et al.*, 2008, Watanabe 2010, Samson *et al.*, 2014). Las cepas que no fueron identificadas se les llamo cepas no específicas. El estudio de los datos fue mediante un diseño experimental al azar con tres repeticiones donde cada punto fue independiente. Los datos M.O. (%) fueron confrontados con la abundancia de hongos filamentosos mediante un análisis estadístico ANOVA. La comparación de medias se realizará a través de una prueba de Tukey con un $p > 0.05$.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados obtenidos de los sitios muestreados, los contenidos de materia orgánica (M.O.) variaron en los sitios de ambos municipios, es decir en los dos sitios muestreados de San Andrés Tuxtla tenemos valores que van de los 4.7% a los 6.2% en el sitio “Finca”, mientras que para el sitio de “Plantación” los valores van del 6.8% al 8.72%, también podemos observar que los valores de carbono orgánico (C.O.) en “Finca” los valores van del 2.7% al 3.7% y para “Plantación” de 3.9% al 5.0% (Figura 1).

De acuerdo con la literatura consultada y las bases de datos con claves taxonómicas (Barnett y Hunter, 1998; Kirk *et al.*, 2008; Watanabe, 2010; Samson *et al.*, 2014), los hongos filamentosos considerados como potencialmente benéficos para el enriquecimiento de los suelos que se pudieron determinar son los del género: *Adsidia* spp, *Aspergillus* spp. y *Trichoderma* spp. En relación con los contenidos de C.O. y M.O. y los hongos filamentosos determinados en el presente trabajo, podemos observar que el C.O. se encuentra en mayor cantidad en Plantación con 4.53 y Santiago con 5.73, de la misma manera en la M.O. los mayores índices para este componente lo tienen Plantación con 7.85 y Santiago con 9.89. En lo que concierne al número de colonias de hongos filamentosos, el género *Adsidia* spp, presenta un mayor índice Cerro Vigía, seguido de las muestras de Santiago y Plantación. Para el género



Aspergillus spp. sólo hubo una leve presencia en Plantación con un promedio de 1.75 colonias y en el caso de *Trichoderma* spp. la mayor presencia fue en Santiago junto a Cerro Vigía con un promedio de 15 y 12 colonias por muestra respectivamente (Figura 2).

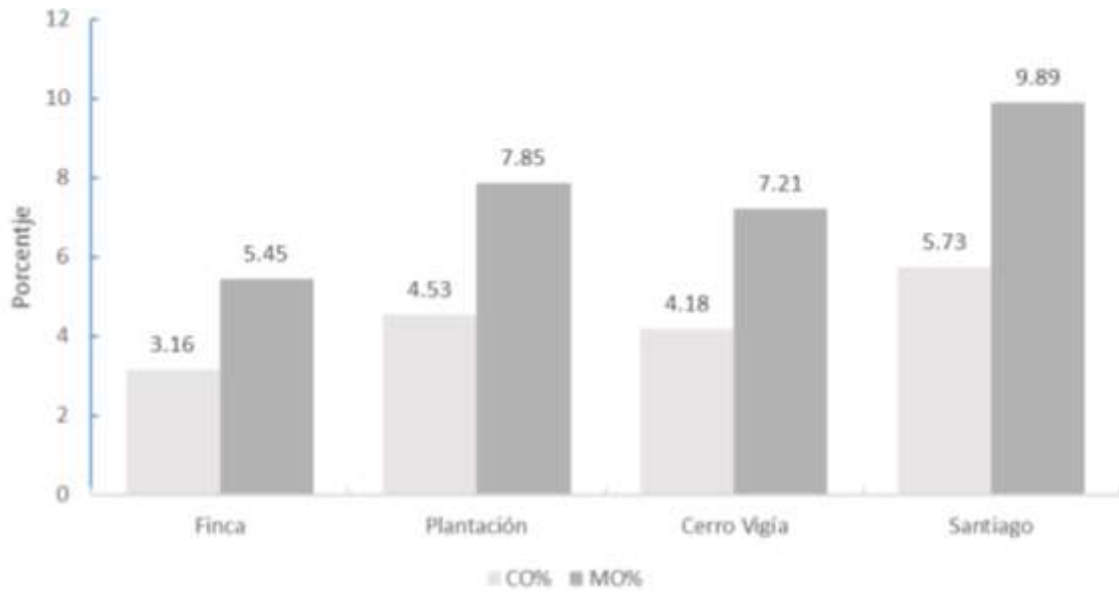


Figura 1. Porcentaje de Materia Orgánica y Carbón Orgánico en los cuatro sitios de los dos municipios de San Andrés y Santiago Tuxtla, Ver.

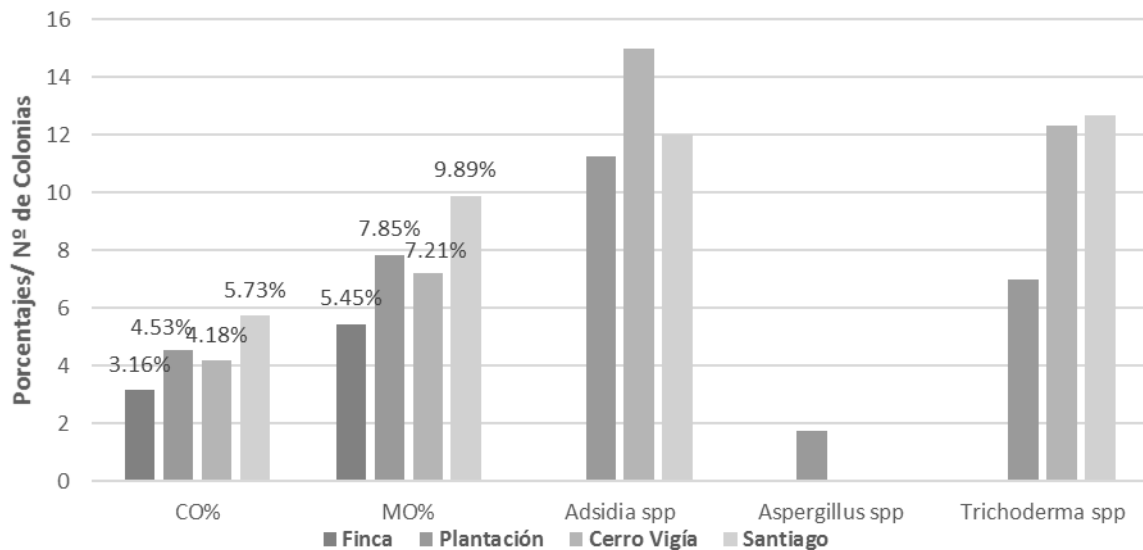


Figura 2. Relación de contenidos de C.O. y M.O. con el número promedio de colonias de hongos filamentosos de los suelos de la Región de Los Tuxtla, Ver.

Nota (Las barras sin etiqueta de valores, corresponden a el número de colonias).



***Adsidia* spp.**

En la figura 3, se observa micelio cenocítico hialino con esporangios en las puntas, A la vez, se puede observar que el micelio tiende a llenar la caja de cultivo de aspecto algodonosa, presentando gran cantidad de esporangios con esporangioforos largos y una columela en forma de pera.

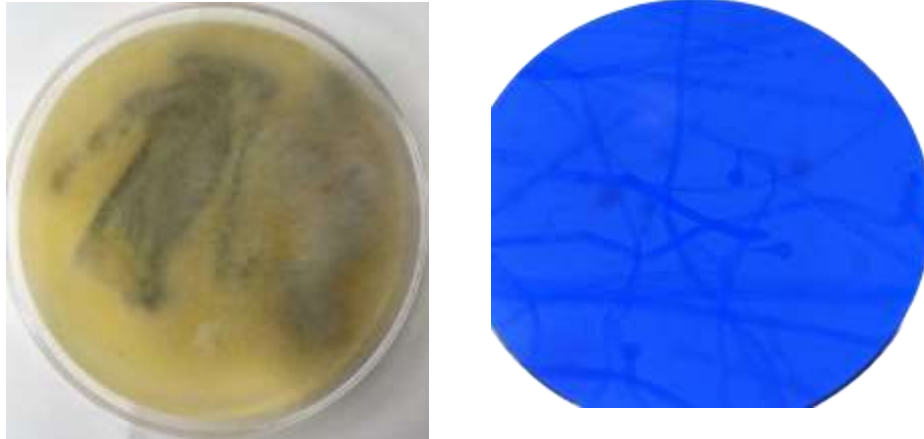


Figura 3. Cultivo de *Adsidia* spp. en PDA y Cloranfenicol.

***Aspergillus* spp.**

Esta especie de hongos es muy común, sobrevive por la descomposición de materia orgánica vegetal como saprofitos en el suelo: Se observó un crecimiento rápido alrededor de las 76 horas, con tonalidad verde grisácea de textura granulosa. De manera microscópica presentó micelio septado, ramificado, hialino con vesículas alargadas, sus conidios son de forma oval. Las colonias muestran una forma plana y aterciopelada de color verde a blanco, tendiendo a gris oscuras (Figura 4).

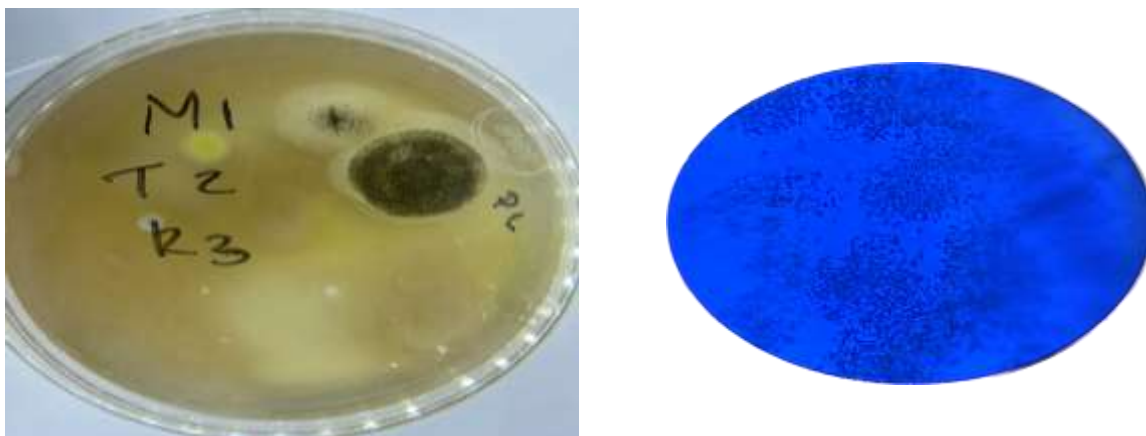


Figura 4. Cultivo de *Aspergillus* spp. en PDA y Cloranfenicol.



***Trichoderma* spp.**

Se observó presencia de micelio esponjoso de manera abundante, no se observaron anillos concéntricos que son característicos de *Trichoderma* spp. y el micelio no se extendió de manera homogénea en las placas, presentando conidios ligeramente ovoides dispuestas en grupo, con cladiosporas globosas, por lo que por estas características macro y microscópicas podemos discriminar que corresponde a una cepa nativa de *Trichoderma*.

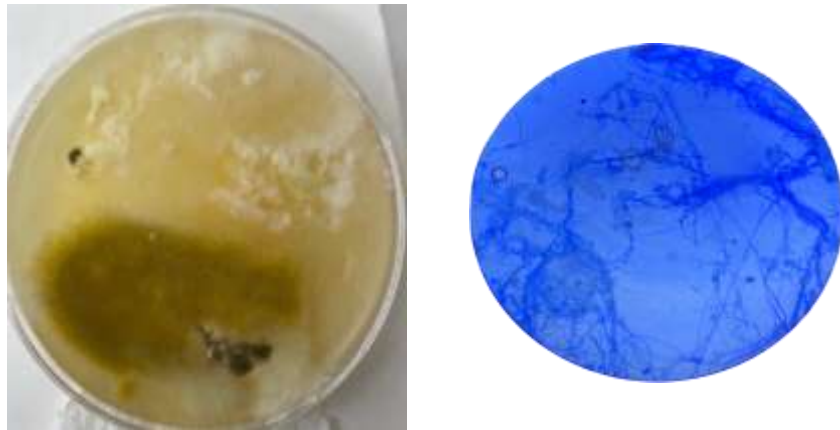


Figura 5. Cultivo de *Trichoderma* spp. en PDA y Cloranfenicol.

El presente estudio es el primero en caracterizar hongos del suelo en La Región de Los Tuxtla, Veracruz; principalmente en donde existe presencia de vides silvestres. Las variables químicas fueron medidas y relacionadas con las especies de hongos filamentosos del suelo donde se encuentran presencia de vides silvestres.

La materia orgánica es una variable característica en el estudio de los suelos debido a que es alta en suelos de ecosistemas naturales no perturbados, pero son bajos en un agroecosistema debido a la baja concentración de materia orgánica y el uso frecuente de este suelo ocasiona una oxidación de la misma (Meliani *et al.*, 2012). Principalmente el tipo de uso del suelo, causa diferentes cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas (Swift y Bignell, 2001). Los resultados obtenidos nos demuestran claramente esta diferencia del suelo por el tipo de uso, vegetación nativa y prácticas en cultivos agrícolas que incluyen fertilización química y control de plagas con pesticidas, la baja diversidad de especies podría tener una repercusión sobre esos factores. Daniel *et al.*, (2012), mencionaron que los hongos se pueden degradar debido a la implementación de cultivos, mediante el cambio de uso de suelo donde la cobertura vegetal original se desplaza y se consideran suelos frágiles



(Krasilnikov *et al.*, 2013). Sin embargo, los autores no consideraron el papel de las comunidades microbianas en los suelos agrícolas, en donde los hongos forman parte del fenómeno de resiliencia del sistema. La mayoría de los hongos filamentosos tienden a presentarse generalmente en los horizontes superficiales (Jumpponen *et al.*, 2010), donde se concentran los nutrientes del suelo, entre ellos el fósforo. Está documentado que los hongos tienen un efecto simbiótico como facilitadores en la absorción de nutrientes para la planta (Thirkell *et al.*, 2016; Scandellari, 2017), incrementando la obtención de nitrógeno por las plantas mediante las hifas externas. Los hongos pueden secretar fosfatasas para hidrolizar el fósforo de compuestos orgánicos, lo cual incrementa la productividad de los cultivos en condiciones deficientes de fósforo (Rouphael *et al.*, 2015). Miller, (2000) documentó que el micelio de los hongos micorrízicos transporta el fósforo del suelo a la planta, inmediatamente después de que entra en conexión con el sistema radical en desarrollo. Las hifas extra radicales también facilitan la absorción de micronutrientes inmóviles como el Cu o el Zn y otros cationes como el K, Ca, Mg y Fe (Smith y Read, 2008, Malusá *et al.*, 2016). Además de mejorar la nutrición de las plantas, los HMA interfieren con el balance hormonal, ya que influyen como bioreguladores en el desarrollo de las plantas y mitigan los efectos de estrés ambiental (Rouphael *et al.* 2015).

Las prácticas agrícolas afectan la distribución y composición de hongos (Coyne, 2000). La agricultura afecta principalmente la diversidad de hongos por la perturbación constante del suelo y explicaría la menor diversidad de hongos en suelos con cultivo, como lo reportado en éste trabajo. La producción agrícola altera el hábitat y por lo tanto, daña a toda la comunidad microbiana, lo cual disminuye la diversidad y abundancia de estos hongos (Sivila y Hervé, 1999; Altieri, 1999; Carlile *et al.*, 2001; Cabello y Arambarri, 2002).

Lo que anteriormente se argumenta, es con respecto al enriquecimiento de los suelos al poder tener una simbiosis con las raíces de plantas cultivadas, sin embargo, los géneros encontrados en el presente trabajo, han sido utilizados para la biorremediación de suelos removiendo contaminantes y fármacos con hongos, especialmente micromicetos en particular para hongos como *Aspergillus* sp y *Trichoderma viridae*, por lo que sería importante dar seguimiento a estudios de esta naturaleza, que cuentan con el potencial para poder enriquecer y bioremediar suelos perturbados, ya sea por agroquímicos o algún otro tipo de contaminantes Olicón *et al.*, 2017; Jureczko y Przystas, 2018; Lakhout, 2019; Mir *et al.*, 2019). En general las poblaciones microbianas son alteradas por la riqueza de especies de plantas, la diversidad de hongos aumenta con una alta diversidad de plantas (Zak *et al.* 2003). La vegetación es uno de los factores importantes en la diversidad de especies (Garbeva *et al.*, 2004), es por eso, la



importancia de seleccionar los cuatro puntos donde la vegetación es nativa del lugar, en La Región de Los Tuxtla, Veracruz.

Conclusiones

Se encontraron tres géneros de hongos con potencial de enriquecimiento de suelos que son: *Trichoderma* spp., *Aspergillus* spp., *Absidia* spp., y de acuerdo con algunos estudios, éstos géneros pueden ser útiles para la biorremediación de suelos, por otra parte, también se puede encontrar una estrecha relación entre los contenidos de M.O. con los hongos filamentosos como son: *Absidia* spp. y *Trichoderma* spp. De acuerdo con los avances del presente estudio se requiere de seguir realizando investigaciones para determinar que especies corresponden a estos tres géneros aquí reportados y si tienen el potencial de biorremediar suelos contaminados.

Agradecimientos

El presente estudio fue realizado con el apoyo del CONAHCYT, en las instalaciones del Tecnológico de Boca del Río, en Boca del Río, Ver.

Literatura Citada

Altieri MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ*; 74: 19-31.

Atlas, R., Bartha, R. 2005. *Ecología microbiana y Microbiología ambiental*. 4ta. Edición. Pearson Educación, S.A. Madrid (España). 677 pg.

Barnett HL, Hunter B. B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. APS Press, Minnesota, USA, p. 218.



- Bills, G. F., Christensen, M., Powell, M., y Thorn, G. (2004). Saprobic soil fungi. *Biodiversity of fungi: Inventory and monitoring methods*, 271-302.
- Burlague, R., Atlas, R., Stahl, D., Geesey, G. y Saylor, G. 1998. *Techniques in Microbial Ecology*. Oxford University Press. 239-242 pg.
- Cabello M, Arambarri A. 2002. Diversity in soil fungi from undisturbed and disturbed *Celtis tala* and *Scutia buxifolia* forests in the eastern Buenos Aires province (Argentina). *Microbiol Res.* 157(2): 115-125.
- Carlile MJ, Watkinson S, C, Gooday G, W. 2001. *The Fungi*. 2nd ed. London: AP. p. 588.
- Coyne M. 2000. *Microbiología del Suelo: Un Enfoque Exploratorio*. Ed. Paraninfo. España. p. 416.
- Diaz R, Gamazo C, López-Goñi I. 1999. *Manual práctico de microbiología*. 2ª ed. Barcelona, España. Masson SA. p. 208.
- Ferraris, G. 2000. Muestreo y análisis de suelo. Facultad de Agronomía UBA. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/ferraris/Muestreo%20y%20Análisis%20de%20Suelo%20%20Punto%20de%20Partida%20hacia%20un%20Diagnostico%20de%20Fertilidad.asp>
- Garbeva P, Van Venn JA, Van Elsas JD. 2004;. Microbial diversity in soil: selection microbial populations by plant and soil type and implications for disease suppressiveness. *Annu Rev Phytopathol.* 42 (29): 243-270.
- INEGI 2021. *Cuentas de los Ecosistemas de México. Resultados del Proyecto Natural Capital Accounting and Valuation of Ecosystem Services (NCAVES)*. México, INEGI, 258 pp.
- Jumpponen, A., Jones, KL y Blair, J. 2010. Distribución vertical de comunidades fúngicas en suelo de pradera de pastos altos. *Micología*, 102 (5), 1027-1041.



- Jureczko M y Przysaś W. 2018. *Pleurotus ostreatus* and *Trametes versicolor*, Fungal Strains as Remedy for Recalcitrant Pharmaceuticals Removal Current Knowledge and Future Perspectives. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research* 3(3).
- Krasilnikov, P., M. C. Gutiérrez-Castorena, R. J. Ahrens, C. O. Cruz-Gaistardo, S. Sedov, and E. Solleiro-Rebolledo. 2013. *The soils of Mexico*. Springer. Netherlands.
- Kirk PM, Cannon PF, Minter DW, Stalpers J, A. 2008. *Ainsworth y Bisbys dictionary of the fungi*. 10a. ed CABI. Wallingford, UK. p. 771.
- Lakhout A, 2019. Removal of Pharmaceutical and Personal Care Products PPCPs from Wastewater. *Open Access Journal of Environmental & Soil Science*, Volume 2 – Issue
- McDaniel, P. A., D. J. Lowe, O. Arnalds, and C. L. Ping. 2012. Andisols. pp. 33.29-33.48. In: P. M. Huang, Y. Li, and M. E. Sumner (eds.). *Handbook of soil sciences: Resource management and environmental impacts*. CRC Press (Taylor & Francis). Boca Raton, FL, USA.
- Mata-Alejandro, H., Galindo-Tovar, M. E., Famiani, F., Leyva-Ovalle, O. R., & Cruz-Castillo, J. G. 2021. Environmental conditions, and phenolic compounds potential in the leaves of *Vitis tiliifolia* Humb. & Bonpl. ex Schult. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 3435-3444.
- Malusá E. Pinzari F. y Canfora L. 2016. Efficacy of biofertilizers: Challenges to improve crop production. En: *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity* (Singh D.P., Singh H.B. y Ratna P., Eds.). Springer, Nueva Delhi, India, pp. 373-392. DOI: 10.1007/978-81-322-2644-4_2
- Meliani A, Bensoltane A, Mederbel K. 2012. Microbial diversity and abundance in soil: related to plant and soil type. *Am J Plant Nutr Fert Technol*. 2: 10-18.
- Miller M.H. 2000. Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: A review of Guelph studies. *Can. J. Plant Sci*. 80 (1), 47-52. DOI: 10.4141/p98-130



- Mir-Tutusaus J, Parladé E, Villagrasa M, Barceló D, Rodríguez S, Martínez M, Gaju N, Sarrà M, Caminal G. 2019. Long-term continuous treatment of nonsterile real hospital wastewater by *Trametes versicolor*. *Journal of Biological Engineering* 13, 47.
- Olicón D, González J, Aranda E. 2017. Overview on the Biochemical Potential of Filamentous Fungi to Degrade Pharmaceutical Compounds. *Frontiers in Microbiology*. 8:1792.
- Rouphael Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., Pascale S., Bonini P. y Colla G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Sci. Hort.* 196, 91-108. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.002
- Samson, R. A., Visagie, C. M., Houbaken, J., Hong, S. B., Hubka, V., Klaassen, C. H., y Frisvad, J. 2014. Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. *Studies in mycology*, 78(1), 141-173.
- Sivila R, Hervé D. Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano central. Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. La Paz, Bolivia. Julio 1999.
- Scandellari F. 2017. Arbuscular mycorrhizal contribution to nitrogen uptake of grapevines. *Vitis J. Grap. Res.* 56 (4), 147-154.
- Smith S.E. y Read D.J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. 3a. ed. Academic Press, Londres, Reino Unido, 320 pp.
- Swift MJ, Bignell D. 2001. Standard methods for the assessment of soil biodiversity and land-use practice. ASB-Lecture Note 6B. International Centre for Research in Agroforestry, South East Asian Regional Research Programme, Bogor, Indonesia.
- Thirkell T.J., Cameron D.D. y Hodge A. 2016. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant Cell Environ.* 39 (8), 1683-1690. DOI: 10.1111/pce.12667



Watanabe T. 2010. Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: morphologies of cultured fungi and key to species. Boca Raton: CRC Press. p. 397.

Zak D, R, Holmes WE, White DC, Peacock AD, Tilman D. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? Ecology. 84(8): 2042-2050.



ANÁLISIS DEL PROCESO LLUVIA-ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA DEL RÍO JAMAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Silvano Pozos Suarez³⁵⁴, Claudia Araceli Dávila Camacho^{354*}, Claudio Hoyos Reyes³⁵⁵,
María del Refugio Castañeda Chávez³⁵⁴ y Christian Reyes Velásquez³⁵⁴

Resumen

La modelación del patrón hidrológico del proceso lluvia-escorrentía de la cuenca del río Jamapa es de gran ayuda para la planeación de una adecuada gestión sustentable del recurso hídrico. Al analizar el patrón hidrológico del proceso lluvia-escorrentía de los eventos de lluvias intensas ocurridas en la cuenca del río Jamapa entre los años 1952 y 2014, tomando en cuenta las características fisiográficas de la cuenca. Se utilizó el modelo HEC-HMS 4.7.1, para el modelado hidrológico, se exploró la capacidad e idoneidad del modelo para el diagnóstico y/o predicción de avenidas asociadas a lluvias intensas ocurridas dentro de la cuenca. La información de precipitación utilizada en el modelo fue del Servicio Meteorológico Nacional y la escorrentía del Programa Nacional Contra Contingencias Hidráulicas, ambos pertenecientes a la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). Aunado a lo anterior, se realizó el análisis de la escorrentía con ayuda de las cartas de uso de suelo y vegetación, y edafología (INEGI 2022), para modelar numéricamente la escorrentía superficial de la cuenca del río Jamapa. Se identificaron 45 estaciones climáticas en la cuenca del río Jamapa. Se reprodujeron 349 hidrogramas de escurrimientos máximos en el periodo analizado, con las bases de datos de gastos (m^3/s) observados de las estaciones hidrométricas Paso del Toro y el Tejar, de las cuales se eligieron diez eventos que superaron el promedio máximo mensual de $136.40 \text{ m}^3/\text{s}$ y de $79.33 \text{ m}^3/\text{s}$ para cada estación hidrométrica respectivamente. La modelación del proceso lluvia-escorrentía con HEC-HMS con variables de entrada como las características hidrometeorológicas, morfológicas, edafológicas, vegetación y uso de suelo, permite concluir que el modelo puede ser utilizado para la modelación hidrológica de eventos de precipitación intensa con fines de diagnóstico y pronóstico de avenidas en la cuenca.

³⁵⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. Email: ^{1*}claudia.dc@bdelrio.tecnm.mx

³⁵⁵ Universidad Veracruzana. Facultad de Instrumentación Electrónica. Licenciatura en Ciencias Atmosféricas.



Palabras clave: precipitación, escorrentía, modelado hidrológico, modelo HEC-HMS

Introducción

En México el manejo del agua de los ríos ha sido inadecuado por las diferentes actividades antrópicas, las variaciones estacionales del clima y de los cambios del patrón hidrológico de los escurrimientos, lo que ha llevado a la pérdida de los ecosistemas (Fabricius, 2005). Los escurrimientos asociados a lluvias intensas dentro de una cuenca hidrológica pueden provocar inundaciones en algún o algunos puntos de la misma, ocasionando daños a la infraestructura, economía, salud, agricultura, entre otros, situación se agrava cuando no se dispone de un sistema de alerta temprana ante avenidas de gran magnitud. En México la modelación hidrológica con fines de predicción de avenidas, se practica desde hace varios años, sin embargo, poco ha sido utilizada como herramienta operativa, que coadyuve a la toma de decisiones para reducir daños por eventos meteorológicos extremos y, para la creación de sistemas de alerta temprana en el ámbito de la protección civil que ayude a salvaguardar la integridad de la población (Pérez, 2015).

La cuenca del Río Jamapa forma parte de la región hidrológico-administrativa No. 28 Papaloapan. En mayor medida la cuenca del Río Jamapa se encuentra dentro de la entidad veracruzana en su porción centro-sur, así como en pequeñas proporciones del sureste de Puebla y oriente de Oaxaca, y se compone de dos subcuencas: una con el nombre de Jamapa y la otra Cotaxtla, ambas llevan el nombre de sus afluentes principales y confluyen en la parte baja de la cuenca.

El río Jamapa drena un área aproximada de 1924 km² y nace a una elevación de 4,700 msnm con el nombre de Barranca de Coscomatepec; por su parte el río Cotaxtla drena un área aproximada de 1,673 km² y nace a una elevación de 5,700 msnm en una zona limítrofe de los estados de Puebla y Veracruz, con el nombre de río Barranca de Chocomán (Pereyra *et al.*, 2010). La precipitación promedio mensual en la cuenca, presenta una temporada de estiaje de noviembre y a mayo y una de húmeda de junio a octubre (Lunagómez, 2018).

El objetivo del presente estudio es caracterizar el patrón hidrológico del proceso lluvia-escurrimiento con eventos de lluvias intensas, ocurridos en la cuenca del Río Jamapa entre los años 1952 y 2014, utilizando un sistema de modelado hidrológico que tome en cuenta las características fisiográficas de la



cuenca, capaz de simular los caudales máximos a partir de datos pluviométricos que sirvan como información de entrada para el modelo.

Materiales y Métodos

El área de estudio es la cuenca del río Jamapa, localizada en la zona central del estado de Veracruz, entre los 18° 45' y 19° 14' latitud norte y 95° 56' y 97° 17' longitud Oeste (CONAGUA, 2005). Tiene un área aproximada de 3,912 km² (Figura 1). El río Jamapa lo forman dos corrientes secundarias, una lleva el nombre de río Jamapa y otra el nombre de río Cotaxtla, ambas nacen desde las faldas del volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba, confluyendo casi a la salida de la cuenca. Los dos afluentes principales de la cuenca del río Jamapa cuenta con dos estaciones hidrométricas ubicadas en sus partes bajas; sobre el río Jamapa se encuentra la estación El Tejar y sobre el río Cotaxtla la estación Paso del Toro, en ambas estaciones hidrométricas se tomarán los datos de gastos diarios.

Para la realización de este trabajo, se utilizó la base de datos de gastos diarios (m³/s) para el periodo de 1951 a 2014 de las estaciones hidrométricas El Tejar y Paso del Toro, las cuales se obtuvieron del Banco Nacional de Aguas Superficiales de la (CONAGUA, 2021).

Para el análisis de la lluvia se utilizó información de 47 estaciones climatológicas convencionales distribuidas dentro de la cuenca, de la base de datos se depuró y se seleccionaron las estaciones hidrométricas con los escurrimientos máximos más relevantes y que dispusieran de registros de lluvia acumulada en 24 horas en las estaciones meteorológicas (López *et al.*, 2012).

Para la modelación hidrológica a la cuenca del río Jamapa, se utilizó el Software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center Hidrologic Modeling System) versión 4.7.1, el cual es de gran utilidad para la simulación del proceso lluvia-escurrimiento (Scharffenbeneg, 2016).

Para la obtención del número de curva HEC-HMS se requiere información de la zona de estudio, como: tipo de suelo, uso de suelo, vegetación y pendiente del terreno (Villarroya *et al.*, 2013). Para ello se tomaron los conjuntos de datos vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación de la Serie I, adicionalmente, se trabajaron con siete series disponibles por el INEGI a una escala de 1:250,000 (INEGI, 1997; INEGI, 2001; INEGI, 2005; INEGI, 2009; INEGI, 2014, (INEGI 2022), que permiten la caracterización y resultados confiables. Así como de información de las 45 estaciones climatológicas convencionales, mismas que cuentan con registros diarios de lluvia, y obtenidas de la base de datos

climatológicos CLICOM (CLImate COMputing proyect) la cual cuenta con información diaria desde 1920 a 2012 (CONAGUA, 2021).

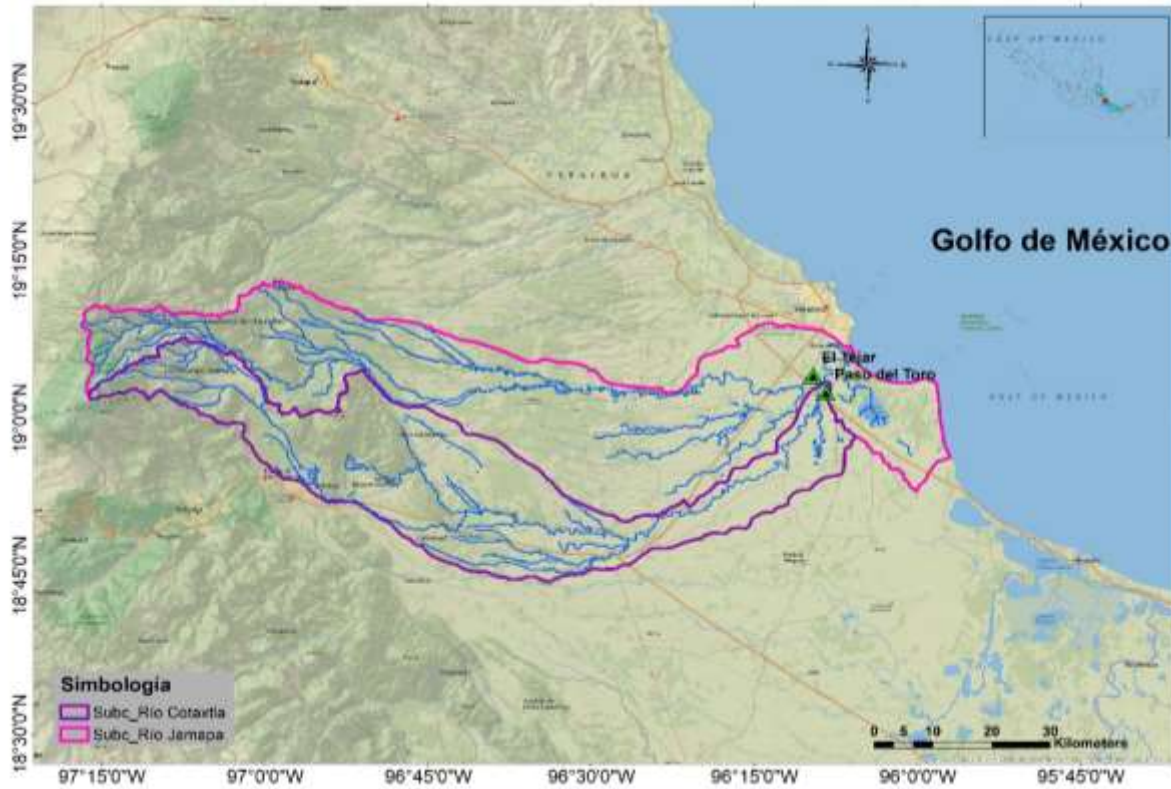


Figura 1. Ubicación de las subcuencas Jamapa y Cotaxtla que conforman a la cuenca del río Jamapa, y la localización de las estaciones hidrométricas El Tejar y Paso del Toro. INEGI (SIATL 2022). Imagen propia, elaborada con Esri Inc. 10.3.

Para utilizar los datos de precipitación como información de entrada al modelo, fue necesario realizar estimaciones de la lluvia media en la cuenca para cada evento por medio de la técnica de los polígonos de Thiessen y con ayuda de Esri Inc. 10.3.

La lluvia promedio h_p se calculó usando la ecuación (1):

$$h_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi}$$

Donde, A_i es el área de influencia de la estación i en km^2 , A_T es el área total de la cuenca en km^2 , h_{pi} es la altura de la precipitación registrada en la estación i en mm.

Otro parámetro fundamental para la modelación con HEC-HMS fue el Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de lo Estados Unidos (CN-USSCS, por sus siglas en inglés), dado que con este se estima la precipitación excesiva, es decir, la precipitación que se asocia al escurrimiento directo. Cada uno de los eventos fueron modelados con ayuda de Software HEC-HMS versión 4.7.1, el cual se evaluó con 10 eventos de precipitación. Posteriormente se validaron las simulaciones obtenidas mediante un proceso de coeficiente de determinación entre los valores observados y los estimados por el programa.

Resultados y Discusión

De la base de datos se identifican 45 estaciones climatológicas convencionales distribuidas en toda la extensión de la cuenca y cercanas a esta (Figura 2), de las cuales se analizó la información de lluvia.

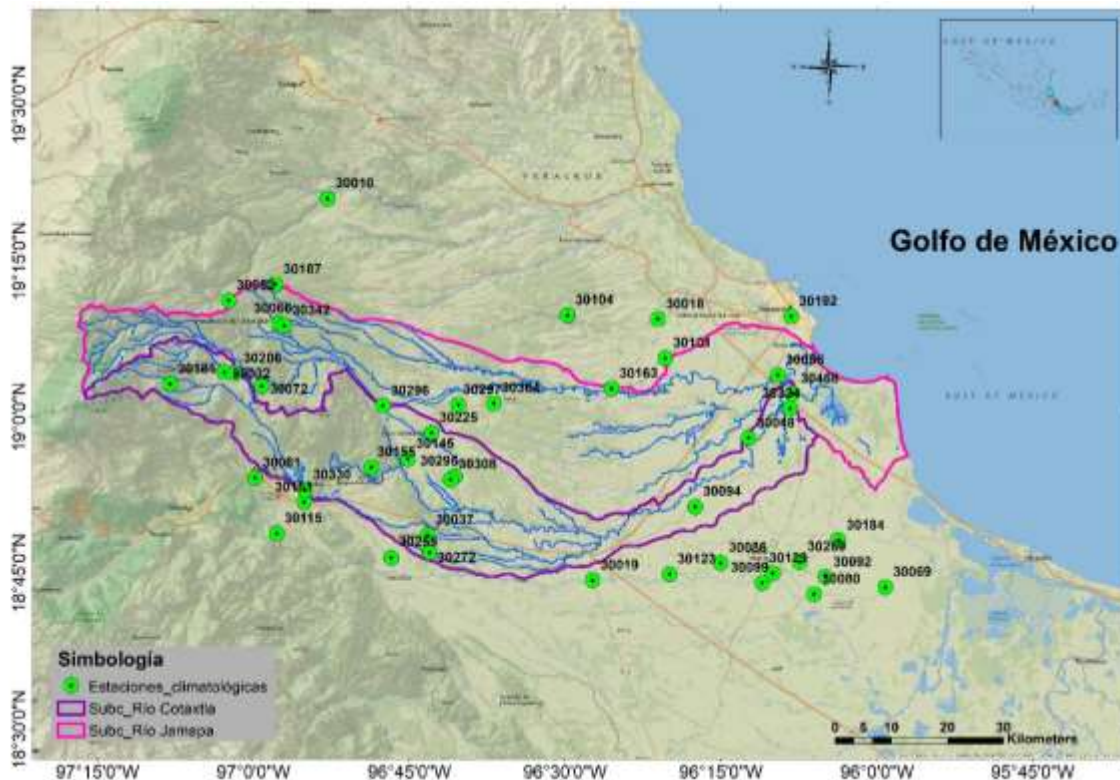


Figura 2. Localización de las estaciones climatológicas dentro y cercanas a la cuenca del río Jamapa.



Se identificaron 349 hidrogramas de escurrimientos máximos presentados en el periodo analizado, seleccionando los diez eventos con mayor precipitación intensa y sus gastos diarios asociados, que superaron el promedio máximo mensual de 136.40 m³/s y de 79.33 m³/s registrados en las estaciones hidrométricas El Tejar y Paso del Toro. En el Cuadro 1 se muestran las fechas de cada evento de precipitación.

Cuadro 1. Eventos de precipitación ocurridos en la cuenca del río Jamapa.

Eventos de tormenta	Fecha
1	Del 23 al 30 de julio de 1973
2	Del 25 de junio al 02 de julio de 1976
3	Del 22 al 28 de octubre de 1977
4	Del 06 al 12 de septiembre de 1978
5	Del 21 al 26 de septiembre de 1978
6	Del 22 al 29 de septiembre de 1980
7	Del 23 al 28 de junio de 1981
8	Del 11 al 17 de julio de 1981
9	Del 05 al 12 de septiembre de 2008
10	Del 16 al 22 de septiembre de 2010

Para la selección de los eventos de precipitación, se consideró que cada uno tuviera el mayor número de estaciones climatológicas con información de lluvia diaria disponible. El modelo HEC-HMS pudo resolver de manera óptima las simulaciones de los hidrogramas asociados a eventos de lluvias intensas ocurridas en la cuenca del río Jamapa (Figura 3).

El evento de mayor relevancia por su magnitud se relacionó con los efectos generados por el huracán “Karl” en el año 2010, el cual impactó la costa central de Veracruz con categoría 4 en la escala Saffir-Simpson (SMN, 2022), generando diversas afectaciones en la cuenca del río Jamapa, entre ellas, inundaciones en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río (Tejeda, 2012). Por otro lado, a lo largo del periodo 1997 – 2021, la cuenca del Río Jamapa tiende a ser cada vez más impermeable, dada la tendencia de incremento de los números de curva.

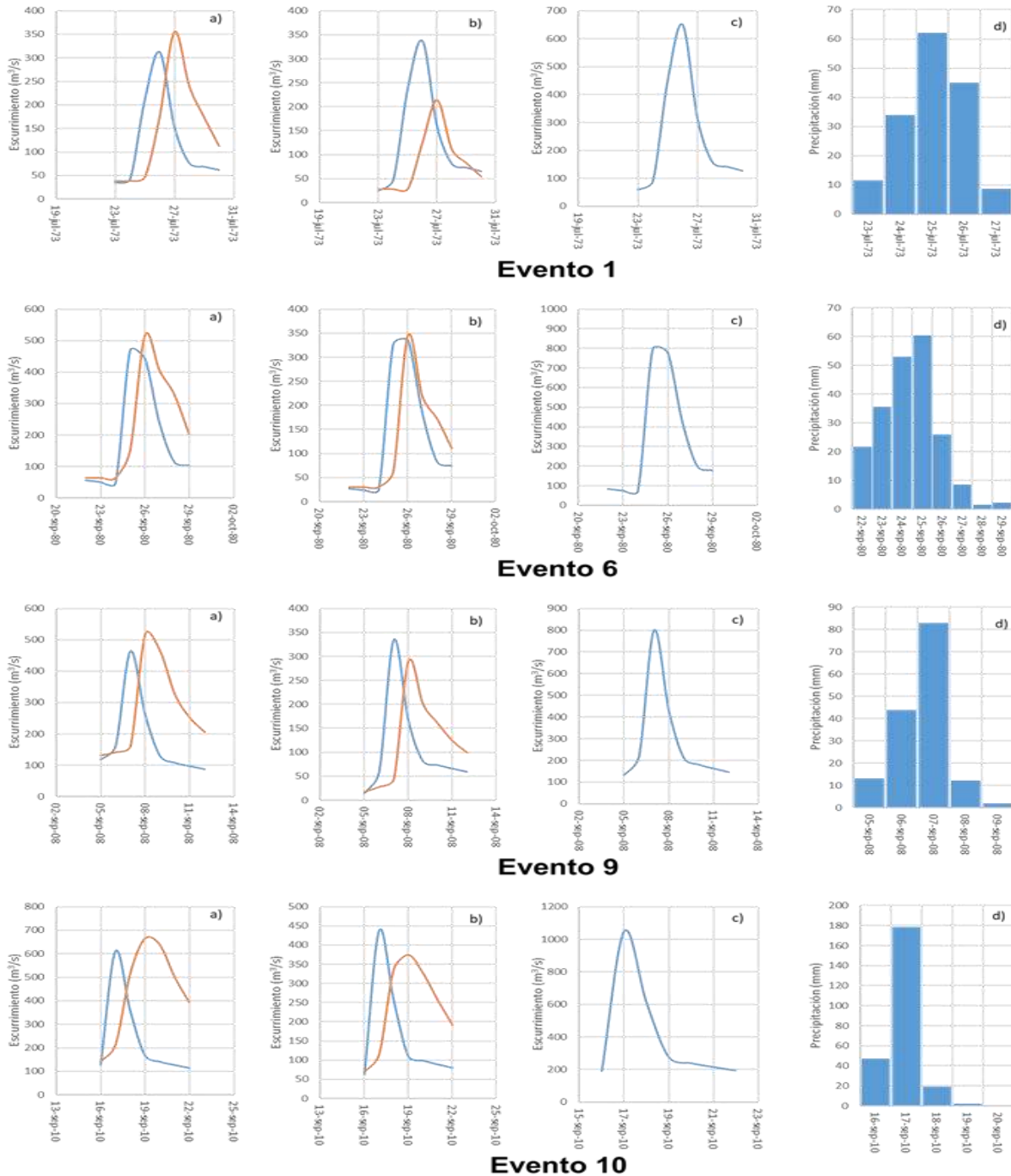


Figura 3. Eventos modelados: a) corresponde al escurrimiento del río Cotaxtla, b) al escurrimiento del río Jamapa; c) el escurrimiento total estimado, d) es el hietograma de la precipitación observada.

La evaluación de la eficiencia del modelo HEC-HMS se llevó a cabo mediante el coeficiente de determinación entre los gastos máximos observados y los estimados por el modelo HEC-HMS de cada evento (Figura 4). En la estación hidrométrica Paso del Toro (a) se obtuvo un coeficiente de



determinación $R^2 = 0.9747$, lo que indica que el modelo explica el 97% de los eventos analizados, en tanto que para la estación hidrométrica El Tejar se obtuvo un $R^2 = 0.7761$, es decir, que explica el 77% de los casos. En la modelación de caudales máximos utilizando el mismo modelo, Koneti *et al.* (2018) obtuvieron resultados confiables en valores de correlación del 83% para la cuenca del río Godavari en la India. Y Rodríguez *et al.* (2010) al modelar con HEC-HMS gastos máximos superiores a los 350 m^3/s , obtuvieron una eficacia del 90% en la cuenca del Río Reno de la región Emilia Romagna, Italia. En tanto que, para la estación hidrométrica El Tejar se obtuvo un $R^2 = 0.7761$ es decir, que explica el 77% de los casos. Como lo mencionó Pereyra (2016), las variaciones en las estimaciones y las bajas concordancia, se consideraron aceptables debido a la magnitud de los resultados de volúmenes obtenidos por el modelo. Al respecto, de acuerdo a Cabrera (2012), además de analizar las características del suelo, se debe analizar los procesos que intervienen en la formación de la escorrentía, como son: evaporación, evapotranspiración, humedad del suelo, que para este estudio no se tomó en cuenta.

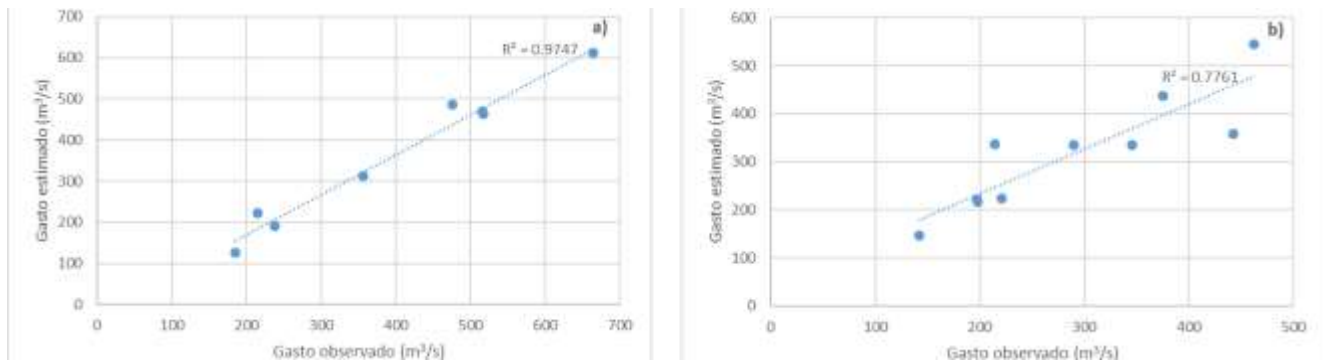


Figura 4. Correlación de gastos máximos observados versus estimados para las estaciones hidrométricas Paso del Toro a) y El Tejar b), con su valor del coeficiente de determinación.

Conclusiones

1. De acuerdo al análisis de eficiencia por medio de una correlación entre gastos máximos observados y estimados de los 10 eventos seleccionados para las estaciones hidrométricas Paso del Toro y El Tejar, el modelo HEC-HMS se ajustó con un valor de confianza de 97% y 77% respectivamente.
2. Para los eventos de mayor precipitación el modelo HEC-HMS presentó mayor concordancia para la estación hidrométrica Paso del Toro, el evento 2 ocurrido del 25 de junio al 02 de julio de 1976, y el evento 5 ocurrida del 21 al 26 de septiembre de 1978.



3. Los resultados en la modelación del proceso lluvia-escorrentía con HEC-HMS en la cuenca del río Jamapa, permite concluir que el modelo puede ser utilizado para la modelación hidrológica de eventos de precipitación intensa con fines de diagnóstico y pronóstico de avenidas en la cuenca.
4. La información disponible de las características hidrometeorológicas, morfológicas, edafológicas, vegetación y uso de suelo, que se usaron en el modelo HEC-HMS como variables de entrada, demostraron caracterizar de manera correcta la zona de estudio, dado que los datos estimados tienen un coeficiente de determinación aceptable en relación a lo observado.

Literatura Citada

Aparicio Mijares F. J. 2008. Fundamentos de Hidrología de Superficie. ISBN 968-18-3014-8.

Cabrera, J. 2012. Modelos hidrológicos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno El Niño, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Perú, 8.

Castiglioni, M. G., Chagas, C. I., Massobrio, M. J., Santanatoglia, O. J., y Buján, A. 2006. Análisis de los escurrimientos de una microcuenca de Pampa Ondulada bajo diferentes sistemas de labranza. Ciencia del suelo 24(2):169-176.

CONAGUA 2021. Servidor de Bases de información [consultado 12 de septiembre 2021].

Fabricius, K. E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. Marine Pollution Bulletin 50(2):125-146.
ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Bandas

González, M. Á., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J. V., y López, J. J. Análisis del modelo HEC-HMS para la simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona (C. Agua y ciudad).
https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/ [consultado el 22 de noviembre 2023].
<https://www.esri.com>
<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>



INE – INEGI. 1997. Conjunto de Datos Vectoriales Uso de suelo y vegetación, Serie I, Escala 1:250000 (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2017. Gobierno de estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. 1225.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2001. Conjunto de Datos Vectoriales Uso de suelo y vegetación, Serie II, Escala 1:250000 (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2005. Conjunto de Datos Vectoriales Uso de suelo y vegetación, Serie III, Escala 1:250000 (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2009. Conjunto de Datos Vectoriales Uso de suelo y vegetación, Serie IV, Escala 1:250000 (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2014. Conjunto de Datos Vectorial edafológico, Serie II, Escala 1:250000 (Continuo Nacional). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) México.

Juárez-Méndez, J., Ibáñez-Castillo, L. A., Pérez-Nieto, S., & Arellano-Monterrosas, J. L. L. 2009. Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río Huehuetán. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 1(2):69-76.

Koneti, S., Sunkara, S. L., y Roy, P. S. 2018. Hydrological modeling with respect to impact of land-use and land-cover change on the runoff dynamics in Godavari River Basin using the HEC-HMS model. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7(6), 206 p.



- López, J. J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J. V., y Gimena, F. N. 2012. Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y proyectos* (12):15-30.
- Lunagomez, D. P. 2018. Proyecciones de escorrentía generada por tormentas aisladas ante escenarios de cambio climático: caso de estudio cuenca del río La Antigua. Tesina de licenciatura. Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana: Universidad Veracruzana, 2010. v. 1, p. 85-122. ISBN 9786079513160.
- Maderey, L. E. 1987. Clima, escurrimiento y acarreo en suspensión en las cuencas de los ríos San Pedro y Macuspana, México. *Revista Geográfica* (106):109.
- Pereyra D. D., Pérez S. J. A. A., y Salas O. M. D. R. 2010. Hidrología. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; E. Florescano y J. Ortiz E. (coordinadores). México: Gobierno del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz: Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana: Universidad Veracruzana, 2010. v. 1, p. 85-122. ISBN 9786079513160.
- Pereyra, D., Hoyos, C., Pereyra, K., Filobello, U., Pérez, A. y Ramírez, V. 2016. Escurrimiento generado por tormentas intensas en Veracruz, México. Estado actual y ante escenarios de cambio climático. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 29 pp.
- Pérez L., G. 2015. Modelación hidrológica continua para fines de pronóstico de avenidas en ríos (Master's thesis).
- Pérez S. J. A. A., Maderey R. L. E., Pereyra D. D. y Filobello N. U. A. 2012. Estimación de la creciente de diseño utilizando el hidrograma unitario instantáneo: el caso de la cuenca del río Tecolutla, México. *Investigaciones geográficas* (79):20-38.
- Rodríguez, Y., N. Marrero de León, y Laura G. 2010. Rainfall-runoff model for Reno's river basin. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(2):31-37.



Scharffenbeneg, W. 2016. Hydrologic modeling system HEC-HMS: user's reference manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 157.

SIALT (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas) SIALT V4.0

SINA (Sistema Nacional de Información del Agua). 2021. Regiones hidrológicas, HEC-HMS 4.11 Beta 16 mapa CONAGUA 2021. <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=regionesHidrologicas&ver=mapa> [consultado el 30 de octubre 2021].

SMN (2021) Información estadística climatológica, Comisión Nacional del agua (CONAGUA), Servicio Meteorológico nacional (SMN) México. Consultado 05/02/2021.

SMN (Sistema Meteorológico Nacional) 2022. Información Climática Nacional <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=ver> [consultado el 25 enero 2022].

Tejeda, A. 2012. Las inundaciones de 2010 en Veracruz. Memoria social y medio físico. Tomo 1. Universidad Veracruzana.

Thiessen, A. 1911. Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Review 1082 – 1084.

Villarroya, J., Farias, H., y Amarilla, M. 2013. Estimación del parámetro hidrológico del número de curva nc: Automatización del cálculo mediante sig y nuevas fuentes de información cartográfica. caso del área urbana de pozo hondo. IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA.



PRINCIPIO PRECAUTORIO APLICADO AL ÁREA NATURAL PROTEGIDA ESTATAL ARROYO MORENO, VERACRUZ, MÉXICO: PERCEPCIÓN DE PROFESIONALES EN ESTUDIOS AMBIENTALES

Sergio José Cházaro Martínez^{356*}, Jesús Montoya Mendoza³⁵⁶, Ángel Morán Silva³⁵⁷, Sergio Cházaro Olvera³⁵⁷,
Fabiola Lango Reynoso³⁵⁶ y Rosa Elena Zamudio Alemán³⁵⁶

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue analizar la percepción de profesionales en el área ambiental de las posibles alteraciones ambientales al sistema acuático y terrestre del arroyo Moreno a través de la aplicación sistematizada del principio precautorio. La metodología para la aplicación del principio de precaución se siguió de acuerdo con lo establecido por Tickner y Raffensperger (2022) quienes consideran seis etapas. En las dos primeras etapas, se obtuvo la información utilizando un cuestionario estructurado y estandarizado de alternativas múltiples aplicado a profesionales en estudios ambientales con conocimiento del área natural protegida. Para los servicios ecosistémicos se utilizó la clasificación de temas de INEGI: agua, suelo, biodiversidad, recursos, ambiente, cultura y educación e investigación, estética. Para el principio precautorio los temas fueron clasificados en: administración y legislación, amplitud de la afectación, afectación de la biodiversidad, modificación de factores físicos y químicos, causas de la afectación, daño en tiempo, espacio y magnitud y, corrección de alteración. La percepción de los profesionales es que el área natural es importante en el saneamiento del agua y contribuye con formación del suelo. En cuanto a la biodiversidad, el área provee de espacios para dar refugio a especies migratorias y conserva la diversidad genética. Se considera que reduce daños ante catástrofes naturales, participa en la regulación del clima, en el ciclo de nutrientes y en mejorar la calidad del aire. La zona tiene valor estético, provee de servicios recreativos y de ecoturismo, tiene valor educativo y de investigación. En los temas específicos del principio precautorio, los profesionales consideran que el área debe ser administrada siguiendo la legislación para su conservación y que puede proveer de servicios ecosistémicos; sin embargo, hay falta de atención respecto a la prevención por fallas a nivel

³⁵⁶ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río. *m22990012@bdelrio.tecnm.mx

³⁵⁷ Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.



gubernamental. Se percibe que las alteraciones afectan a la salud humana y a los ecosistemas aledaños. Hay problemas por la baja concentración de oxígeno disuelto y se producen olores desagradables. En el tema daño en tiempo, espacio y magnitud, la percepción es que la intensidad de alteración es alta en tiempo inmediato. En cuanto a corrección de la alteración, los profesionales consideran que la amenaza es reversible pero costosa y con cierto grado de dificultad.

Palabras clave: reserva natural, sustentabilidad, manejo y conservación, mitigación ambiental

Introducción

Para abordar el enfoque precautorio es importante considerar la definición de medio ambiente propuesta por la FAO (2023) que establece que es “el producto de la interacción dinámica de todos los elementos, objetos y seres vivos presentes en un lugar y que están sometidos a diversas influencias y acontecimientos” incluyendo los de origen antropogénico. Tales influencias pueden estar ocasionando perturbaciones en el ambiente, por lo que es necesario determinar con datos objetivos las amenazas o impactos detectados. Al respecto, es necesario contar con una metodología sistematizada para la aplicación del enfoque precautorio (Raffensperger y Tickner, 1999).

Puede considerarse que el origen del enfoque precautorio inicia en 1930 en Alemania, cuando se determina la importancia de sistematizar el análisis de la interacción entre la sociedad y el medio ambiente, de tal manera que comienza a establecerse la necesidad de tener precaución cuando por diversas causas se modifica el medio ambiente, por lo que será fundamental, la participación del Estado quien se encargará de favorecer el proceso de resiliencia de este medio ambiente (Boehemer, 1994).

El principio precautorio quedó establecido en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) donde se menciona que "Con el fin de proteger el medio ambiente, los estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente".

Un enfoque interesante es el planteamiento de un algoritmo propuesto por Raffensperger y Tickner (1999), quienes consideran que: Incertidumbre científica + sospecha de daño = acción precautoria; por



una parte, la incertidumbre proviene del desconocimiento (por lo que es necesario incrementar la información) y, por otra parte, el daño debe ser potencialmente serio (en superficie o volumen o períodos de tiempo), irreversible y acumulativo.

Así, la acción precautoria debe ser anticipatoria, cuyos componentes son: 1) tomar acción precautoria antes de la evidencia científica de la causa y el efecto, 2) establecer metas, 3) buscar alternativas a las prácticas dañinas, 4) determinar la carga financiera de la prueba al investigar, informar, actuar y fiscalizar y, 5) implementar criterios y métodos de participación democráticos en la de toma de decisiones (Artigas, 2001).

Para México, un ejemplo que contempla el principio de precaución es lo contemplado en la Ley General de Cambio Climático (LGCC) porque en su Artículo 26 se establece el principio ambiental de precaución relativo, cuando haya amenaza de daño grave o irreversible, retoma que la falta de total certidumbre científica (por escasa información) no es causal para no proponer medidas de mitigación y adaptación para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático; específica que se entiende la mitigación como aplicación de políticas y acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación como las medidas y ajustes en sistemas humanos o naturales. Así mismo, el artículo 1 párrafo tercero y artículo 4 párrafo quinto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, contempla la adopción de medidas eficaces ya sea de acción o de abstención en función de los costos, para impedir su degradación del ambiente, teniendo como elementos del principio precautorio los siguientes: i) la dimensión inter temporal; ii) la falta de certeza científica absoluta del riesgo ambiental; iii) los riesgos tendrán que ser graves e irreversibles y, iv) la inversión de la carga de la prueba al infractor.

Desde un enfoque general el trabajo de Omori (2023) realiza una importante contribución del principio precautorio sobre la biodiversidad de los ecosistemas costeros y oceánicos, haciendo hincapié en el sobre aprovechamiento pesquero y forestal. Son pocos los trabajos en México sobre el principio precautorio, algunos de ellos se han enfocado al análisis del recurso pesquero de la sardina del Pacífico (Galindo-Cortes, 2011), al impacto que causa la Minera Buena Vista del Cobre en zonas aledañas a Cananea, Sonora (Muñoz, 2017), o bien, a la utilización de plaguicidas y la afectación del medio ambiente y la salud en el país (Anglés, 2018). Sobre la zona de estudio en general se han publicado algunos trabajos tendientes a conocer y conservar el ecosistema perteneciente al Área Natural Protegida Arroyo Moreno, entre ellos, el Instituto Veracruzano de Cultura (IVEC) propuso en 1991, un proyecto



para el rescate de la zona arqueológica y la protección de los ecosistemas de la región de Arroyo Moreno en los municipios de Boca del Río y Medellín de Bravo (Martínez-Gómez, 1996).

Martínez-Gómez (1996) publicó una guía de campo para Arroyo Moreno con el objeto de difundir la riqueza biológica de este lugar y su potencial ecoturístico. En noviembre de 1999, el Gobierno del Estado de Veracruz decretó como Área Natural Protegida (ANP) –bajo la categoría de Zona Sujeta a Conservación Ecológica– en donde se determinaron 287 ha de manglar, ubicadas en los municipios de Boca del Río y Medellín de Bravo (Gobierno del Estado de Veracruz-Llave, 1999). Álvarez (2002) llevó a cabo el análisis de la cobertura del manglar del Arroyo Moreno durante un periodo de 40 años (1960-2000), utilizando un sistema de información geográfica (SIG). Agráz-Hernández *et al.* (2006) desarrollaron un estudio sobre la productividad de los manglares en ecosistemas lagunares costeros del estado de Veracruz, haciendo especial énfasis en La Mancha y Arroyo Moreno. Aguilar (2005) publicó una guía de interpretación ambiental, cuyo objetivo fue generar conciencia en la comunidad en general sobre la importancia biológica y económica de los manglares, tomando como base el manglar de Arroyo Moreno.

Garibay (2006) realizó una propuesta de desarrollo comunitario tendiente a la conservación del manglar Arroyo Moreno. La Universidad Veracruzana (SEDESMA-CGMA-UV, 2006) a través del Centro de Ecología y Pesquerías junto con el municipio de Boca del Río, elaboraron un borrador del Programa de Manejo para el manglar de Arroyo Moreno.

Como es notorio, el Área Natural Protegida “Arroyo Moreno” es considerada desde 2008 como una Reserva Ecológica, cuyos objetivos establecen su funcionamiento como una zona de conservación y protección de los ecosistemas. Sin embargo, se han observado: a) posibles daños por contaminación causados por actividades antropogénicas, b) disminución en la cobertura vegetal por deforestación del manglar, c) modificación del uso del suelo por la construcción de viviendas.

Dado lo anterior, se considera necesario aplicar el principio precautorio puesto que establece que, los estados deberán emplear el criterio de precaución cuando se determine el peligro de daño grave o irreversible, por lo que es de suma importancia contar con información científica y de la sociedad para la toma de decisiones. Considerando lo anterior, el objetivo del presente estudio fue analizar la percepción de los profesionales en el área ambiental que tienen conocimiento de la zona, sobre las posibles alteraciones ambientales al sistema acuático y terrestre del Arroyo Moreno a través de la aplicación sistematizada del principio precautorio.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El ANP Arroyo Moreno tiene una superficie decretada de 287-09-50 ha incluidas en la poligonal envolvente detallada en la Declaratoria del 25 de noviembre de 1999, bajo la modalidad estatal de Zona Sujeta a Conservación Ecológica (Gobierno del Estado de Veracruz, 1999). Se localiza entre los 19° 05' y 19° 08' de latitud norte y los 96° 06' y 96° 09' de longitud oeste. Su gradiente altitudinal oscila desde el nivel del mar hasta 5 msnm (Aguilar, 2005). Tiene una extensión actual aproximada de 287 ha, de las 400 que originalmente tenía, es una zona inundable cuando menos en una época del año (Garibay, 2006). La mayor parte del ANP se ubica dentro de los límites del municipio de Boca del Río y una porción menor en el municipio de Medellín de Bravo. Colinda al norte con las colonias Miguel Alemán, Plan de Ayala y UGOCEP, al este con el fraccionamiento La Joya, Colonia El Morro, Graciano Sánchez y al sur con el Fraccionamiento La Tampiquera. El Arroyo Moreno recibe agua dulce del río Jamapa y agua marina por los intercambios mareales con el Golfo de México, el patrón mareal es de tipo mixto diurno. El canal de agua que se localiza dentro del área protegida sigue un curso de 11 km de longitud, la columna presenta una profundidad promedio de 1.5 m, pero hay sitios con más de 3 m, en el fondo predominan sedimentos limosos; la corriente desemboca en el margen izquierdo del río Jamapa a unos 1 300 m de la boca estuarina que se comunica al mar (López-Portillo *et al.*, 2009). El clima según la clasificación de Köppen modificado por García (1973) es Cálido subhúmedo (Aw2) con temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor de 18°C. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice precipitación/temperatura mayor de 55.3 mm y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual. En cuanto a la edafología, la región presenta una gran variación de tipos de suelo, de un total de 6 tipos de suelo, los que presentan mayor predominancia son los de tipo Regosol y Vertisol. La zona está sujeta climáticamente a tres estaciones: la de frentes fríos que abarca de noviembre a marzo, con escasa precipitación, temperatura del aire baja y frecuentes llegadas de aire frío boreal; la estación de secas, de abril a junio y puede extenderse hasta agosto, con las mayores temperaturas, menor precipitación pluvial y volúmenes bajos de agua en los cauces, y la época de lluvias abarca de agosto a octubre, es cuando suceden las mayores descargas pluviales que llegan a ocasionar inundaciones (Martínez-Gómez, 1996).



Para la aplicación del principio de precaución se siguió la propuesta de Tickner y Raffensperger (2022) que consideran seis etapas y consisten en: 1) identificar la posible amenaza y caracterizar el problema, el propósito es lograr una mejor comprensión de lo que podría suceder si la actividad continúa; 2) identificar lo que se sabe y lo que no se sabe sobre la amenaza (los autores mencionados consideran que la percepción de los científicos es de suma importancia para tener claridad sobre lo que se sabe y lo que no se sabe, clasificado como incertidumbre); 3) reformular el problema para obtener una descripción de lo que debe hacerse; 4) evaluar las alternativas de solución; 5) determinar el curso de acción y; 6) realizar la supervisión y seguimiento de las propuestas.

Para alcanzar el objetivo del presente estudio, se han realizado las dos primeras etapas, donde se obtuvo la información de acuerdo con la adecuación de las preguntas utilizadas en un cuestionario estructurado y estandarizado de alternativas múltiples (Kerlinger, 1975). El cuestionario fue aplicado a profesionales en estudios ambientales con conocimiento del área natural protegida, así mismo, se consideraron los criterios propuestos por Castañeda-Chávez y Lango-Reynoso (2023) que toman en cuenta la participación social para la conservación de los ecosistemas acuáticos.

Para el análisis de los indicadores de servicios ecosistémicos obtenidos a partir de la aplicación de los cuestionarios se utilizó la clasificación propuesta por INEGI (2023) (Cuadro 1). En la sección de servicios ecosistémicos se propone la escala para la toma de decisión de acuerdo con los porcentajes mostrados en la selección de cada alternativa por ítem o pregunta aplicada (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de temas para indicadores ecosistémicos de INEGI (2023), así como para la toma de decisión de acuerdo con el porcentaje de respuesta para los servicios ecosistémicos.

Tema	Porcentaje	Alternativa
Agua	0 al 10	Baja atención
Suelo	11 al 20	Atención media
Biodiversidad	21 al 30	Mayor atención
Recursos	31 a > 40	Prioritaria
Ambiente		
Cultura		
Educación, investigación, estética		



Para el análisis de los indicadores del principio precautorio obtenidos a partir de la aplicación de los cuestionarios se clasificaron en siete temas (Cuadro 2). En la sección de principio precautorio se propone la escala para la toma de decisión de acuerdo con los porcentajes mostrados en la selección de cada alternativa por ítem o pregunta aplicada (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de temas de acuerdo principio precautorio y para la toma de decisión de acuerdo con el porcentaje de respuesta para el principio precautorio, así como para la toma de decisión de acuerdo con el porcentaje de respuesta para el principio precautorio.

Tema	Porcentaje	Alternativa
Administración y legislación	0 al 10	Baja atención
Amplitud de la afectación	11 al 20	Mayor atención
Afectación de la biodiversidad	21 al >	Atención Prioritaria
Modificación de factores físicos y químicos	Porcentaje	Alternativa
Causas de la afectación		
Daño en tiempo, espacio y magnitud		
Corrección de alteración		

Se aplicó un análisis de Ji cuadrada (X^2) para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las alternativas de respuesta para cada pregunta (indicador) aplicada.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O - E)^2}{E}$$

Donde: O es la frecuencia de respuesta obtenida u observada, E es la frecuencia esperada.

Resultados y Discusión

Profesionales en estudios ambientales con conocimiento del área: servicios ecosistémicos

Al aplicar el análisis de Ji cuadrada se obtuvieron diferencias significativas entre las proporciones de las alternativas de respuestas para cada pregunta, tanto en los servicios ecosistémicos como en los ítems del principio precautorio ($p < 0.05$). En el tema agua, se determinó que los encuestados consideran que el área natural participa de manera importante en tres de las alternativas clasificadas el rubro de



atención para manejo y que el área natural participa en el saneamiento del agua (32%), en el ciclo del agua de la región de Veracruz (31%) y provee de agua a la zona que podría ser utilizada en agricultura “después de tratamiento” o posterior extracción del subsuelo (23%) (Figura 1). Lo anterior es consistente con lo mencionado por la SEMARNAT (2023a) que establece que los manglares proporcionan importantes servicios ambientales, tal como la protección y regulación de inundaciones en la que incluye a la recarga de los acuíferos, mejora de la calidad del agua al servir como filtro biológico, prevención y reducción de la erosión costera, regulación de la calidad del agua y la captación de carbono; además, son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de crustáceos, alevines y otras especies de flora y fauna.

Respecto al tema suelo, se encontró que dada la importancia sobre el transporte alóctono de suelo que es acarreada por el arroyo de manera directa y por la relación con el cause artificial de la termoeléctrica Dos Bocas proveniente del Río Jamapa, una alternativa se clasificó en atención para manejo del área ya que se determinó que contribuye con la fertilidad del suelo (23%) y una segunda alternativa se clasifica como prioritaria ya que ayuda a la formación del suelo (46%) (Figura 2). En este sentido Maderey (1987) confirma una relación estrecha entre el clima-escurrimiento-acarreo en suspensión y destaca la importancia de la formación del suelo como resultado de esta relación.

Al analizar las respuestas a los indicadores agrupados del tema de biodiversidad, se encontró que los entrevistados manifiestan que cuatro alternativas deben atenderse: el área provee de espacios para dar refugio a especies migratorias (24%), es fuente de productividad primaria (23%), mantiene y conserva la diversidad genética (23% y 21%, respectivamente) (Figura 3). Respecto al tema recursos, se percibe que aún el indicador sobresaliente es la producción de recursos alimenticios (21%) (Figura 4). Para el tema ambiente, cuatro indicadores deben ser atendidos: tres de ellos con el mismo porcentaje (24%), reduce daños ante catástrofes naturales, participa en la regulación del clima, participa en el ciclo de nutrientes, el cuarto item considera que mejora la calidad del aire (22%) (Figura 5). En el tema cultura se determinó que el 13 y 15% corresponde a la clasificación de baja atención. En el tema de educación, investigación y estética cuatro alternativas fueron clasificadas como de mayor atención, entre ellos: La zona tiene valor estético (20%), provee de servicios recreativos y ecoturismo (20%), la zona tiene valor educativo (23%) y contribuye con conocimiento científico (25%) (Figura 6). Respecto de los temas mencionados, la CONABIO (2023) establece que “los humedales costeros, en particular los manglares, brindan servicios ambientales: son zonas de alimentación, refugio y crecimiento de juveniles de crustáceos y alevines, por lo que sostienen gran parte de la producción pesquera, poseen un alto valor



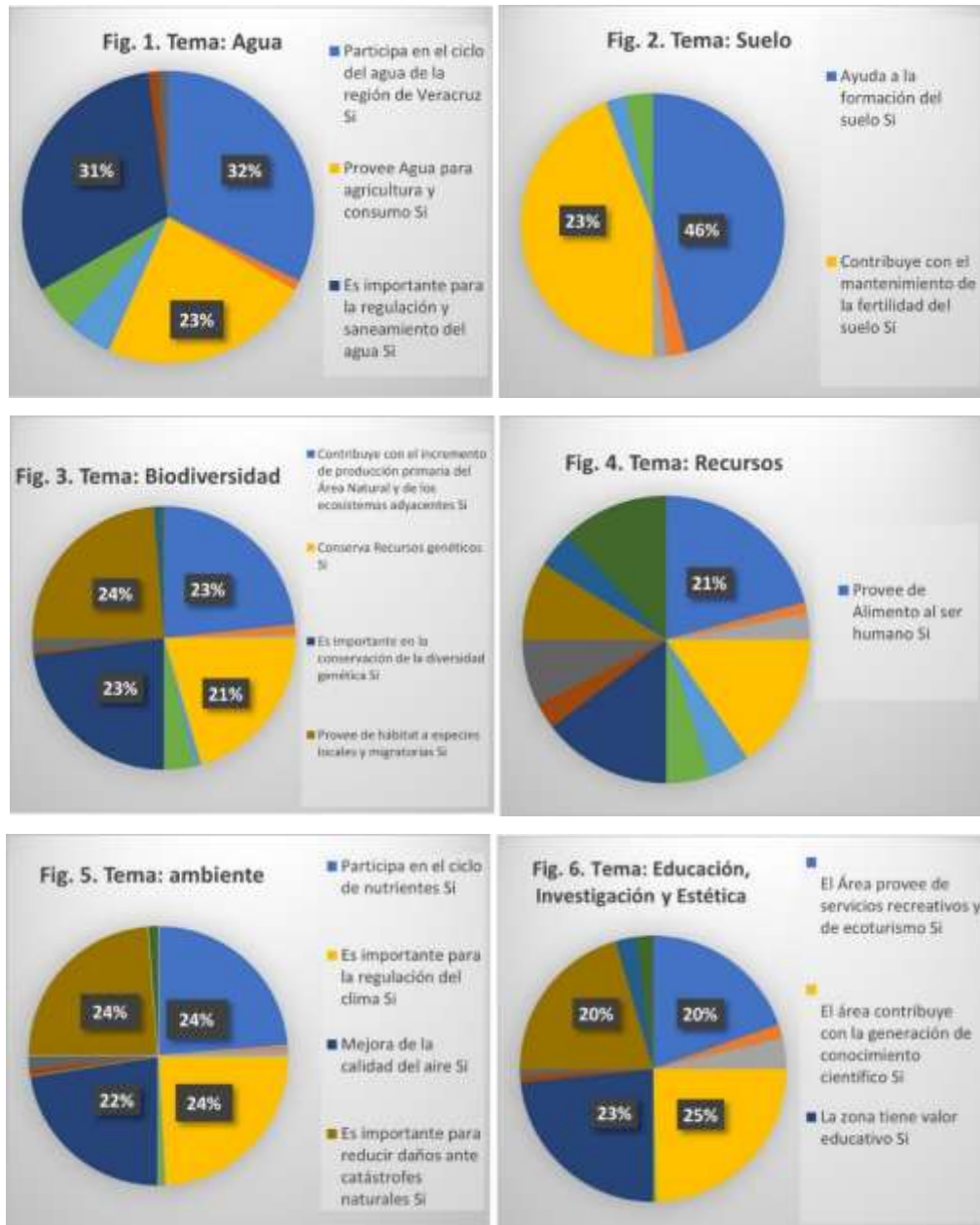
estético y recreativo, actúan como sistemas naturales de control de inundaciones y como barreras contra huracanes e intrusión salina, controlan la erosión y protegen las costas, mejoran la calidad del agua al funcionar como filtro biológico, contribuyen en el mantenimiento de procesos naturales tales como respuestas a cambios en el nivel del mar, mantienen procesos de sedimentación y sirven de refugio de flora y fauna silvestre, entre otros”.

Sobre los ítems correspondientes al principio precautorio los profesionales ambientales con conocimiento del área natural perciben que están totalmente de acuerdo que el área debe ser administrada por legislación para su conservación, para que a su vez pueda proveer de servicios ecosistémicos, perciben que hay falta de prevención por fallas a nivel gubernamental y que el problema ambiental realmente amenaza al área natural (Figura 7). Al respecto, Ortega-Rubio *et al.* (2015) menciona que es indispensable la participación, interacción y articulación de las instituciones gubernamentales, sociedad civil y profesionales en estudios ambientales para realizar y llevar a cabo los planes de manejo de una ANP. En el tema de amplitud a la alteración, los profesionales percibieron que las alteraciones afectan a la salud humana y que las alteraciones ambientales afectan a los ecosistemas aledaños (Figura 8). En el tema de afectación de la biodiversidad, la percepción de los profesionales es que la cobertura de vegetación (36%) y el número de especies que se pescaban han disminuido (31%) (Figura 9). Tlapa-Almonte *et al.* (2020) menciona que la contaminación es un factor que amenaza y afecta a las ANP periurbanas.

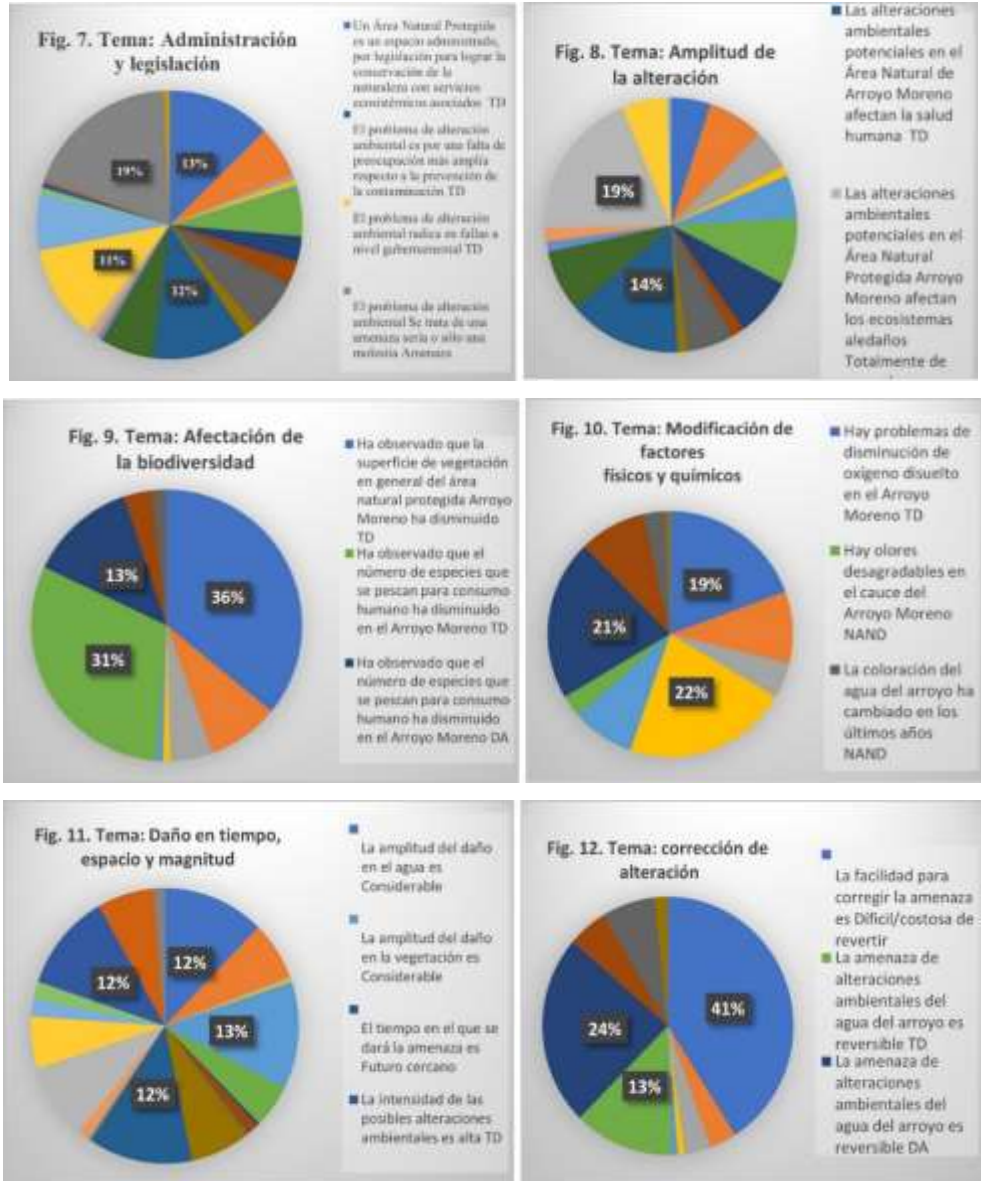
En el tema de modificación de factores fisicoquímicos, los profesionales consideran que hay problemas con la disminución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua del Arroyo Moreno y que se producen olores desagradables con cambio en la coloración del agua (Figura 10). Al respecto, la SEMARNAT (2023b) menciona que la descarga de aguas residuales domésticas e industriales a las que no se ha realizado un proceso de tratamiento que elimine los contaminantes que contienen, afecta negativamente la calidad de las aguas superficiales que las reciben, lo que es ocasionado por el incremento de materia orgánica provocando la disminución del contenido de oxígeno disuelto, lo que crea condiciones de “anoxia” y daña a las comunidades biológicas de los ecosistemas acuáticos.

En el tema daño en tiempo, espacio y magnitud, la percepción es que la intensidad de alteración es alta (12%), con daño en la vegetación (13%) y en el agua (12%), así mismo se considera que la alteración se dará en futuro cercano (12%) (Figura 11). En el tema de corrección de la alteración, los profesionales en estudios ambientales consideran que la amenaza es reversible (24%) pero costosa y con cierto grado de dificultad (42%) (Figura 12). Dado lo anterior, Manning y Krymkowski (2010) y

Tlapa-Almonte *et al.* (2020) consideran que en la aplicación de la legislación vigente es necesaria regular el uso y aprovechamiento de los recursos naturales de las ANP periurbanas por lo que se requiere una estrategia de conservación basada en un enfoque de comando y control, ya que ello implica que las normas sean codificadas en regulaciones y reglas administrativas, políticas públicas y leyes.



Figuras 1-12. Resultados gráficos por tema de la respuesta de los profesionales en estudios ambientales con conocimiento en servicios ecosistémicos.



Figuras 1-12. Resultados gráficos por tema de la respuesta de los profesionales en estudios ambientales con conocimiento en servicios ecosistémicos.

Conclusiones

- 1) Se percibe que área natural es importante en el saneamiento del agua, que contribuye con formación del suelo.
- 2) En cuanto a la biodiversidad el área provee de espacios para dar refugio a especies migratorias y conserva la diversidad genética.



- 3) Se considera que el área natural reduce daños ante catástrofes naturales, participa en la regulación del clima, en el ciclo de nutrientes y en la mejora la calidad del aire.
- 4) La zona tiene valor estético, provee de servicios recreativos y ecoturismo tiene valor educativo y de investigación.
- 5) Considerando los temas específicos del principio precautorio, se percibe que el área debe ser administrada por legislación para su conservación y pueda proveer de servicios ecosistémicos, sin embargo, hay falta de atención por fallas a nivel gubernamental.
- 6) Se percibe que las alteraciones afectan a la salud humana y a los ecosistemas aledaños.
- 7) Hay disminución en la concentración de oxígeno disuelto y se producen olores desagradables.
- 8) En el tema daño en tiempo, espacio y magnitud, la percepción es que la intensidad de alteración es alta en tiempo inmediato.
- 9) En el tema de corrección de la alteración los profesionales en estudios ambientales consideran que la amenaza es reversible pero costosa y con cierto grado de dificultad.

Agradecimientos

Se agradece al grupo de investigación “Arroyo Moreno” por el apoyo durante las visitas al ANPEAM. Al CONAHCYT por el apoyo como becario 1183102.

Literatura Citada

- Aguilar, S. 2005. Guía para la interpretación ambiental del manglar. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Veracruz, Veracruz, 32 p.
- Agráz-Hernández, C. M., R. Noriega-Trejo, J. López-Portillo, F. J. Flores-Verdugo y J. J. Jiménez-Zacarías. 2006. Guía de Campo. Identificación de los Manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche. 45 p.
- Álvarez, R. 2002. Análisis de la evolución del manglar de Arroyo Moreno durante los últimos 40 años utilizando un sistema de información geográfica (SIG). Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Veracruzana. Boca del Río, Veracruz. 98 p.



- Anglés, H. M. 2018. El Principio Precautorio en México: Plaguicidas, medio ambiente y salud. en: Márquez-Romero, R. y Rocha-Cacho W. V. Bioética y Bioderecho: Reflexiones clásicas y nuevos desafíos. Instituto de Investigaciones Jurídicas, Serie Doctrina Jurídica 821:439-460.
- Artigas, C. 2001. El principio precautorio en el derecho y la política internacional Naciones Unidas, CEPAL, Santiago de Chile. 37 p.
- Boehemer, C. S. 1994. Interpreting the Precautionary Principle, Tim O. Raiordan and James Cameron (ed.), Earthscan Publications Ltd.
- Castañeda-Chávez, M. R. y F. Lango-Reynoso. 2023. Herramienta de participación social para la conservación de los ecosistemas acuáticos del estado de Veracruz. Transición para el desarrollo sustentable. Serie dialogando lo ambiental. Repositorio gobierno del Estado de Veracruz. p 18.
- CONABIO, 2023. Manglares. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares> (Consultado el 12 de julio de 2023).
- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. 16 de junio de 1992. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm> (Consultado el 12 de julio de 2023).
- Galindo-Cortes, G. 2011. Enfoque precautorio aplicado a recursos pesqueros fluctuantes: un análisis bioeconómico para la sardina del Pacífico. Tesis Doctor en Ciencias. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur. 97 p.
- FAO. 2023. El medio ambiente. 08/12/2022. <https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s09.htm> (Consultado el 12 de julio de 2023).
- Garibay, P. L. 2006. Propuestas de desarrollo comunitario tendientes a la conservación del manglar Arroyo Moreno municipio de Boca del Río, Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. 142 p.



García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 2ª. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D.F. 246 p.

Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. 1999. Gaceta Oficial. 25 de noviembre de 1999. Tomo CLIX, número 146. Xalapa, Veracruz, México.

INEGI. 2023. Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA). <https://www.google.com/search?q=indicadores+ecosistemicos+inegi&oq=indicadores+ecosistemicos+inegi&aqs=chrome..69i57j0i395i546l3j0i395i546i649.13327j1j15&sourceid=chrome&ie=UTF-8> (Consultado el 12 de julio de 2023).

Kerlinger, E. N. 1975. Investigación del comportamiento: técnicas y metodología. Nueva Editorial Interamericana. Primera edición en español. México, D. F. 497 p.

López-Portillo, J., A. Gómez, L. Lara-Domínguez, A. Ávila-Ángeles y D. Vázquez-Lule, 2009. Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO. México, D.F.

Maderey, R. L. E. 1987. Clima, escurrimiento y acarreo en suspensión en las cuencas de los ríos San Pedro y Macuspana, México. Revista Geográfica. 106:111-134.

Manning, R. E. y D. H. Krymkowski. 2010. Standards of quality for parks and protected areas. Applying normative theory and methods in U.S. national parks. International Journal of Sociology 40(3):11-29.

Martínez-Gómez, J. 1996. Arroyo Moreno: su flora y su Fauna. México, Gobierno del Estado de Veracruz y H. Ayuntamiento de Boca del Río.

Muñoz, N. R. 2017. El principio de precaución en México. Estudio de caso: Emergencia ecológica responsabilidad de la minera Buena Vista del Cobre S.A. de C.V. Tesis de Maestría Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. 149 p.



Omori, S. 2023. Precautionary principles that protect the ocean's ecosystems and their biodiversity. https://www.spf.org/en/opri/newsletter/24_2.html?full=24_2 (Consultado el 12 de julio de 2023).

Ortega-Rubio, A., C. Jiménez-Sierra, L. Jiménez-Badillo, M. J. Pinkus-Rendón, V. J. Arriola-Padilla, J. Sosa-Ramírez, F. et al. 2015. Prioridades de investigación para las áreas naturales protegidas de México. En: Ortega-Rubio, A., M. J. Pinkus-Rendón e I. C. Espitia-Moreno (Editores). *Las Áreas Naturales Protegidas y la Investigación Científica en México*. (pp. 493-512). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz B. C. S, México. 572 p.

Raffensperger, C. and J. Tickner. 1999. *Protecting public health and the environment: implementing the precautionary principle*. Washington, DC, Island Press. 385 p.

SEDESMA-CGMA-UV. 2006. Programa de manejo del área natural protegida Arroyo Moreno.

SEMARNAT. 2023a. Los manglares mexicanos. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/manglares-mexicanos> (Consultado el 12 de julio de 2023).

SEMARNAT. 2023b. El medio ambiente en México. Calidad del agua. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_2_1.html

Tickner, A. J. and C. Raffensperger. 2022. *The precautionary principle in action. A handbook*. <http://www.pauldavidtuff.com/PDF%20Files/handbook.pdf> (Consultado el 12 de julio de 2023).

Tlapa-Almonte, M., A. Bustamante, S. Vargas, B. Ramírez, V. Cervantes y G. Cruz. 2020. Factores del deterioro de las áreas naturales protegidas periurbanas del Valle de Puebla, México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 35(1):51-82.



RECOLECTA Y CONSUMO DE HONGOS SILVESTRES EN DOS COMUNIDADES NAHUAS DE SOLEDAD ATZOMPA, VERACRUZ

Wendy Rosales Rosales^{358*}, A. Carolina Elizondo Salas³⁵⁸ y H. David Jimeno Sevilla³⁵⁸

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el conocimiento etnomicológico de los hongos silvestres comestibles (HSC) en dos comunidades nahuas de Soledad Atzompa, Veracruz, que alberga una gran diversidad de HSC de los cuales, en la temporada de lluvias, la población aprovecha, colecta y consume algunas especies. Se realizaron 18 recorridos en Mexcala y Acultzinapa, Soledad Atzompa, Veracruz. Se entrevistaron a 40 personas con un rango de edad entre 8 a 83 años, el 73% fueron mujeres y 28% hombres, 68% bilingües y 32% monolingües, aplicando un total de 33 preguntas. Se colectaron 52 ejemplares de HSC todos con nombre común nahua asociadas al lugar de colecta. Se identificaron 18 familias, 22 géneros, 24 especies y 1 morfoespecie de HSC. El conocimiento etnomicológico de estas especies de hongos comestibles ha ido trascendiendo de generación en generación, el 67% es transmitido por las mamás y un 33% por las abuelas, que enseñan esta actividad a una edad temprana, esta importante transmisión de los conocimientos refleja la importancia de los HSC dentro de su entorno social y gastronómico. La comercialización de este producto no es muy recurrente, se llega a vender dentro de las mismas localidades, su precio va de \$150 a \$200 el kilo, los hongos suelen ser de varias especies. Los hongos con mayor valor para ambas localidades son del género; *Amanita*, *Helvela*, *Russula*, *Armillaria*, *Laccaria* y *Boletus*, así mismo las que tuvieron una frecuencia de mención menor son *Itscuin Zapome (Rizopogon)* y *Zacananatsin* (aff. *Agaricus campestris*), la percepción de la disminución de estas especies puede deberse a diferentes factores como la pérdida de bosques conservados, la tala inmoderada, pérdida del conocimiento etnomicológico y aumento de población. Esta investigación contribuye a la revalorización de especies de hongos silvestres comestibles, así como a preservar el conocimiento etnomicológico de las comunidades nahuas de Soledad Atzompa, Veracruz.

³⁵⁸ Estudiante de Ingeniería Forestal, Herbario ZON, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Tecnológico Nacional de México
*wrosales741@gmail.com



Palabras clave: etnomicología, macromicetos, productos forestales no maderables

Introducción

En México, los hongos silvestres comestibles son considerados como un recurso forestal no maderable de importancia alimenticia, ecológica, cultural y económica para las comunidades rurales, ya que a partir de su recolección y comercialización estas obtienen ingresos adicionales durante la temporada de lluvias (Bandala *et al.*, 1997). Las comunidades rurales de diversas áreas de México poseen un profundo conocimiento sobre los hongos, reportándose el consumo de al menos 275 especies comestibles (Garibay-Orijel *et al.*, 2010), además de un conocimiento biológico, ecológico y cultural en aspectos como sus estructuras morfológicas, lugar y época de crecimiento, sustratos en donde se desarrollan, tipos de vegetación propicios para su desarrollo, formas de uso, así como la importancia cultural que tienen para las comunidades (Bautista-Nava *et al.*, 2010).

En Veracruz, donde habitan los bosques de las regiones frías, húmedas y templadas, se encuentra el 25% de las variedades de hongos del país, lo que aporta un ingreso a la economía familiar en zonas rurales (Oca, 2011). Uno de estos lugares es el municipio Soledad Atzompa, localizado en la zona centro del estado de Veracruz, en la región de las altas montañas, habitada por indígenas nahuas que mantienen vigente el conocimiento sobre hongos silvestres comestibles (HSC) y que han sido desde tiempo atrás un recurso alimenticio de interés para las familias de diversas comunidades del municipio. Actualmente son escasos los estudios sobre HSC en Veracruz, ante esto es importante generar estudios que aborden la diversidad de especies recolectadas con fines alimenticios, así como las diversas formas de aprovechamiento, el conocimiento local asociado a los HSC y las problemáticas que enfrentan. Por lo anterior, el objetivo principal de este estudio fue analizar el conocimiento etnomicológico de los HSC, documentar la diversidad de especies, así como su aprovechamiento y comercialización en dos comunidades de Soledad Atzompa, Veracruz.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en las comunidades de Mexcala y Acultzinapa pertenecientes al municipio de Soledad Atzompa, localizado en la zona centro del estado de Veracruz, hacia el extremo oeste de la región fría de la Sierra de Zongolica. Se ubica entre los paralelos $18^{\circ} 38'$ y $18^{\circ} 47'$ de latitud norte; los meridianos $97^{\circ} 08'$ y $97^{\circ} 15'$ de longitud oeste; altitud entre 1 370 y 3 100 m (Figura 1). Su clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (54.71%), templado húmedo con abundantes lluvias en verano (34.83%), semifrío subhúmedo con lluvias en verano (4.70%), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (3.78%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano (1.98%). Los ecosistemas que coexisten en el municipio son bosque de coníferas con especies de *Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *Quercus* spp., *Abies religiosa*, *Cupressus*, *Arbutus* (INEGI, 2021). Las principales actividades productivas del municipio es el aprovechamiento de madera provenientes de plantaciones de *Pinus*, la transformación de la madera en muebles, así como su comercialización en la región y en algunos estados fuera de Veracruz, estas actividades están reservadas solo para hombres, mientras las mujeres realizan actividades del hogar, el pastoreo de borregos, la agricultura y la recolección de ciertos recursos forestales como los HSC con fines de autoconsumo.

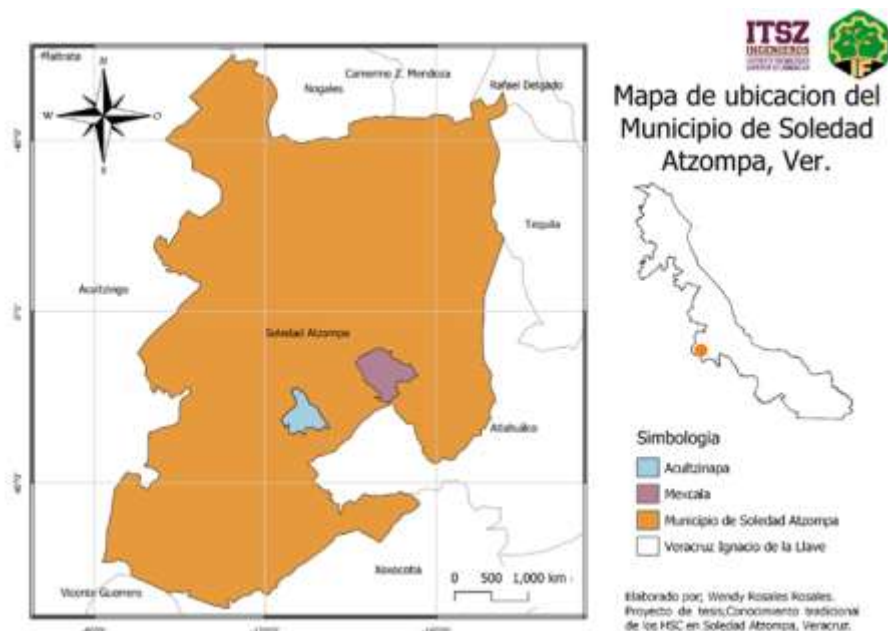


Figura 1. Localización de los dos sitios de estudio dentro del municipio de Soledad Atzompa, Veracruz.



Trabajo de campo

La presente investigación en su fase de campo se llevó a cabo en la época de lluvias durante julio-octubre del 2022, consistió en tres etapas las cuales se describen a continuación.

1). Recorridos en campo y colecta de HSC: Se realizaron 18 recorridos en los bosques de pino de las comunidades de estudio en compañía de personas con conocimiento micológico. Durante los recorridos se identificaron los HSC, los cuales se colectaron siguiendo la técnica recomendada por Cifuentes (1986) que consiste en sostener el pie del hongo, girarlo y balancearlo hasta que se separe del micelio, luego cubrir con tierra y hojarasca el hoyo formado en el suelo. Se colectaron cinco copias de diferente tamaño y grado de desarrollo, no se recolectaron ejemplares incompletos, viejos, en vías de pudrición o decolorados por las lluvias. Se tomaron los siguientes datos de cada ejemplar: fecha de colecta, nombre de la localidad, coordenadas, altitud, el nombre del recolector, número de colecta, nombre científico, nombre común, tipo de vegetación, hábitat, abundancia, sustrato, la forma del píleo, color y superficie del píleo, forma, medidas, superficie del estípite, forma de las láminas o poros, color, sabor, olor y observaciones. Posteriormente los ejemplares colectados fueron procesados en el Herbario ZON, para su correcto secado, etiquetado e ingreso a la colección micológica.

2). Documentación del conocimiento local: Se realizaron entrevistas semi-estructuradas, las cuales son un instrumento técnico de gran utilidad en la investigación cualitativa para recabar datos, se define como una conversación que propone un fin determinado distinto al simple hecho de conversar, es un vínculo “conversación amistosa” entre el investigador y el sujeto de estudio a fin de obtener respuestas verbales a las interrogantes. La estructura de la entrevista se conformó por los siguientes temas: a) conocimiento general de los hongos silvestres comestibles; b) recolección de HSC; c) venta y uso; d) transmisión del conocimiento sobre HSC; e) percepción de la abundancia de HSC; f) otros usos y, g) rituales y creencias divinas. De manera conjunta se utilizó el método de “listado libre” (Burrola-Aguilar *et al.*, 2012), el cual consiste en que las personas entrevistadas realicen un listado libre de los HSC que conocen, esto permite evaluar cuántas veces es mencionado cada HSC por todos los entrevistados (frecuencia de mención) y es posible saber cuál es el grado de importancia que tiene cada uno generando un listado ordenado de etno-taxa según su grado de importancia. Este método tiene la ventaja de su fácil aplicación, como por la cantidad de información generada y las posibilidades analíticas que permite conocer las especies que la gente valora en sus comunidades y el grado que estas son apreciadas.



3). Identificación taxonómica de HSC: La identificación taxonómica se realizó utilizando claves dicotómicas, siguiendo las características macroscópicas del hongo fresco: a) la forma el centro del sombrero margen o borde del sombrero o píleo, b) las láminas unión con el estípite o pie, c) la densidad y patrones de ramificación y, d) la forma el contexto del estípite. Se contó con el apoyo de especialistas para la revisión de los ejemplares.

Resultados y Discusión

Diversidad de hongos silvestres comestibles

Se colectó un total de 52 ejemplares de HSC, de los cuales se identificaron 18 familias, 22 géneros, 24 especies y 1 morfoespecie (Cuadro 1). Todas las especies tienen nombre en náhuatl, los cuales están relacionados a la forma, color y lugar en dónde crecen.

Cuadro 1. Listado taxonómico de las especies de HSC de la zona de estudio.

Orden	Familia	Género	Especie	Nombre común en náhuatl
Agaricales	Clitocybaceae	<i>Infundibulicybe</i>	<i>gibba</i>	Metspitzactzin
Agaricales	Physalacriaceae	<i>Armillaria</i>	<i>puiggarii</i>	Sehsen nanacatl
Agaricales	Hydnangiaceae	<i>Laccaria</i>	<i>amethystina</i>	Trazno nanacatl (morado)
Agaricales	Hydnangiaceae	<i>Laccaria</i>	<i>laccata</i>	Trazno nanacatl (rosa)
Agaricales	Hydnangiaceae	<i>Laccaria</i>	aff. <i>proxima</i>	Trazno nanacatl grande
Agaricales	Amanitaceae	<i>Amanita</i>	sp.	Ayamexipotl
Agaricales	Pleurotaceae	<i>Pleurotus</i>	<i>agaves</i>	Mexcalnanacatl
Agaricales	Amanitaceae	<i>Amanita</i>	<i>caesarea complex</i>	Ocoxipotl
Agaricales	Physalacriaceae	<i>Armillaria</i>	<i>mellea</i>	Ohowa
Agaricales	Agaricaceae	<i>Lycoperdon</i>	<i>perlatum</i>	Popoxome
Agaricales	Agaricaceae	<i>Agaricus</i>	aff. <i>campestris</i>	Zacananatsin
Agaricales	Amanitaceae	<i>Amanita</i>	sp.	Ahuaxipotl
Auriculariales	Auriculariaceae	<i>Auricularia</i>	sp.	Tesis nanacatl
Boletales	Boletaceae	<i>Hortiboletus</i>	aff. <i>rubellus</i>	Ahuatlicoyo
Boletales	Hygrophoropsidaceae	<i>Hygrophoropsis</i>	<i>aurantiaca</i>	Ayoxochiquilnanacatl



Orden	Familia	Género	Especie	Nombre común en náhuatl
Boletales	Boletaceae	<i>Boletus</i>	sp.	Iitlicoyo
Boletales	Rhizopogonaceae	<i>aff. Rhizopogon</i>	sp.	Itscuin zapome (pino) #51
Boletales	Boletaceae	<i>Boletus</i>	sp.	Tlicoyo (ocote)
Boletales	Suillaceae	<i>Suillus</i>	<i>brevipes</i>	Tlachpanon nanacatl
Boletales	Boletaceae	<i>Boletus</i>	<i>aff. rubellus</i>	Tomacuatlicoyo
Cantharellales	Hydnaceae	<i>Clavulina</i>	<i>aff. rugosa</i>	Arroznacatl
Gomphales	Helvellaceae	<i>Helvella</i>	<i>lacunosa</i>	Soldados tilihuc
Hypocreales	Hypocreaceae	<i>Hypomyces</i>	<i>lactifluorum</i>	Ocotlapa
Pezizales	Morchellaceae	<i>Morchella</i>	<i>aff. esculenta</i>	Olonacatl
Pezizales	Helvellaceae	<i>Helvella</i>	<i>crispa</i>	Soldados Istac
Pezizales	Tuberaceae	<i>Tuber</i>	sp.	Itscuin zapome (pino) #52
Polyporales	Panaceae	<i>Panus</i>	<i>aff. conchatus</i>	Cuetlas nanacatl
Reticulariales	Reticulariaceae	<i>Reticularia</i>	<i>aff. lycoperdon</i>	Ocototoltetl
Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i>	sp.	Chiltonnanacatl
Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i>	<i>aff. xerampelina</i>	Ilatzin (color morado)
Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i>	<i>brevipes</i>	Iztac nanacatl
Russulales	Russulaceae	<i>Russula</i>	sp.	Ilatzin chichintic
Russulales	Russulaceae	<i>Lactarius</i>	<i>indigo</i>	Palomash nanacatl
			Morfoespecie 1	Itscuin zapome (encino)

Los HSC con mayor importancia cultural de acuerdo con su frecuencia de mención fue *ahuaxipotl* con 36 menciones que corresponde a tres especies (*Amanita caesarea*, *A. jacksonii* y *A. aff. basii*) seguido por “soldados tilihuic” (*Helvella lacunosa*) con 35 menciones y soldados *istac* (*Helvella crispa*) con 34 menciones, compartiendo lugar con *istac nanacatl* o *Ilatzin* (*Russula brevipes*), en cuarto lugar, se registró al hongo *ohowa* (*Armillaria mellea*) con unas 34 menciones y en quinto lugar a *trazno nanacatl* (*Laccaria laccata*) con 32 menciones. Los pobladores prefieren consumir estos hongos porque son las que presentan mayor abundancia, mientras que los últimos en ser mencionados son poco abundantes y consumidos, como es el caso de *itscuin zapome* (*Rhizopogon*) y *zacananatsin* (*aff. Agaricus campestris*) (Figura 2).

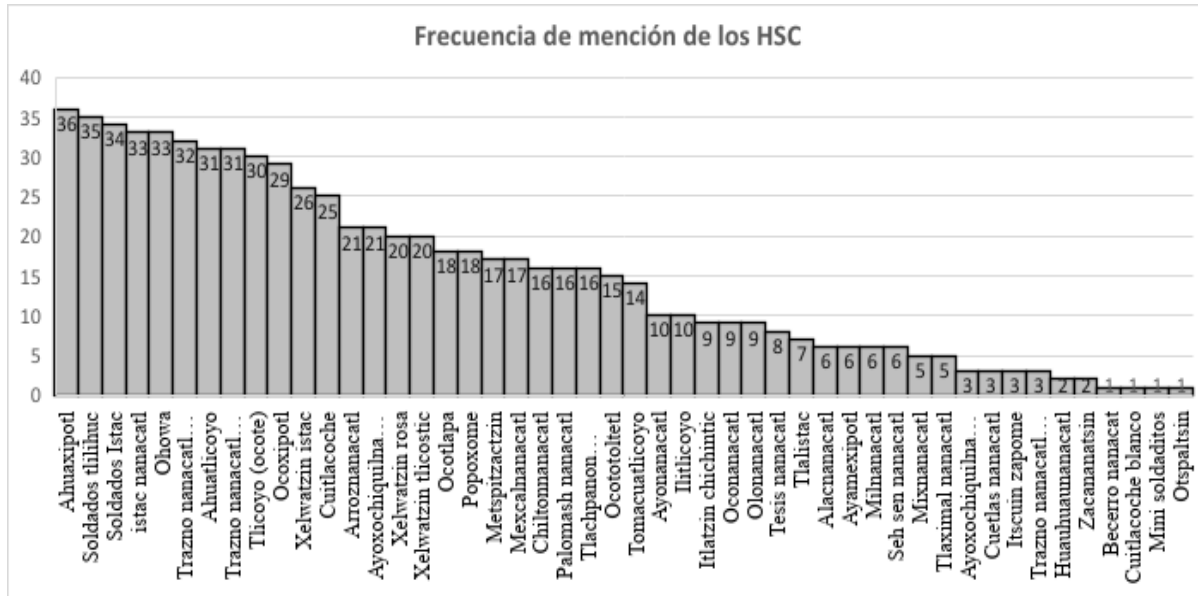


Figura 2. Frecuencia de mención de los HSC identificados en las localidades de estudio.

Recolección de hongos silvestres comestibles

La recolecta de hongos es una actividad realizada principalmente por mujeres con 65%, en menor medida los hombres con un 13% y 12% niños quienes acompañan a sus madres a la recolecta. La temporada de recolección es durante la época de lluvias, los meses más abundantes para los hongos comestibles son julio-septiembre, el 32% de los entrevistados concuerdan que en el mes de agosto tiene mayor abundancia de hongos, seguido por el mes de julio en un 30%, en septiembre el 32%, mientras que los meses menos abundantes para la colecta de hongos es octubre (8%), noviembre (1%) y febrero (1%) como un mes atípico fuera de la temporada de lluvias, donde se reportó que se colectan los hongos del género *Morchella* o por su nombre común *olonanacatl* (Figura 3). Para el método de traslado de HSC el 95% utiliza bolsas de plástico y solo un 5% utiliza un rebozo, una prenda tradicional entre los habitantes. El tiempo dedicado en horas para la colecta varía según la distancia del lugar de la colecta, puede ser de 4 a 8 horas. La hora de salida de los entrevistados refieren salir preferentemente entre las 9:00 y 15:00 horas. Las rutas están establecidas desde hace más de 50 años y cambian con el tiempo esto por diversos factores como la deforestación, extracción de sustrato, aumento de la población.

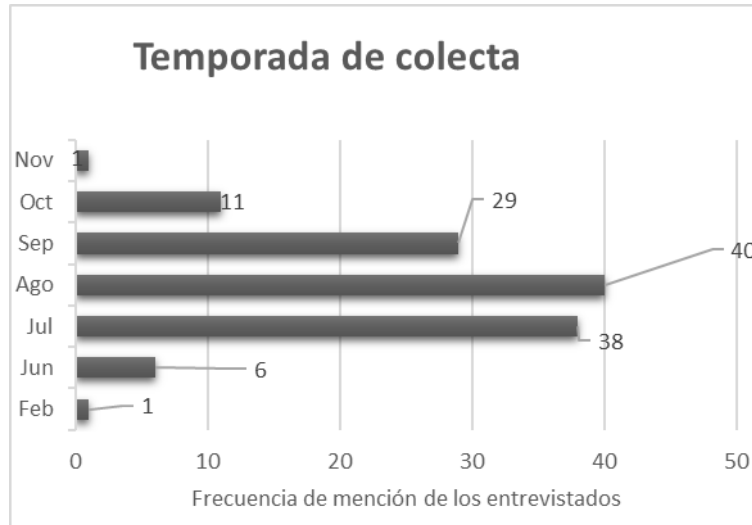


Figura 3. Temporada de colecta en Soledad Atzompa, Ver.

Comercialización de HSC

La venta no es una actividad común en las comunidades de estudio, solo se encontró una familia que ha comercializado diversos productos forestales no maderables, entre ellos los hongos, refiere que los traslada al mercado local de la ciudad de Mendoza, Ver., algunos géneros que comercializa son: *Amanita*, *Lactarius*, *Armillaria*. El precio va desde los \$80 “el montón”, a \$150/kg.

Transmisión del conocimiento y percepción actual de la abundancia de HSC

La transmisión del conocimiento sobre HSC que llevan a cabo los habitantes de las localidades de Mexcala y Acultzinapa, es transmitido de generación en generación a través de la familia. Se inicia enseñando a los niños desde los 7 a 8 años aproximadamente, el 80% es transmitido por las madres porque se considera que tiene más tiempo libre, el 11% son los abuelos y abuelas, y el 9% por otro familiar como las tías (Figura 4). Los conocimientos básicos que enseñan a los niños es conocer y diferenciar entre los hongos venenosos y los hongos comestibles, la dinámica de colecta que realizan con los niños es que vayan colectando el camino sin alejarse mucho y siempre preguntar por el uso, en caso que el hongo no sea comestible se tira y se procura que no quede de pie.

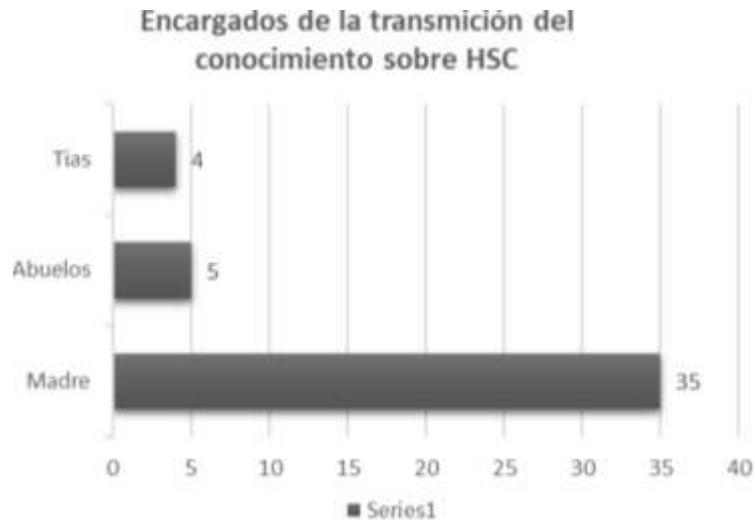


Figura 4. Personas encargadas de la transmisión del conocimiento sobre HSC en las comunidades de Mexcala y Acultzinapa.

En el presente estudio se reportó una diversidad de 24 especies de HSC, esto contrasta con lo reportado por un estudio similar en la sierra de Zongolica realizado por Genoveva (2022), donde se reportan 11 especies de HSC en tres comunidades del municipio de San Juan Texhuacan en vegetación de bosques de pino-encino, hay una coincidencia de especies que son *Amanita jacksonii*, *Armillaria mellea* y *Lactarius indigo*. Lo que denota que hay mayor diversidad de HSC en las comunidades de Mexcala y Acultzinapa de Soledad Atzompa, esto se puede deber al número de recorridos realizados; en tal sentido, Genoveva (2022) solo pudo realizar cinco recorridos en los meses de julio-septiembre, así como la variación de la temporalidad de diversas especies.

La comercialización de HSC en las comunidades de estudio es escasa y la recolecta está destinada principalmente a autoconsumo familiar, esto difiere por lo reportado en otros estudios como el de Valencia (2006), Zamora *et al.* (2006), donde la comercialización de HSC es activa por amas de casa y niños, quienes son los recolectores sólo en esta época del año tienen la posibilidad de obtener ingresos monetarios, las especies más comercializadas son *Hypomyces lactifluorum* y *Amanita calyptroides*. La pérdida del conocimiento etnomicológico, así como la abundancia de HSC, concuerda con lo documentado por Zamora *et al.* (2006), ya que muchas especies están amenazadas debido a la tala excesiva, por consecuente los conocimientos de estas especies disminuyen.

En otro estudio realizado por Bautista (2019) sobre el conocimiento micológico tradicional de los hongos comestibles silvestres de Santa Ana Jilotzingo, Jilotzingo Estado de México, se registraron 56 especies de HCS provenientes del tianguis y de la recolección en los parajes de Amanalco, en contraste,



en Soledad Atzompa no se realiza la actividad de venta. De la recolección se obtuvieron 48 taxa de HSC reconocidos por la población, de los cuales nueve se ubicaron a nivel de género y 39 a nivel de especie, mientras que en Soledad Atzompa se ubicaron 20 géneros y 24 especies.

Conclusiones

El conocimiento tradicional de los HSC es la base para la preservación de este recurso de suma importancia alimenticia en la temporada de lluvias, este producto es muy apreciado por los pobladores que prefieren consumirlo antes de venderlo, e incluso regalarlo a familiares o conocidos ya que sabe que es un alimento que se consume una vez al año. Los hongos se asocian con diferentes especies arbóreas y de esta depende su abundancia, sin embargo, esto se ve amenazado por la deforestación que aumenta cada año. La documentación de este conocimiento se basó en registrar todas las formas de colecta y uso, así como en la determinación de especies que tienen mayor importancia cultural en las localidades de Acultzinapa y Mexcala del municipio de Soledad Atzompa, Veracruz.

Agradecimientos

Se agradece a las familias de las comunidades de Acultzinapa y Mexcala de municipio de Soledad Atzompa, por brindar acompañamiento en los recorridos realizados y permitir documentar el conocimiento etnomicológico tan valorados en las comunidades. Al M.C Javier Isaac de la Fuente López y al Biól. Daniel Jarvio Arellano por el apoyo en la identificación taxonómica de los ejemplares.

Literatura Citada

Bandala, V., L. Montoya, I. Chapela. 1997. Wild edible mushrooms in México: a challenge and opportunity for sustainable development. In: Palm, M.E., Chapela, I.H. (eds.), Mycology in sustainable development: expanding concepts vanishing borders, Parkway Publishers Inc. Boone. pp. 76-90.



- Bautista, W. K. 2019. Conocimiento micológico tradicional de los hongos comestibles silvestres de Santa Ana Jilotzingo, Jilotzingo Estado de México. Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México.
- Bautista-Nava, E., A. Moreno-Fuentes, M. T. Pulido, R. Valadez-Azúa, R. Ávila. 2010. Bases bioculturales para el aprovechamiento y conservación de los hongos silvestres comestibles en el municipio de Tenango de Doria, Hidalgo, México
- Burrola-Aguilar, C., Montiel, O., Garibay-Orijel, R., Zizumbo-Villarreal, L. 2012. Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Xalapa, México. Sociedad Mexicana de Micología.
- Garibay-Orijel, R., F. Ruan-Soto, E. Estrada-Martínez, 2010. El conocimiento micológico tradicional, motor para el desarrollo del aprovechamiento de los hongos comestibles y medicinales.
- Genoveva, B. G. 2022. Conocimiento tradicional de los macro hongos silvestres comestibles en tres comunidades del Municipio de Texhuacan, Zongolica, Veracruz.
- INEGI. 2021. Compendido de información geográfica municipal. Soledad Atzompa.
- Cifuentes, B. J. 1986. Manual de herbario. Instituto de Biología, UNAM.
- Oca, G. M. 2011. Hongos comestibles: una alternativa sustentable de aprovechamiento de los recursos genéticos y agroforestales. Xalapa, Veracruz.
- Valencia, I. A. 2006. Uso tradicional de los hongos silvestres en San Pedro Nexapa, Estado De México.
- Zamora, E. V., M. Gómez P., G. Vázquez M. y M. P. Angón T. 2007. Conocimiento etnomicológico de hongos silvestres comestibles registrados para la zona de Tancítaro, Michoacán.



APROVECHAMIENTO DE HONGOS SILVESTRES EN EL MUNICIPIO DE ATLAHUILCO, VERACRUZ

Caballero Martínez Jessica^{359*}, A. Carolina Elizondo Salas³⁵⁹ y H. David Jimeno Sevilla³⁵⁹

Resumen

Los hongos silvestres son un recurso forestal no maderable de gran potencial alimenticio y económico para las comunidades forestales, el objetivo de este estudio es analizar la diversidad de los hongos silvestres en alguna categoría de uso y el conocimiento tradicional asociado a ellos por parte de las comunidades nahuas del municipio de Atlahuilco, Veracruz, para así contribuir al conocimiento local. Se realizaron ocho recorridos a campo en compañía comuneros para la recolección de hongos silvestres con alguna categoría de uso, se aplicaron entrevistas semi estructuradas para documentar el conocimiento local. La obtención de los datos se realizó mediante un listado libre y la técnica de frecuencia de mención para determinar cuáles hongos tenían mayor importancia. Posterior se desarrolló un listado con las especies comestibles, medicinales y tóxicas. Se determinó que para el municipio de Atlahuilco se suelen coleccionar diversas especies de hongos en la temporada de lluvias que corresponde de junio - agosto, el uso principal es el comestible, siendo el hongo tlakchipeh (*Amanita aff caesarea*) el más valorado por los habitantes. Se concluye que hay 22 especies comestibles, cuatro medicinales y cuatro tóxicos, las mujeres son las más involucradas en la recolección y comercialización de los hongos y actualmente el consumo disminuyó debido a la pérdida de los sitios de colecta.

Palabras clave: hongos comestibles, hongos medicinales, hongos tóxicos, comercialización

³⁵⁹ Estudiante de Ingeniería Forestal, Herbario ZON, Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, Tecnológico Nacional de México. * 186w0788@zongolica.tecnm.mx.



Introducción

Los hongos comestibles silvestres son un recurso forestal no maderable que ha sido utilizado desde épocas prehispánicas en México por su alto contenido nutrimental y sus propiedades medicinales (Alvarado-Castillo *et al.*, 2015). No solo desempeñan un papel importante en los ecosistemas degradando materia orgánica, también a algunos, desde hace miles de años, se les han reconocido propiedades alimenticias, como una fuente rica en vitaminas y minerales, medicinales, tóxicos y como un elemento primordial en rituales curativos-advinatorios (Ruan-Soto *et al.*, 2014), incorporándose en la estrategia de subsistencia y cosmovisión de las sociedades (Montoya *et al.*, 2019). Los hongos silvestres han sido utilizados desde épocas prehispánicas en México como alimento debido a su alto contenido nutrimental y sus propiedades medicinales, por ello constituye un importante reservorio a nivel mundial (Jiménez *et al.*, 2013).

La presente investigación fue realizada en el municipio de Atlahuilco, Veracruz debido a que existen muy pocos estudios acerca del aprovechamiento de los hongos silvestres (HS), por lo tanto el propósito es contribuir al enriquecimiento de la información y conservar la cosmovisión de las comunidades de la región en torno a este recurso, por ello se planteó el objetivo de analizar la diversidad de los hongos silvestres en alguna categoría de uso (comestible, medicinal, entre otros) y el conocimiento local asociado a ellos por parte de las comunidades nahuas del referido municipio.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El municipio de Atlahuilco, Veracruz se ubicado entre los 18° 38' y 18° 44' de LN; los 97° 03' y 97° 11' de LO; altitud entre 1 760 y 2 700 m. Colinda al norte con los municipios de Soledad Atzompa y Tequila; al este con los municipios de Tequila y Los Reyes; al sur con los municipios de Los Reyes, Tlaquilpa, Xoxocotla y Soledad Atzompa y al oeste con el municipio de Soledad Atzompa (Figura 1).

El clima es templado húmedo con abundantes lluvias en verano (91%) y templado subhúmedo con lluvias en verano (9%), con un rango de temperatura de 14 a 18°C y una precipitación que oscila entre 1100 a los 2100 mm anuales.



Figura 1. Mapa de la zona de estudio en el municipio de Atlahuilco, Veracruz.

El estudio se realizó en tres comunidades del municipio: Atetecoxco, Macuilquila y Zacamilola. Las tres comunidades presentan bosques de pino y pino-encino, asociados con sistemas agropastoriles y agrícolas en los fondos de los valles, con franjas de suelos Acrisoles que son fácilmente lavados y de fertilidad reducida (Ortiz, 1991).

El método aplicado consistió en tres etapas que se describen enseguida:

1). Recorridos en campo para la colecta de ejemplares: Se realizaron ocho recorridos en los meses de agosto a septiembre, en compañía de personas colectoras de hongos de la comunidad, quienes realizaron la identificación de los hongos silvestres por tipo de uso: comestible, medicinal o tóxico. Una vez identificados se procedió a la colecta del ejemplar utilizando la técnica propuesta por Cifuentes *et al.* (1984), que consistió en coleccionar los hongos con las mejores características, darle ligeros golpes al pieleco para esparcir las esporas, colocar el ejemplar en una canasta para posterior determinación, así como registrar datos en fresco tal como el sustrato en el que se encuentra, color, forma del sombrero, estípite, himenio, presencia o no de volva. La información se concentró en una ficha de campo, posteriormente los hongos se separaron en bolsas de papel estraza con su etiqueta para luego ingresarlos al Herbario ZON del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, donde se deshidrataron en una secadora por uno a dos días según lo requirió el ejemplar. Después se llevaron a una congeladora por dos días para eliminar agentes contaminantes que pudieran afectar a la muestra. Se realizó la identificación taxonómica a nivel de nombre científico de la especie.



2). Documentación del conocimiento local de hongos silvestres: Se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por Burrola et al. (2012), que consiste en realizar entrevistas semi-estructuradas a los habitantes que fueron escogidos por el método de muestreo "bola de nieve" (Sommer y Sommer, 2001), de tipo no probabilístico, mismo que se utiliza cuando los participantes potenciales son difíciles de encontrar o si la muestra está limitada a un subgrupo muy pequeño de la población. Se aplicaron 40 entrevistas que incluyeron los siguientes temas: nombre común, identificación de los hongos comestibles, recolecta, en qué sustratos se encuentran, quienes realizan la actividad de colecta, comercialización, entre otros. Se utilizó la herramienta de listado libre para identificar los hongos más importantes para la comunidad mediante la frecuencia de mención (Arias, 2008). Para reforzar los temas vistos durante las entrevistas se utilizó una guía fotográfica como apoyo visual, con los ejemplares micológicos colectados en campo durante la primera etapa. Los datos obtenidos en campo sobre las entrevistas y los hongos colectados se analizaron con tablas y graficas realizadas en el programa de Excel. Se hizo una predicción de la diversidad de especies de HS para poder obtener el esfuerzo de muestreo (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003).

3). Identificación taxonómica de ejemplares micológicos: Para la identificación taxonómica se utilizó la guía de Guzmán-Dávalos y Cifuentes (2018) y claves dicotómicas, así mismo se consultó a especialistas para la determinación de las especies.

Resultados y Discusión

Caracterización de la población entrevistada: De las entrevistas semi estructuradas se determinó que el 57% se aplicaron a mujeres y el 43% hombres, con edades de entre 11 y 79 años, edad promedio de 49 años.

Curva de acumulación de especies, modelo ICE: En cuanto al esfuerzo de muestreo en la colecta de ejemplares micológicos con el estimador ICE, se obtuvo un resultado del 85.1% (14 especies) de un total esperado de 15.72 especies, lo que representa que el esfuerzo de muestreo fue representativo debido a que se encontró la mayoría de las especies previstas (Figura 2).

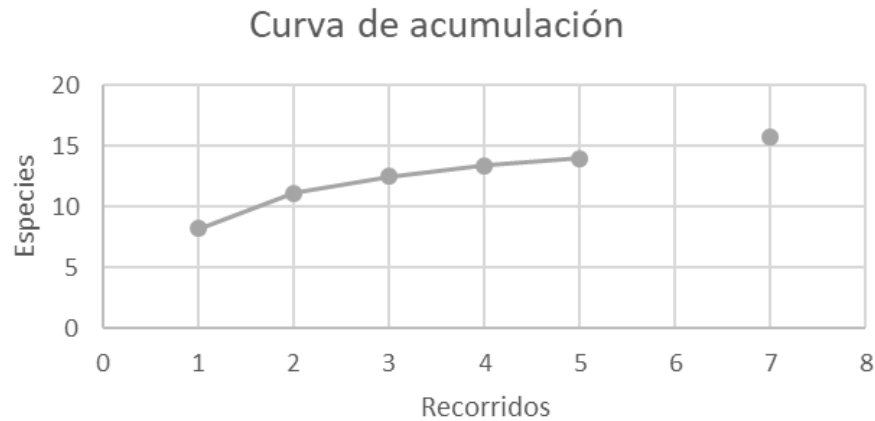


Figura 2. Curva de acumulación de especies, modelo ICE de los recorridos micológicos.

Diversidad de hongos silvestres (comestibles, medicinales y tóxicos): En total se registraron 30 especies de HS repartidos en 11 familias, pertenecientes a 13 géneros y 10 morfoespecies, siendo la familia *Amanitaceae*, *Boletaceae* y *Gomphaceae* las más representativas. De las especies registradas, 22 son comestibles, 4 son medicinales y 3 tóxicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado taxonómico de los hongos silvestres identificados en Atlahuilco, Veracruz.

Familia	Nombre científico	Nombre en Náhuatl	Otros nombres
Amanitaceae	<i>Amanita caesarea</i>	Tlakchipeh	Hongo rojo
Amanitaceae	<i>Amanita</i> sp.	Tlakchipeh amarillo	Hongo amarillo
Gomphaceae	<i>Ramaria</i> sp.	Xilbatzin	Hongo de rama / escobetilla
Gomphaceae	<i>Ramaria</i> sp.	Xilbatzin	Hongo de rama / escobetilla
Gomphaceae	<i>Ramaria</i> sp.	Xilbatzin	Hongo de rama / escobetilla
Physalacriaceae	<i>Armillaria</i> sp.	Ohowatzin	
Boletaceae	<i>Boletus</i> sp.	Vivirinki	
Boletaceae	<i>Boletus</i> sp.	Tlapac (ID 1)	Tlapaktzin
Hypocreaceae	<i>Hypomyces lactifluorum</i>	Ayoxochitl	Hongo de calabaza
Russulaceae	<i>Lactarius indigo</i>	Techik	Hongo azul
Ustilaginaceae	<i>Ustilago maydis</i>	Huitlacoche	
Agaricaceae	<i>Agaricus campestris</i>	Ayutzi	Champiñon silvestre
Boletaceae	<i>Boletus</i> sp.	Totolaco	



Familia	Nombre científico	Nombre en Náhuatl	Otros nombres
Morchellaceae	<i>Morchella</i> sp.		Colmenilla
Morfoespecie		Magrananakatl	
Lycoperdaceae	<i>Lycoperdon perlatum</i>	Popotzin / pedo de lobo	
Polyporaceae	<i>Trametes versicolor</i>		Colitas de pavo
Calostomataceae	<i>Calostoma cinnabarium</i>	Quechaxotzin	
Lycoperdaceae	<i>Calvatia</i> sp.		
Amanitaceae	<i>Amanita muscaria</i>	Ixcuinanakatl	Hongo de perro / hongo de mosca
Russulaceae	<i>Russula</i> sp.		
Amanitaceae	<i>Amanita</i> sp.		Hongo blanco

Conocimiento local sobre la recolección de hongos silvestres: Se registraron 22 especies comestibles repartidas en nueve géneros, *Ramaria*, *Boletus* y *Amanita* fueron los géneros más representativos. La colecta de los hongos silvestres comestibles (HSC) se realiza en con mayor frecuencia en la época de lluvias que abarca desde junio a agosto, mientras que, en los meses de septiembre a diciembre se colecta, pero en menor cantidad y solo una o dos especies, tal es el caso del Techik (*Lactarius indigo*) que aparece en un periodo de agosto a septiembre y en el mes de diciembre colectan Ohovatzin (*Armillaria* sp.) (Figura 3).



Figura 3. Temporada de recolección de los HS en Atlahuilco, Veracruz.

El 74% de los pobladores prefieren colectar en bosques de encino, el 13% mencionó que colecta el hongo huitlacoche en sus parcelas de maíz y que debido a los árboles que ocupan como lindero también



llegan a encontrar otras variedades, el 7% solo recolecta los hongos que llegan a ver en el camino y finalmente el 6% en el bosque de pino.

Toda la familia puede participar en la recolección de los hongos, sin embargo, el 35% de las personas mencionaron que las mujeres son las que más desarrollan esta actividad, esto está relacionado con la participación de las niñas y niños ya que acompañan a sus madres a buscarlos, los hombres también participan, pero en menor frecuencia, ellos suelen coleccionarlos cuando los encuentran en su área de trabajo, finalmente el 7% mencionó que los abuelos o personas de la tercera edad salen a buscarlos, esto se debe a que ya no es tan fácil encontrarlos, se debe caminar mucho e invertir más tiempo para encontrarlos. El utensilio de colecta más utilizado es la canasta (65%), el 22% utiliza morral, tenante o petaca, los menos utilizados son las cubetas (10%) y bolsas plásticas (3%). El 49% de los sitios de colecta se están perdiendo debido a las plantaciones de ocote (*Pinus patula*) y los que aún prevalecen es debido a que los pobladores los cuidan y conocen sobre su importancia.

Transmisión del conocimiento: El conocimiento local referente al uso y manejo de los hongos silvestres viene de muchas generaciones atrás, es transmitido de forma oral y visual, los abuelos y abuelas son los que transmiten en conocimiento a los padres y a los nietos, este proceso inicia cuando salen a buscar *lecha* o a trabajar al campo, durante el recorrido les muestran los sitios de colecta, los árboles donde salen y las características que deben de tener, así como los usos ya sea comestible o medicinal. Por medio de la visualización y practica aprenden cuales son los que deben aprovechar y cuales son tóxicos.

La percepción sobre abundancia de los HS mostró que el 73% considera que desde hace 10 años la abundancia de los hongos ha disminuido, mencionaron que antes los HSC eran un platillo cotidiano en las temporadas de junio-agosto (Figura 4).

Percepción de la abundancia de los HS

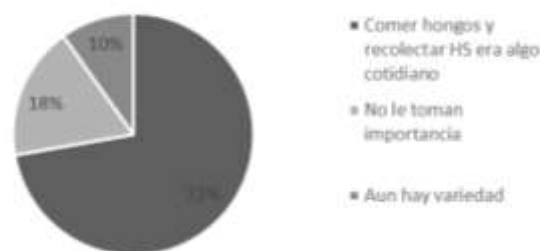


Figura 4. Percepción de la abundancia de los HS en Atlahuilco, Veracruz.



También se reportó que hace 10 a 15 años las personas que vendían hongos podían cambiarlos por otros productos.

Usos de los hongos silvestres: El mayor uso que se le da a los HS es el comestible con un 78%, siendo la *Amanita aff. caesarea* la especie más valorada, los hongos medicinales representan un 16%, esto debido a que muchos no conocen las propiedades que tienen como por ejemplo el hongo *Lycoperdon perlatum* que sirve como cicatrizante y se utiliza directamente sobre la herida. Los hongos tóxicos representan el 6%, el más mencionado fue la *Amanita muscaria* debido a que se puede llegar a confundir con un hongo comestible.

Comercialización de hongos silvestres: Se registraron ocho especies de HSC que son recolectados y comercializados entre los habitantes de las comunidades, a nivel regional, abarcando mercados de municipios como Tequila, Zongolica y si la recolección es abundante llegan a venderse en Orizaba.

El hongo más apreciado es tlakchipeh u hongo rojo (*Amanita aff caesarea*), otro hongo de gran importancia económica es el xilbatzin u hongo de rama (*Ramaria sp.*), el techik u hongo azul (*Lactarius indigo*) es vendido de manera local o regional en la temporada de julio a agosto, esto debido a que cada vez se encuentran menos ejemplares. Para comercializarlos se usa como medida de referencia una lata de sardinas o bolsas pequeñas; el hongo ohowatzin (*Armillaria mellea*) es para venta local o solo como autoconsumo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Venta de hongos silvestres en Atlahuilco, Veracruz.

Nombre científico	Nombre común / náhuatl	Tipo de venta	Lugar de venta	Precio	
				Precio Unitario	Medida (lata de sardina)
<i>Amanita aff. caesareae</i>	Tlakchipeh/ hongo rojo	Local y regional	Tequila Zongolica Orizaba	\$10.00	\$250.00
<i>Amanita sp.</i>	Tlakchipeh/ hongo amarillo	Local y regional	Tequila	\$10.00	\$250.00
Morfoespecie	Abapitzicatl (Hongo de encino)	Local y regional	Atlahuilco Tequila		\$40.00



Nombre científico	Nombre común / náhuatl	Tipo de venta	Lugar de venta	Precio	
				Precio Unitario	Medida (lata de sardina)
<i>Ramaria sp.</i>	Xilbatzin (Hongo de rama)	Local y regional	Atlahuilco Tequila Zongolica Orizaba		\$20.00
<i>Lactarius Indigo</i>	Techik (Hongo azul)	Local y regional	Atlahuilco Tequila Zongolica	\$2.00	\$70.00
<i>Armillaria mellea</i>	Ohowatzin	Local	Atlahuilco		\$40.00

Hongos comestibles: El mayor uso de los HS en el área de estudio es el comestible, se reportaron 22 especies que pertenecen a 9 géneros con 8 morfoespecies, siendo el hongo tlakashipeh (*Amanita aff. caesearea*) el más apreciado (13%), seguido del hongo xilbatzin (*Ramaria sp.*) (12%), Ohowatzin (*Armillaria mellea*) (12%) y el techik (*Lactarius indigo*) (12%), también son hongos muy valorados a su sabor y consistencia. Los HSC menos mencionaron fueron el Tecuananakal (0.3%), okopollo (0.3%) y Zezitol (0.3%), que son morfoespecies muy raras de observar.

Hongos medicinales: Con base en las entrevistas realizadas, se registraron cuatro especies, correspondientes a cuatro géneros diferentes, que se ocupan para tratar diversos padecimientos, el hongo más reconocido por sus propiedades medicinales fue el *Lycoperdon perlatum* y el menos mencionado fue *Calvatia cyathiformis* (Figura 5).

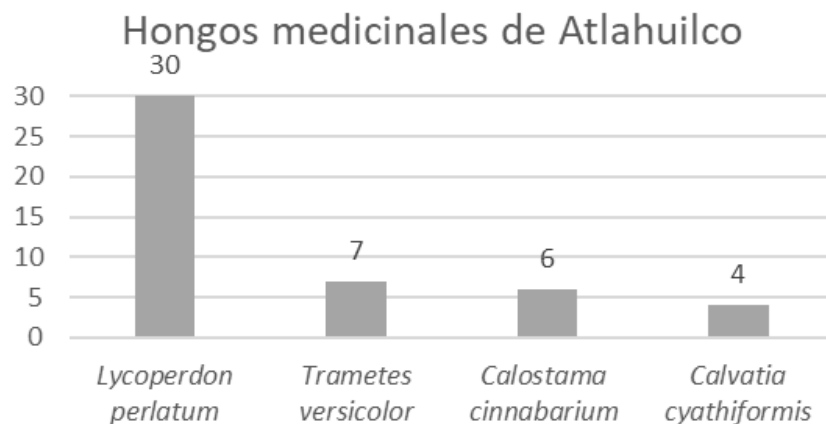


Figura 5. Frecuencia de mención de los hongos medicinales.



Hongos tóxicos: Para el municipio de Atlahuilco se reportó que cualquier hongo que no conozcan se considera como tóxico, sin embargo, hay tres especies que sobresalen, el más mencionado fue la *Amanita muscaria* o ixcuinanakatl y el menos frecuente fue *Russula sp* (Figura 6).

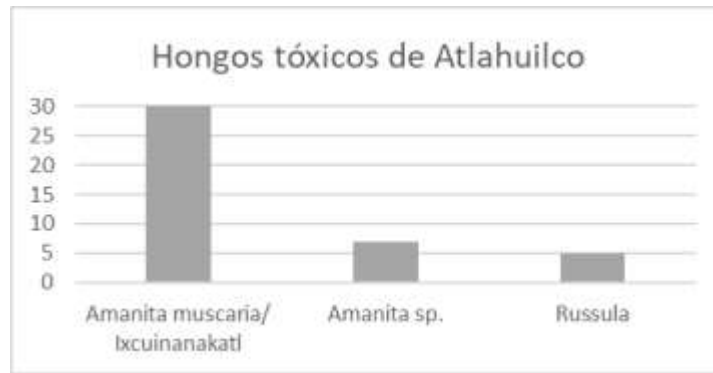


Figura 6. frecuencia de mención de hongos tóxicos.

La recolección de los HS es desarrollada en su mayoría por las mujeres quienes van a los sitios de colecta desde temprano con una canasta, esto concuerda con el trabajo publicado por Contreras *et al.* (2018), donde se detectó que el 92% son mujeres que los recolectan y comercializan. Las mujeres cuando van a buscar leña encuentran los HS. Las entrevistas revelaron que existe una pérdida de conocimiento tradicional; en particular, porque hay desinterés de los jóvenes a trabajar en el campo, la migración y la disminución de la diversidad de especies de HS debido a la deforestación. Esto coincide con el estudio de Méndez *et al.* (2001), quienes refieren que la información sobre el manejo de los HSC es transmitida por los mayores, basado en su experiencia o el intercambio con sus contemporáneos, también señalan que desde pequeños aprenden las técnicas cuando acompañan a coleccionar a sus padres. Para Atlahuilco se reportan ocho especies de HS que se venden de manera local y regional, cinco de estas especies son representativas, y tres se consideran solo para autoconsumo, Burrola *et al.* (2012) menciona que 18 especies son consumidas localmente, pero se consideran de poco valor en el mercado por lo que no se venden, la diferencia entre las especies comercializadas se debe a el conocimiento tradicional de cada área de estudio, también depende de la vegetación, la distancia y la dinámica de oferta y demanda, ya que en Atlahuilco existe una menor abundancia debido a la pérdida de sus sitios de colecta y por ello ya no ven la comercialización como un ingreso considerable para sus familias. En el trabajo de Montoya *et al.* (2019) se reportan siete categorías de uso: alimenticio, cosmético (para tratamientos de belleza), yesca (para iniciar el fuego), artesanías, combustible, medicina e insecticida,



la diferencia en la cantidad de usos (tres en el presente estudio) puede deberse a que los pobladores de Atlahuilco tienen cierta desconfianza en utilizar otros hongos, por miedo a que se intoxiquen. Sin embargo, ambos trabajos coinciden en que el principal uso es el comestible. Las comunidades rurales de nuestro país poseen un extenso conocimiento acerca de los hongos. Domínguez *et al.* (2015), reportaron 47 especies de HSC y en el presente trabajo solo 22, esto puede ser debido a la importancia cultural de cada comunidad, así como diferencias en la vegetación o las preferencias de consumo.

El uso de hongos medicinales en el área de estudio no es muy común, esto coincide con Mendoza (2012), quien reporta que las especies *Calvatia cyathiformis* y *Lycoperdon perlatum* son utilizadas por la gente de la sierra de Puebla, mismas especies que se reportan en esta investigación, esto puede ser debido al poco conocimiento de los recursos fúngicos de la zona, por la pérdida del conocimiento local y el miedo por envenenamiento. En Atlahuilco se considera como hongo tóxico o venenoso a cualquiera que no conocen, sin embargo, las intoxicaciones por ingerir hongos silvestres son escasas y ocurren por falta de experiencia, esto coincide con Ramírez-Terrazo *et al.* (2014) quienes refieren que los casos de envenenamiento son excepcionales, pero los existentes son debido a la confusión con especies comestibles, otra similitud está dada por los criterios para considerar que un hongo es tóxico por la presencia de escamas o puntitos en el píleo (sombrero), hecho que resulta de la popularidad de *A. muscaria*, especie que es la más reconocida en Atlahuilco, otros factores que se toman en cuenta para identificar hongos tóxicos es el aroma, sabor desagradables y el cambio de color.

Conclusiones

- 1). Se reportan tres categorías de uso para los hongos silvestres (comestible, medicinal y tóxicos);
- 2). Las mujeres son las más involucradas en la recolección y comercialización de los hongos;
- 3). Actualmente el consumo disminuyó debido a que muchas especies ya no se encuentran, se han perdido muchos sitios de colecta y llegan a recolectarse pocos y es insuficiente para preparar de toda la familia, debido a la deforestación, la implementación de plantaciones *Pinus patula* y por la producción de carbón;
- 4). El principal uso que se le da a los HS es el comestible, se colectan en la temporada de junio- agosto, el hongo tlakashipeh (*Amanita aff. caesearea*) es el más apreciado, debido a su sabor y consistencia, este hongo se prepara en tamales y tesmole,



- 5). Los HS forman parte importante de la cultura de la comunidad, esto promueve que los habitantes generen conciencia de la importancia de este tipo de recursos y protejan al ecosistema donde se desarrollan;
- 6). Los hongos medicinales no son usados de manera cotidiana, se está perdiendo el conocimiento entorno a sus aplicaciones;
- 7). Los hongos que no tienen algún uso comestible o medicinal son considerados tóxicos.

Agradecimientos

Se agradece a las personas de Atlahuilco por compartir su conocimiento y acompañar en los recorridos. Al Biol. Daniel Jarvio Arellano por su apoyo en la identificación de las especies.

Literatura Citada

- Alvarado-Castillo, G., G. Mata y G. Benítez-Badillo. 2015. Importancia de la domesticación en la conservación de los hongos silvestres comestibles en México. *Bosque* 36(2):151-161.
- Arias, T. B. 2008. Disponibilidad y uso de las plantas silvestres alimenticias y medicinales en las Sierras de Córdoba: su asociación con factores fitogeográficos y culturales. Tesis Doctoral en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Burrola-Aguilar, C., O. Montiel, R. Garibay-Orijel y L. Zizumbo-Villarreal. 2012. Conocimiento tradicional y aprovechamiento de los hongos comestibles silvestres en la región de Amanalco, Estado de México. *Revista Mexicana de Micología* 35:1-16.
- Cifuentes, B. J. R., M. Villegas, L. Pérez R. y M. A. Hernández. 1984. Guía de campo para recolecta de macromicetos. UNAM. México, D.F. 115 p.



- Contreras, C. L. E., U. Vázquez García A. y F. Ruan-Soto. 2018. Etnomicología y venta de hongos en un mercado del Noroeste del estado de Puebla, México. *Scientia Fungorum* 47:47-55.
- Domínguez, R. D., J. I. Arzaluz R. C. Valdés y N. Romero P. 2015. Uso y manejo de hongos silvestres en cinco comunidades del municipio de Ocoyoacac, Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 18(2):133-143.
- Guzmán-Dávalos, L., and Cifuentes, J. 2018. *Mycologia* 110(4):791-794.
- Jiménez-González, M., Romero-Bautista L., Villavicencio-Nieto M. A. y B. E. Pérez- Escandón. 2013. Los hongos comestibles de la región de Molango de Escamilla, Hidalgo, México. *Estudios Científicos en el Estado de Hidalgo y Zonas Aledañas* 2:69-82.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8:151-161.
- Méndez, R. M., M. S. Pérez, L. y C. Montes, C. A. 2001. Proceso de recolección y comercialización de hongos comestibles silvestres en el Valle de Toluca, México. *Ciencia Ergo-Sum* 8(1):30-40.
- Mendoza, S. V. 2012. Macromicetos medicinales provenientes de la Sierra Norte de Puebla, México depositados en el herbario “Gastón Guzmán”, ENCB-IPN. *Etnobiología* 10(3):34-37.
- Montoya, A., E. Briones-Dumas, R.A. Núñez-López, A. Kong, V. Ortiz-Hernández y A. Moreno-Fuentes. 2019. Los hongos conocidos por la comunidad Yuhmu de Ixtenco, Tlaxcala, México. *Scientia Fungorum* 49.
- Ortiz, B. 1991. Los paisajes naturales de la sierra de Zongolica. En: Eckart Boege, coord., *Cultura, Naturaleza y Sociedad en la Sierra de Zongolica: Una contribución para el aprovechamiento sostenido de los recursos naturales*. INI/CIESAS. México. pp. 8-22.



Ramírez-Terrazo, A., Montoya, A. y J. Caballero. 2014. Una mirada al conocimiento tradicional sobre los hongos tóxicos en México. La Etnomicología en México, estado del arte. CONACYT). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. CDMX, México. pp. 113-141.

Ruan-Soto, F., J. Caballero, J. Cifuentes, R. Garibay-Orijel. 2014. Micofilia y micofobia: revisión de los conceptos, su reinterpretación e indicadores para su evaluación. En: Moreno-Fuentes, Á. y R. Garibay-Orijel (eds.). La etnomicología en México. Estado del arte. CONACYT - Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo CDMX, México. pp. 17-30.

Sommer B., y R. Sommer. 2001. La investigación del comportamiento. Una guía práctica con técnicas y herramientas. Oxford University Press. México D.F.



CARACTERIZACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE PESCA COMERCIAL EN EL PUERTO DE ALVARADO, VERACRUZ

José Antonio de Jesús Cotrina Hermida³⁶⁰, Claudia A. Dávila Camacho^{*360}, Verónica Lango Reynoso³⁶¹
y Fabiola Lango Reynoso³⁶⁰

Resumen

Con base a la agenda 2030 y la iniciativa Save food para reducir la pérdida y desperdicio de alimento, así como, las propuestas de aprovechamiento de desechos de la industria pesquera para la producción de harinas, aceites, hidrolizados de proteína, entre otras alternativas, esta investigación se enfocó en caracterizar y estimar las pérdidas de pescado en Alvarado, Veracruz, para sentar las bases y analizar la probabilidad de aprovechamiento. Se muestrearon los residuos de pescado producidos aleatoriamente de los comercios, cooperativas y pescadores; denominadas Unidades Económicas (EU). De acuerdo a las encuestas aplicadas se identificaron dos temporadas de mayores ventas (baja y alta), el resto de los meses se consideró venta media. Además, se clasificó y cuantificó el desecho de pescado. Las encuestas permitieron identificar variables sociales, económicas y ambientales; el 100% de los encuestados aceptaron participar en algún proyecto que permita utilizar los desechos de pescado; el 96% del pescado se comercializa fresco; 97% no aprovecha los residuos generados y el 64% desconoce alternativas para su aprovechamiento. Las muestras de las pérdidas se clasificaron en cabezas, esqueletos y huesos con músculo, vísceras, piel y pescados completos. Las estimaciones en temporada de ventas altas fueron de 10 653 kg/día, en temporada de ventas intermedias de 6 936 kg/día y en la temporada de ventas bajas de 8 152 kg/día. La estimación anual obtenida de cabezas fue de 694.15 t, esqueleto o huesos con músculo de 1 077.45 t, pescado completo de 210.55 t, piel de 279.18 t y vísceras de 572.42 t. El estimado anual de pérdidas por temporada de ventas fue en baja de 505 396 kg, intermedia de 649 827 kg y alta de 1 678 535 kg.

Palabras clave: Desechos de pesca comercial, pérdidas de pescado, residuos pesqueros

³⁶⁰ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *claudia.dc@bdelrio.tecnm.mx

³⁶¹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.



Introducción

Acorde al desarrollo sustentable la agenda 2030 y la iniciativa Save food (ONU, 2015) para reducir la pérdida y desperdicio de alimento (FAO, 2015). De acuerdo con García-Sifuentes *et al.* (2020) debe llevarse a cabo el aprovechamiento de desechos de la industria pesquera con volúmenes de producción constantes y calidades adecuadas, así como aplicación de metodologías y tecnologías para el procesamiento de harinas, aceites, hidrolizados de proteína, entre otras alternativas.

De acuerdo al Programa Nacional de Pesca y Acuicultura Sustentable (PNPAS, 2020), las pesquerías comerciales tienen grandes retos en México que requieren atención, de las cuales se deben crear estrategias para llevar a cabo prácticas sustentables para mantener la conservación del agua, garantizar el aprovechamiento integral y sustentable de los recursos pesqueros y acuícolas, para mejorar el ingreso económico de las comunidades pesqueras y al mismo tiempo llevar a cabo un aprovechamiento para reducir las pérdidas y promover la seguridad alimentaria de las poblaciones rurales con escasos recursos, así como generar mayores ingresos económicos de la pesca (CONAPESCA, 2020). Por lo tanto, una de las políticas públicas del gobierno mexicano es promover el rescate de estos alimentos con la creación de productos alimenticios, lo que contribuye a mejorar la seguridad alimentaria, reducir la contaminación del aire por olores y la producción de gas metano como efectos de las pérdidas y desperdicios derivados del pescado.

La pérdida y desperdicio de alimentos es la cantidad de alimento disponible para el ser humano que por alguna razón no se consume y son desechados por los comerciantes. Esta pérdida de alimento se puede reducir mediante buenas prácticas para mejorar su aprovechamiento integral, a lo largo de la cadena comercial. En los mercados de pescado y mariscos se produce la mayor parte de la pérdida y desperdicio de estos alimentos que tienen alto valor nutritivo, que es importante rescatar y aprovecharlos en la elaboración de alimentos ricos en proteína ya sea para alimento humano o en la elaboración de piensos para animales o en la elaboración de otros subproductos (Buzby *et al.*, 2014).

Las pérdidas de alimento (PDA) ocurren entre el momento en que un producto está preparado para ser cosechado o se cosecha y el momento en que se consume o se elimina de la cadena de suministro de alimentos (en este caso la pesca) del productor primario (el pescador) al consumidor. Estas actividades pueden ser el almacenamiento, el transporte para su distribución, la elaboración, la venta al por mayor o por menor y el consumo (CONAPESCA, 2020). Reducir las PDA de pescado generados en los mercados, puede contribuir a mejorar la seguridad alimentaria, aumentar la disponibilidad de alimento



y promover el consumo de pescado en sector poco privilegiado en las zonas periurbanas y rurales que no tienen acceso fácil a esta clase de alimentos (Hodges *et al.*, 2011).

Spiker *et al* (2017) afirman que es importante evaluar la pérdida de alimentos, calcular la cantidad en peso de alimento que se pierde y estimar la cantidad de nutrientes de estos alimentos, así como identificar la cantidad de alimento que se puede recuperar, así como aplicar estrategias de reducción de PDA y la recuperación de los residuos de pescado para así disminuir los impactos ambientales y socioeconómicos.

Actualmente, se producen grandes pérdidas de pescado tras su captura y después del desembarque. El pescado se considera un alimento altamente perecedero, porque, durante el procesamiento de alineado del mismo, disminuye en términos de cantidad o calidad, debido a su manipulación, almacenamiento, procesado y durante el transporte camino a los mercados o en los mercados en espera de ser vendido (HLPE, 2014).

En México, el marco regulatorio federal incluye la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), considera a los residuos generados por actividades agroindustriales, como residuos de manejo especial de la industria pesquera y acuacultural, tiene como objetivo garantizar el derecho de toda persona a un medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable. Prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (DOF, 2014). En apoyo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) se refiere a la preservación, restauración y equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el artículo 120 se establece que para evitar la contaminación del agua del territorio nacional queda sujeto a regulación federal o local el vertimiento de residuos sólidos (DOF, 1988).

El estado de Veracruz es el principal productor de escama marina ribereña del Golfo de México, los recursos pesqueros son comercializados fresco-entero y en hielo; sin embargo, la industria pesquera es ineficiente debido a sus métodos de comercio tradicional basadas en pequeños sitios de acopio y venta (Jiménez, 2006), aunado a factores como el deterioro ambiental, el impacto de la sobrepesca, la mala utilización de artes de pesca, la pesca furtiva, la carente regulación y escasa vigilancia por parte de las autoridades (Contreras, 2002).

El sistema lagunar de Alvarado ocupa el segundo lugar en cuanto a volumen de producción pesquera en Veracruz, también es el primer lugar en importancia económica de la región, debido al número de pescadores que laboran; además, el sitio es considerado un humedal de importancia internacional denominado sitio Ramsar, por lo que, es de suma importancia su conservación y preservación de los



recursos naturales y la biosfera (Tablada y Fortanelli, 2021). La principal problemática ambiental que genera la pesca en el Puerto de Alvarado Veracruz es que las pérdidas de pescado son vertidos al agua de la laguna que se utiliza a como vertedero, lo cual provoca el proceso de eutrofización y en consecuencia reducción de otros recursos pesqueros.

Materiales y Métodos

El área de estudio del Puerto de Alvarado se localiza en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, pertenece a la región de Sotavento y se sitúa a 66 km al SE de la Ciudad de Veracruz. Se ubica geográficamente entre las coordenadas latitud $18^{\circ}43'$ y $18^{\circ}52'$ N y longitud $95^{\circ}57'$ W, a una altitud de 10 msn. Se encuentra limitado al norte por el golfo de México y al SE la Laguna de Alvarado. Es una población pesquera por tradición, reconocida como un sitio de pescadores, pues es la principal actividad del Puerto de Alvarado.

Se realizó una visita prospectiva al área de estudio, se llevaron a cabo entrevistas y posteriormente se diseñaron y aplicaron 120 encuestas previamente validadas para la identificación de variables sociales, económicas y ambientales relacionadas a la pesca y comercialización del pescado, dirigidas a los tres primeros eslabones de la cadena de suministro de la industria pesquera; aplicadas a pescadores, sociedades cooperativas y comerciantes (mayoristas y minoristas). Para los muestreos de los desechos sólidos de pescado se seleccionaron aleatoriamente los establecimientos censados por el INEGI de 174 Unidades Económicas (UE) registradas entre cooperativas, pescaderías y pescadores. Con el resultado del análisis de las encuestas se identificaron tres diferentes periodos de ventas: media, alta y baja. Se extrajeron muestras de desecho de pescado de cada establecimiento elegido, se llevó al laboratorio “cuarentenario” del Instituto Tecnológico de Boca del Río, se clasificó, separó y cuantificó cada muestra. Posteriormente la información se analizó estadísticamente a través de estimaciones, se dividió por eslabón de la cadena, quedando de la siguiente manera: una cooperativa, tres pescaderías y siete pescadores. En total se obtuvieron 33 muestras de las tres temporadas. Para realizar la estimación se consideró al 10% de la muestra encuestada de las UE, se extrapoló por día, mes y año. Se consideró todo el proceso desde la captura hasta la venta al comprador, en las diferentes temporadas de ventas identificadas.



Resultados y Discusión

Las encuestas aplicadas indicaron que la presentación de venta del producto es 96% en fresco, 3% congelado; en cuanto a utilización de los residuos sólidos generados el 74% los tira y el 26% los aprovecha; la mayor cantidad de residuos (cabezas y vísceras) el 64% de los comerciantes desconoce formas para aprovechamiento; el 36% sí conoce alternativas para aprovecharlas; el 96% de los encuestados afirmaron que aceptaría apoyar a un proyecto para disminuir las pérdidas de pescado. También se encontró que existen diferentes temporadas de ventas, las mejores ventas son en Semana Santa (mes de abril) y época decembrina. Las temporadas con menor venta son en enero y agosto. Los comerciantes de este ramo consideran que las tres especies de pescado más comercializadas en la zona es el chucumite 22%, robalo 18% y jurel 17%.

Una vez identificadas las diferentes temporadas de venta/producción, los tres muestreos realizados en cada temporada durante tres días derivaron los siguiente: los residuos sólidos de los pescadores están conformados básicamente de peces completos, producto de la pesca incidental de especies no comerciales y juveniles de peces (no comerciables por su tamaño), regularmente éstos se desechan al mar o laguna. Entre las especies de peces completos desechados se identificaron: trucha blanca, mojarra blanca y rayada, chucumite, lebrancha, pez payaso, ojón, pollito, volcae, robalito, entre otras.

Las muestras de residuos de pescado obtenidas después del fileteado se clasificaron, separaron y pesaron. De la estimación obtenida de los tres muestreos de las UE, del primer muestreo se obtuvo: cabezas 46%, vísceras 26%, esqueletos o huesos con músculo 16%, piel 7% y pescados completos 5%. Del segundo muestreo se obtuvo: vísceras 39%, esqueletos o huesos con músculo 38%, cabezas 17% y 0% de pescados completos. En el tercer muestreo se obtuvo: esqueletos o huesos con músculo 47%, cabezas 18%, piel y vísceras 12% y pescados completos 11% (Figura 1). Se obtuvo que los residuos más abundantes son las cabezas, esqueletos y vísceras (Figura 2).

El peso estimado de pérdidas de pescado por día de las unidades económicas fue: a) En temporada de ventas altas consideradas en abril y diciembre (muestreo 1) se obtuvieron 10 653 kg/día. b) En temporada de ventas intermedia: febrero, marzo, mayo, junio, julio, septiembre y octubre (muestreo 3); se obtuvieron 6 936 kg/día. c) En temporada de ventas bajas se produjeron 8 152 kg/día (muestreo 2) (Cuadro 1).

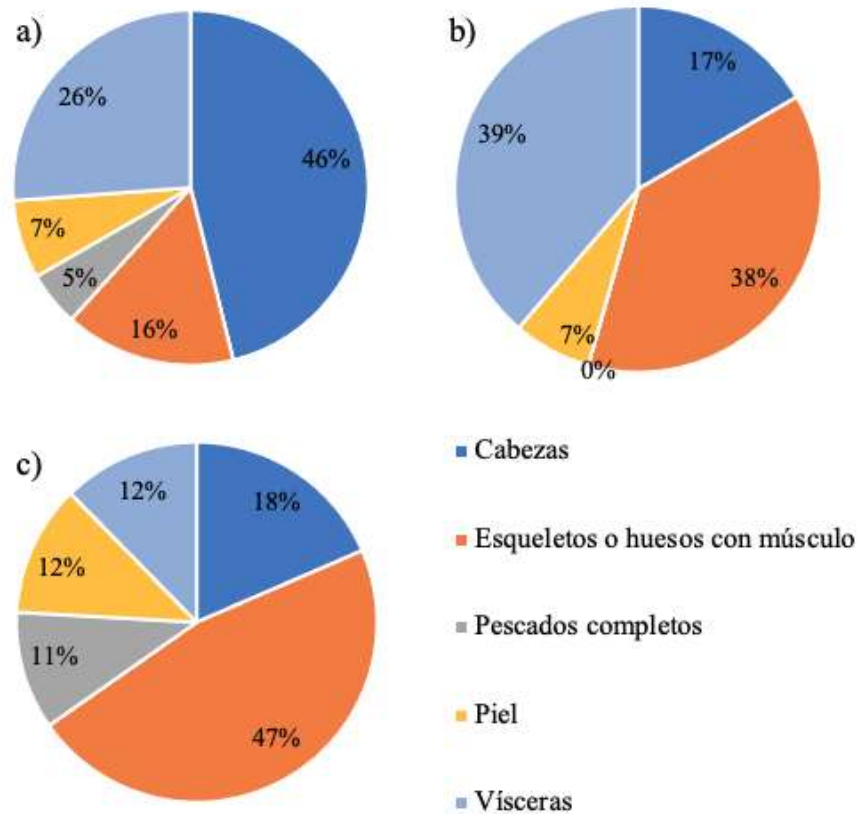


Figura 1. Distribución de residuos estimados obtenidos de pérdidas de pescado al año del total de las 174 Unidades Económicas por número de muestreo (a muestreo 1, b muestreo 2 y c muestreo 3).

Cuadro 1. Estimación de pérdidas de pescado por muestreo y por 174 Unidades Económicas (UE).

Lugar	Producto	Día 1 (kg)	Día 2 (kg)	Día 3 (kg)	Promedio/ Muestra	Estimado día/UE	Estimado kg/UE	Estimado %/UE
cooperativas, pescaderías y pescadores	Cabezas	22.8	28.2	7.3	6.5	28	4,914	46
	Esqueletos o huesos con músculo	9.7	4.3	5.6	2.2	10	1,658	16
	Pescados completos	0.3	0.8	5.3	0.7	3	530	5
	Piel	0.5	0.8	7.8	1.0	4	764	7
	Visceras	13.0	17.8	2.3	3.7	16	2,787	26
	Total 1 ^{er} muestreo	46.2	51.9	28.3	--	61	10 653	100
pescaderías y	Cabezas	7.9	9.6	10.4	3.1	8	1,354	17
	Esqueletos o huesos con músculo	23.9	15.3	24.2	7.1	18	3,082	38



Lugar	Producto	Día 1 (kg)	Día 2 (kg)	Día 3 (kg)	Promedio/Muestra	Estimado día/UE	Estimado kg/UE	Estimado %/UE
cooperativas, pescaderías y pescadores	Pescados completos	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	Piel	4.3	3.6	3.7	1.3	3	561	7
	Vísceras	16.2	29.1	19.7	7.2	18	3,155	39
	Total 2º muestreo	52.3	57.5	58.0	--	47	8 152	100
	Cabezas	16.7	3.9	6.7	3.0	7	1,283	18
	Esqueletos o huesos con músculo	24.5	31.0	13.5	7.7	19	3,245	47
	Pescados completos	0.0	0.0	15.7	1.7	4	736	11
	Piel	3.4	10.8	3.2	1.9	5	817	12
	Vísceras	2.7	7.1	8.4	2.0	5	855	12
	Total 3º muestreo	47.3	52.8	47.4	--	40	6 936	100

El estimado de todo un año fue de 2 833 758 kg de pérdidas de pescado, en temporada de ventas altas de 649 827 kg, en temporada de ventas medias de 505 396 kg y en temporada de ventas bajas de 1 678 535 kg (Figura 3).

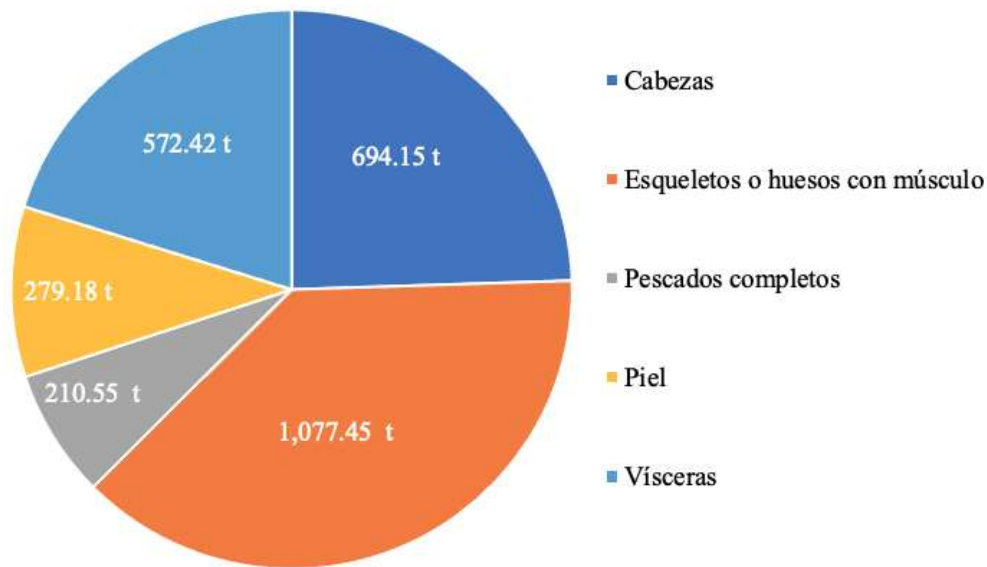


Figura 2. Estimado de pérdidas al año en toneladas de peso de cada clasificación.



Figura 3. Pérdidas de pescado estimadas por año en las unidades económicas de la industria pesquera del Puerto de Alvarado, Veracruz.

En coincidencia con Ibáñez *et al.* (1991), los desechos sólidos biológicos generados por la industria pesquera son una fuente de contaminación que afectan a los organismos que viven en el medio acuático y a las personas que dependen de estos recursos. En este trabajo se obtuvo una estimación anual de pérdidas de pescado de 2 833 757 kg producida solo en los dos primeros eslabones de comercialización, entre pescadores, cooperativas y pescaderías del Puerto de Alvarado, un gran porcentaje de estas pérdidas son vertidas a la laguna de Alvarado, por lo que se considera necesario disminuir los residuos de pescado en el lugar, diseñar un plan de manejo de residuos sólidos y líquidos de pescado, para evitar que se viertan al agua, por las consecuencias que estos conllevan; de acuerdo con Saval *et al.* (2012) es necesario desarrollar estrategias para que la actividad pesquera sea sustentable, en beneficio de la conservación de los recursos acuáticos, ecosistemas y personas que dependen de estos servicios ambientales.

También, en la FAO se recomienda que los desechos sólidos biológicos producidos por la pesca deben tener un manejo adecuado para su aprovechamiento y reducir los impactos negativos para el medio ambiente, con el fin de preservar el patrimonio natural de las comunidades pesqueras y ambientales de la laguna en particular, ya que se suma a otras afectaciones como la tala del manglar.

Las encuestas muestran que al 96% de los encuestados les agrada llevar a cabo otro manejo con sus residuos, comercializarlos para incrementar sus ingresos y disminuir la contaminación de la laguna, pues



se quejan del mal olor que se produce por las tardes. Sin embargo, el 64% de los comerciantes desconoce la existencia de formas de aprovechamiento.

Conclusiones

- 1) Se estima que se vierte a la laguna el 74% de desechos de pescado, casi 2 100 toneladas al año, por lo que se considera prioridad el aprovechamiento de las pérdidas para disminuir la contaminación del agua en la laguna.
- 2) Se estimó la cantidad de pérdidas en temporada de venta alta y baja de aproximadamente 11 y 8 toneladas al día respectivamente.
- 3) Este trabajo es la base para conocer la viabilidad del aprovechamiento para desarrollar estrategias sustentables para la actividad pesquera de Alvarado, Veracruz, en beneficio de la conservación de los recursos acuáticos, el ecosistema y las personas que dependen de estos recursos.
- 4) Las muestras analizadas de pérdidas de pescado en el Puerto de Alvarado revelan el posible aprovechamiento en la elaboración de subproductos no alimenticios para el ser humano, teniendo cuidado en el manejo en frío que se les tenga.
- 5) Se recomienda diseñar planes de manejo especial para reducir las pérdidas, planear alternativas de acopio y aprovechamiento de los residuos sólidos y líquidos de pescado, ya que son considerados residuos de manejo especial.

Literatura Citada

Buzby, J. C., F. W. Hodan and H. Jeffrey. 2014. The estimated amount, value, and calories of postharvest food losses at the retail and consumer levels in the United States. Economic Research Service. USDA. EIB-121:1-33.

CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca). 2020. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca. Mexico.



PNPAS (Programa Nacional de Pesca y Acuicultura Sustentable). 2020. Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. CONAPESCA. Gobierno de México. 1-70. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/616554/PROGRAMA_Nacional_de_Pesca_y_Acuicultura_2020-2024baja.pdf [consultado el 02 de julio de 2023].

Contreras, E. F. 2002. Importancia de la pesca ribereña. Departamento de Hidrobiología, División CBI, UAM-I. 46:5-14.

Decker, A. T., E. A. Rodrigues, J. C. Almeida, M. S. Quadro, D. Leandro, R. Andrezza y A. A. Barcelos. 2016. Avaliação dos possíveis impactos ambientais dos resíduos de pescado na localidade de Pelotas/RS, Rev. Brasileira Engenharia e Sustentabilidade 2(1):1-10.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, última reforma publicada 08-05-2023. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf> [consultado el 17 de julio de 2023].

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2014. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). Última reforma publicada 31-10-2014. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf [consultado el 17 de julio de 2023].

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2015. Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos. Roma, Italia.

García-Sifuentes, C. O., Scheuren-Acevedo, S. M., y Zamorano-Apodaca, J. C. 2020. Explorando diferentes subproductos considerados como residuos por la industria pesquera en México. Biotécnia 22(2):61-69.



- HLPE (Level High Panel of Experts). 2014. Sustainable fisheries and aquaculture for food security and nutrition. A report by the Level High Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome.
- Hodges, R. J., J. C. Buzby and B. Bennett. 2011. Foresight project on global food and farming futures, postharvest losses and waste in developed and less developed countries opportunities to improve resource use. *Journal of Agricultural Science* 149:37-45.
- Ibáñez, A. L. y R. Campos. 1991. Análisis de las pesquerías en Veracruz de 1981 a 1988. *Hidrobiológica* 1(1):36-48.
- Jiménez, B. M. L. 2006. Caracterización de la pesca en la zona costera Veracruzana. pp. 265-295. In: Moreno-Casasola P. (ed). *Estrategias para el manejo integral de la zona costera: un enfoque municipal*. Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, SEMARNAT, Xalapa, México.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2015. *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Objetivos, metas e indicadores mundiales*.
- Saval, S. 2012. Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Revista BioTecnología* (16) 2:14-46.
- Spiker, M. L, A. B. Hazel, H. S. Sameer and A. N. Roni. 2017. Wasted food, wasted nutrients: nutrients loss from wasted food in the United States and comparison to gaps in dietary intake. *Journal of the Academy of nutrition and dietetics* 117(7):1031-1040
- Tablada, M. E. N. y J. D. Fortanelli. 2021. Contexto socioeconómico y problemática ambiental de la pesca en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, desde la perspectiva de los pobladores. *Revista de El Colegio de San Luis* 11(22):1-30.



IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL MUNICIPIO DE COTAXTLA, VERACRUZ

Sandra Luz Mendoza López³⁶², Isabel Araceli Amaro Espejo^{362*}, Magnolia Salcedo Garduño³⁶², Rocío Guadalupe Bernal Rodríguez³⁶² y Fabiola Lango Reynoso³⁶²

Resumen

La contaminación por microplásticos en el suelo agrícola es una problemática ambiental creciente y preocupante en todo el mundo. Los microplásticos son persistentes en el ambiente y pueden alcanzar concentraciones con efectos adversos en los seres vivos. El objetivo del presente estudio fue identificar y cuantificar microplásticos presentes en suelos agrícolas del municipio de Cotaxtla, Veracruz, México. Se recolectaron 45 muestras compuestas por hectárea de cultivo a 20 cm de profundidad de nueve localidades del municipio. Se identificaron y cuantificaron microplásticos presentes en sistemas de cultivo de acuerdo al tamaño, forma y color basadas en la técnica de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de sedimentos y observada detalladamente en microscopio estereoscópico. Los resultados mostraron una concentración de 403 ± 126 MP/kg SS, donde la mayor concentración se observó en la localidad de Mata Tejón con un promedio de 560 MP/kg SS. El tamaño de los microplásticos fue del orden de $63 < 500 < 900 < 1\ 100$ μm que corresponden a 21, 24, 26 y 29% de MP/kg SS respectivamente. En 100% de las localidades se encontraron fibras y 45% de fragmentos en diversos colores (transparente, azul, rosa, blanco, negro y gris) en los diferentes tamaños de tamices.

Palabras clave: degradación de plásticos, efectos adversos, fibras y fragmentos

Introducción

Los contaminantes emergentes han mostrado un interés en su estudio por el impacto que ha venido

³⁶² Instituto Tecnológico de Boca del Río/ Tecnológico Nacional de México. *isabelamaro@bdelrio.tecnm.mx



generando en el ambiente y porque actualmente no existen normativas que regulen su control. En el caso particular de los microplásticos en el ecosistema, han mostrado diversos efectos en los seres vivos, así como el ingreso en la cadena trófica.

Los microplásticos provienen de los plásticos (polímeros) de alto peso molecular, que se obtienen a partir de derivados químicos del petróleo y pueden ser fácilmente maleables y moldeables en diversas formas, por lo que se utilizan en múltiples aplicaciones de la construcción, transporte, eléctricos, doméstica, agricultura, entre otros. Los más utilizados en el mundo son el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), tereftalato de polietileno (PET) y poliuretano (PU) (Andrady, 2009). Generalmente los microplásticos surgen por degradación de los desechos plásticos que se van fragmentando por métodos físicos, químicos y/o biológicos en el ambiente (Zhang *et al.*, 2019); estos se reducen a tamaños en el rango de 1 nm hasta menores a 5 mm (GESAMP, 2015). Debido a la amplia cantidad de pequeñas partículas en el ambiente podrían ser ingeridas fácilmente por los seres vivos (GESAMP, 2016).

Investigaciones reportan un sinnúmero de microplásticos en el sedimento y medios acuáticos, sin embargo, el suelo es el principal vertedero de estos, donde la mayor cantidad vienen en forma de fibras, fragmentos y gránulos (Álvarez-Lopezello *et al.*, 2021). La problemática de los microplásticos en el suelo, se debe a que podrían modificar diversas propiedades físicas, químicas y microbiológicas, que varían de acuerdo al tipo, forma y tamaño del polímero presente (Wang *et al.* 2022). Pueden alterar el crecimiento y supervivencia de microorganismos benéficos del suelo, causar cambios en la fertilidad del suelo, ya que afectan el ciclo de nutrientes esenciales (NPK) por los cambios en la degradación de la materia orgánica, y, por lo tanto, la liberación de elementos esenciales; es por eso que se alteran las tasas metabólicas, actividades enzimáticas y otros procesos importantes en las plantas (Singh *et al.* 2022; Huerta-Lwanga *et al.* 2016).

Rillig *et al.* (2019), reportaron que, en las plantas, los microplásticos puede inhibir la absorción de agua y por lo tanto la absorción de nutrientes, reduciendo así la actividad fotosintética y por lo tanto una alteración en el rendimiento de la productividad y seguridad de los cultivos. Sun *et al.* (2021) indicaron que los microplásticos pueden estar presentes en las partes aéreas de los vegetales, ya que pueden adherirse por las aplicaciones foliares de los fertilizantes. Por otro lado, Liu *et al.* (2021), encontraron microplásticos en cultivos de maíz, papa y girasol, los hallazgos determinaron que las diferentes características de cada cultivo pueden afectar la abundancia y fragmentación de microplásticos en suelos agrícolas. En áreas agrícolas, los microplásticos provienen principalmente del uso de lodos de

depuradoras, aguas residuales, composta, fertilizantes, envases o el uso de películas plásticas utilizadas como acolchados; Zhu *et al.* (2019) indicaron que en China utilizaron cerca de 1.25 millones de toneladas de películas plásticas en 2018 y generalmente son películas delgadas de 8-50 mm y 10-30 mm de espesor. La problemática de los microplásticos en el ambiente se debe a que estos pueden estar presentes por más de 10 años, aunque algunos pueden durar de 30 a 50 años si presentan más aditivos en su composición (Li *et al.*, 2020). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue identificar y cuantificar microplásticos presentes en suelos agrícolas del municipio de Cotaxtla, Veracruz, ya que es una zona que se ha dedicado por más de 30 años en esta actividad.

Materiales y Métodos

Área de estudio y recolección de muestras: La investigación se realizó en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, México, localizado en las coordenadas geográficas 18° 44'-18° 59' latitud norte y 96° 11'-96° 32' longitud oeste, a una altitud de 10 a 200 m. Cuenta con una superficie de 537.81 km², que corresponde al 0.91% del territorio del Estado de Veracruz. El muestreo se realizó en nueve hectáreas correspondientes a unidades de producción (UP) de diversos cultivos ubicadas en diferentes localidades del municipio (Figura 1).

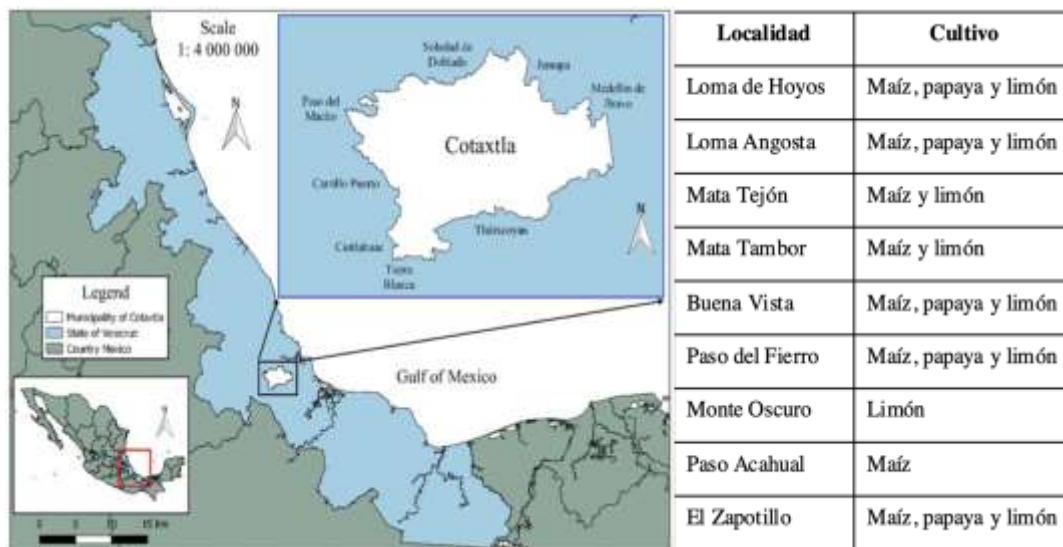


Figura 1. Ubicación del municipio de Cotaxtla, Ver. y localidades seleccionadas para el estudio.



Se recolectaron cinco submuestras de 1 kg por hectárea de cultivo a 20 cm de profundidad como establece la NMX-AA-132-SCFI-2006. Se obtuvieron nueve muestras compuestas homogenizadas, las cuales fueron colocadas en bolsas de polietileno herméticas, rotuladas y transportadas hasta el laboratorio (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río.

Análisis de laboratorio: A cada muestra de suelo se le separaron piedras, ramas, basura y/o restos de cultivo, posteriormente fueron secadas a 70°C. La determinación de microplásticos se realizó por triplicado, por lo que se pesaron 500 g de muestra y se procedió a realizar la metodología para la cuantificación de microplásticos de acuerdo a la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) realizada en sedimentos (Masura *et al.*, 2015). Posteriormente cada una de las muestras fueron colocadas en frascos de 1 000 ml y se adicionaron 90 ml de hexametáfosfato de sodio $\text{Na}_6[(\text{PO}_3)_6]$, 30 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% y se mezcló uniformemente. Se dejó reposar por 24 h, para después hacer un lavado con agua purificada para eliminar la materia orgánica, posteriormente se secaron a 60°C, durante 24 h. Luego las muestras se pasaron por tamices de malla de 1 100, 900, 500 y 63 μm . Después del tamizado, se utilizó la técnica de separación por densidad adaptada por Blair *et al.* (2019) con una solución de NaCl (1.02 g/cm^3), para después realizar un filtrado con una bomba de vacío en donde se colocó papel filtro del tamaño de una caja Petri, estas fueron guardadas en bolsas, para posteriormente realizar la lectura de los microplásticos.

Para la identificación de microplásticos se consideró el tamaño, forma y color. Para ello cada muestra se observó detalladamente en un microscopio estereoscópico VE-S3, se identificaron de acuerdo a literatura especializada. El contenido de microplásticos se expresó en MP/kg SS (microplásticos por kilogramo en suelo seco).

Resultados y Discusión

El contenido de microplásticos en suelos agrícolas del municipio de Cotaxtla oscila de 192-560 MP/kg SS, con una media de 403 ± 126 MP/kg SS (Figura 2). La mayor concentración se observó en la localidad de Mata Tejón con una media de 560 MP/kg SS dedicadas al cultivo de maíz y limón, y la localidad de Loma de los Hoyos con una media de 532 MP/kg SS con cultivos de maíz, limón y papaya. El valor más bajo de microplásticos fue en la localidad de Loma Angosta, donde el valor medio fue de 192 MP/kg SS. Estudios similares reportan valores máximos de 301 MP/kg en cultivo de



sandía y 69 MP/kg en cultivo de tomates, Liu *et al.* (2018) reportaron 78 MP/kg en campos de hortalizas.

Los reportes en la zona indicaron que las localidades no utilizan lodos de depuradoras o aguas residuales, solo realizan aplicaciones de materia orgánica, fertilizantes inorgánicos y agroquímicos. Weithmann *et al.* (2018) reportaron que los fertilizantes orgánicos, composta de biorresiduos son una fuente importante de microplásticos en el medio ambiente. Bläsing y Amelung (2018) reportaron que las compostas podrían aportar 1 200 mg/kg microplásticos.

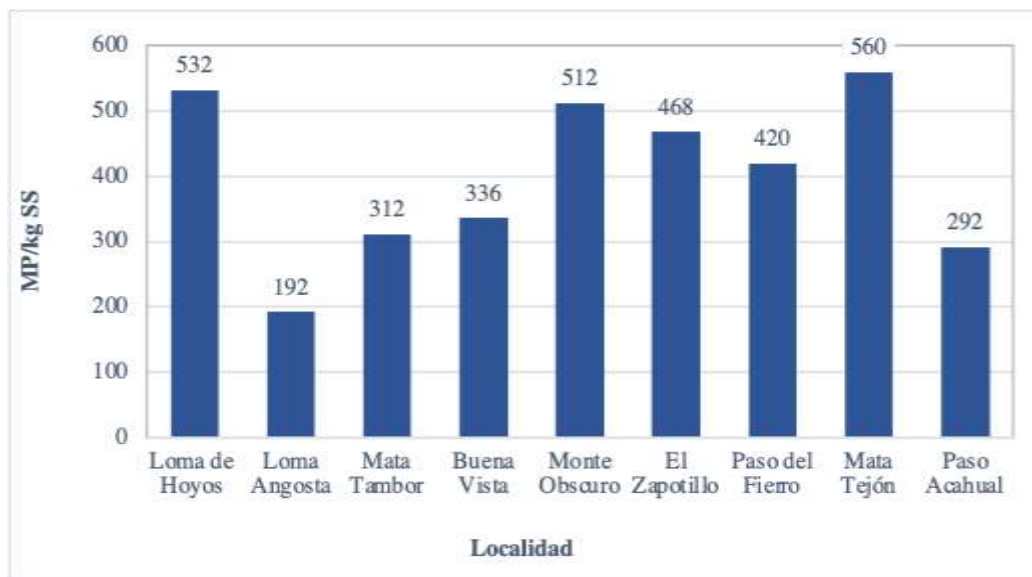


Figura 2. Valores promedios de microplásticos por kg de suelos seco (MP/kg SS) determinados por localidad.

En relación al tipo de microplásticos identificados en los sitios de estudio, en el 100% se encontraron fibras y en 45% se encontraron fragmentos. Los microplásticos no son compuestos únicos, sino que constituyen mezclas de polímeros sintéticos, monómeros residuales y aditivos químicos, su morfología varía en fragmentos, fibras o esferas (Weithmann *et al.*, 2018). Casso-Gaspara *et al.* (2022) señalan que los plásticos se reducen a pequeños películas y fragmentos; sin embargo, las fibras se encuentran en sinfín de ambientes porque fácilmente pueden ser transportados. Generalmente las fibras provienen del polietileno de alta densidad, así como de otros plásticos que provienen del ambiente agrícola (Boots *et al.*, 2019). Por otro lado, Okoffo *et al.* (2021), observaron en un estudio experimental que la presencia del polietileno de alta densidad disminuyó el pH del suelo afectando el desarrollo del *L. perenne*.

En relación al tamaño de microplásticos, de acuerdo a la separación en tamices de 63, 500, 900 y 1 100 μm (0.063 mm, 0.5 mm, 0.9 mm y 1.1 mm respectivamente), los hallazgos se encontraron en el orden de $63 < 500 < 900 < 1\ 100 \mu\text{m}$. Esto demostró que la cantidad del tamaño de partículas fue gradual al tamaño del microplástico, es decir fue de 21% para 63 μm , 24% para 500 μm , 26% para 900 μm y 29% para 1 100 μm (Figuras 3 y 4).

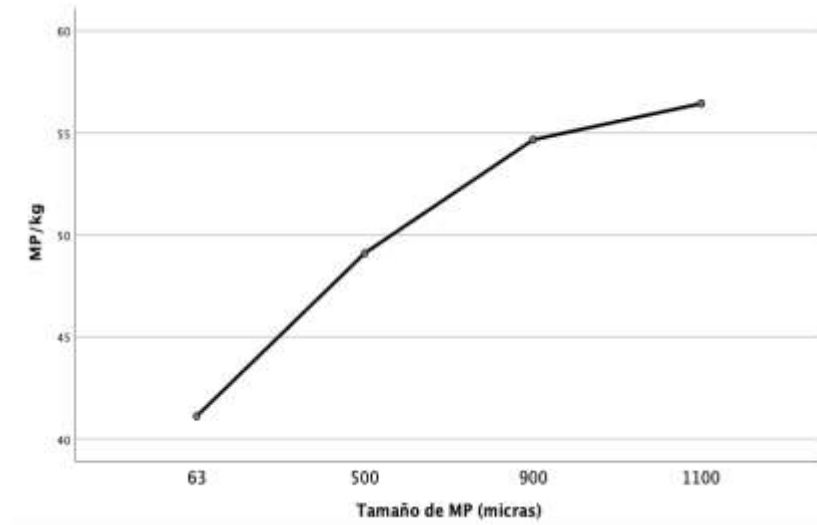


Figura 3. Valores promedios del tamaño de microplásticos MP/kg SS según tamices utilizados.

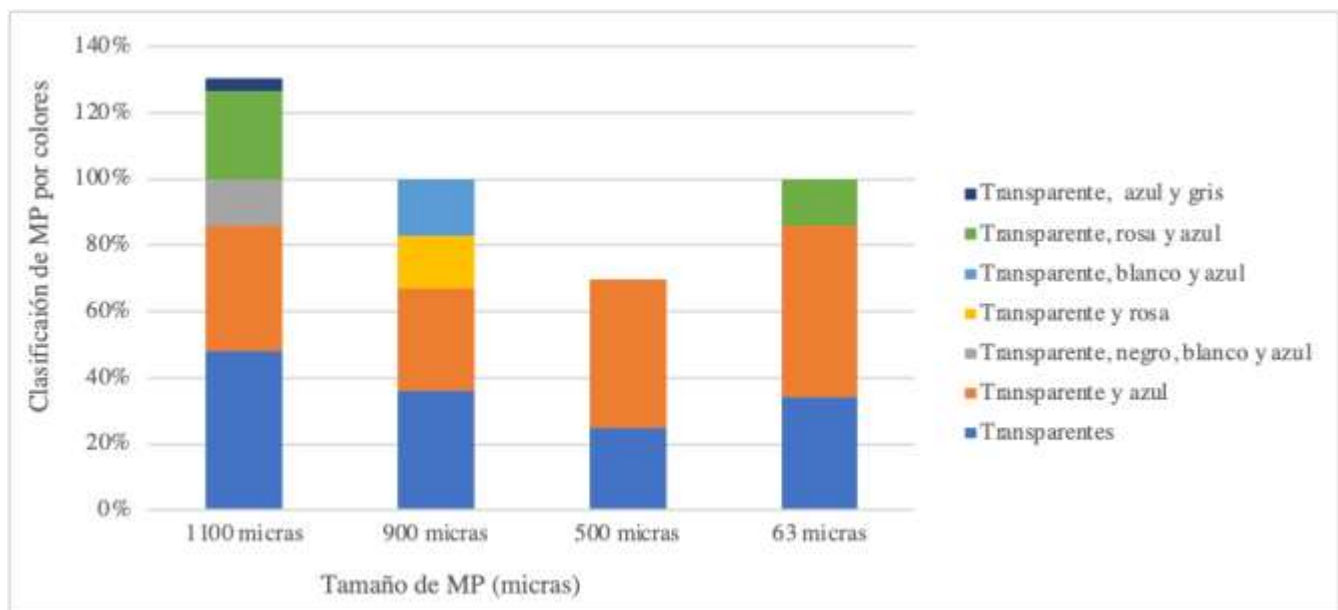


Figura 4. Clasificación de microplásticos por colores y por tamaño.

Los microplásticos se identificaron en diversos colores de las fibras y fragmentos en los diferentes tamaños, algunos ejemplos se pueden apreciarse en la Figura 5.

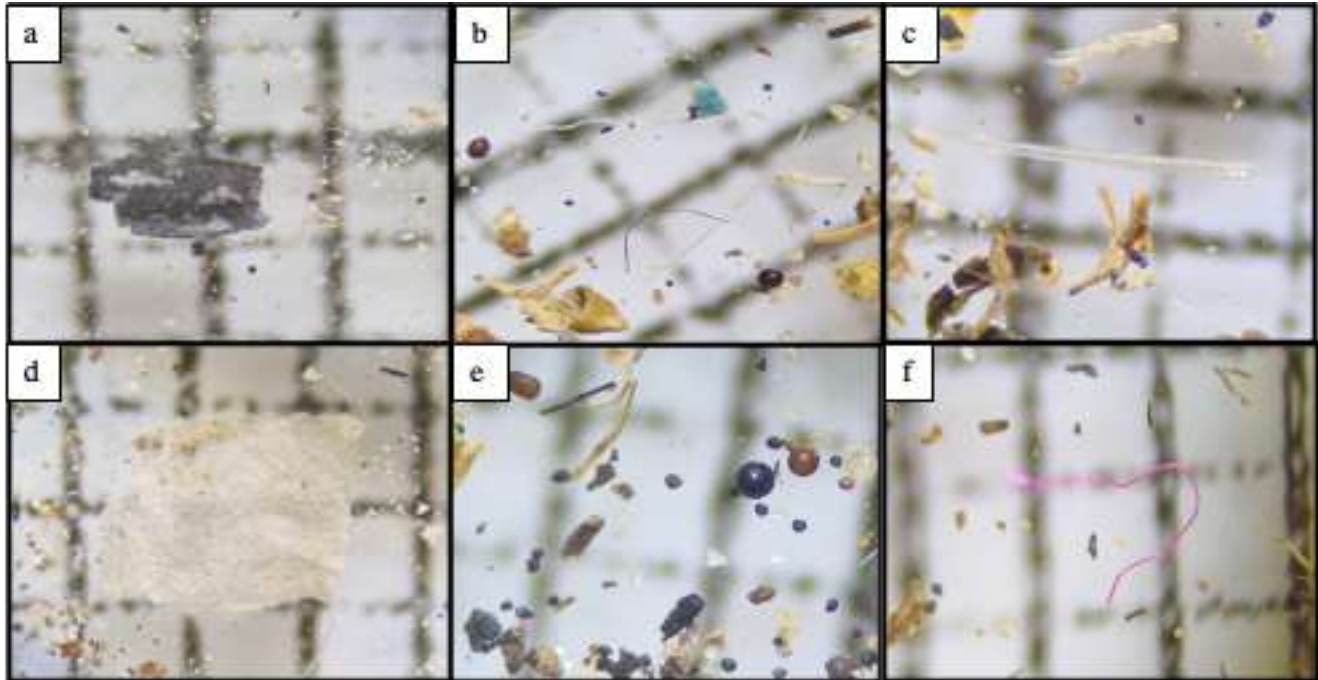


Figura 5. Diversidad de fibras y fragmentos indentificados entre 63-1,100 μm . a) Fibra negra; b) fibras y fragmentos; c) Fibras transparente; d) Fragmento blanco; e) Fragmentos negros; f) Fibra rosa.

La distribución de microplásticos por tamaño y por localidad se representan en la Figura 6, las localidades de Loma de los Hoyos, Monto Oscuro, El Zapotillo y Mata Tejón mostraron valores altos de microplásticos en los cuatro tamaños de tamices (63, 500, 900 y 1 100 μm), mientras que los valores más bajos se encontraron en la localidad de Loma Angosta. Las áreas agrícolas analizadas han dedicado su producción a diversos cultivos como papaya, limón y maíz y no existe una relación observada de acuerdo al tipo de cultivo, sin embargo, se requieren más estudios para determinar el ingreso de los microplásticos. Zhang y Liu (2018) reportaron que el 95% de los microplásticos en suelos agrícolas encontrados están en el rango de 50 - 1 000 μm , similares a los del presente estudio.

La diversidad de microplásticos que ingresan al suelo agrícola proviene del uso continuo, compostas, materia orgánica, fertilizantes, agroquímicos, así como envases de estos y del acolchado plástico utilizado para el control de humedad y temperatura, los lodos y las aguas residuales son los que aportan mayores cantidades de estos. Además, hasta el momento no existen regulaciones para los valores de



estos contaminantes emergentes en el ambiente y del impacto negativo que puedan causar a los seres vivos.

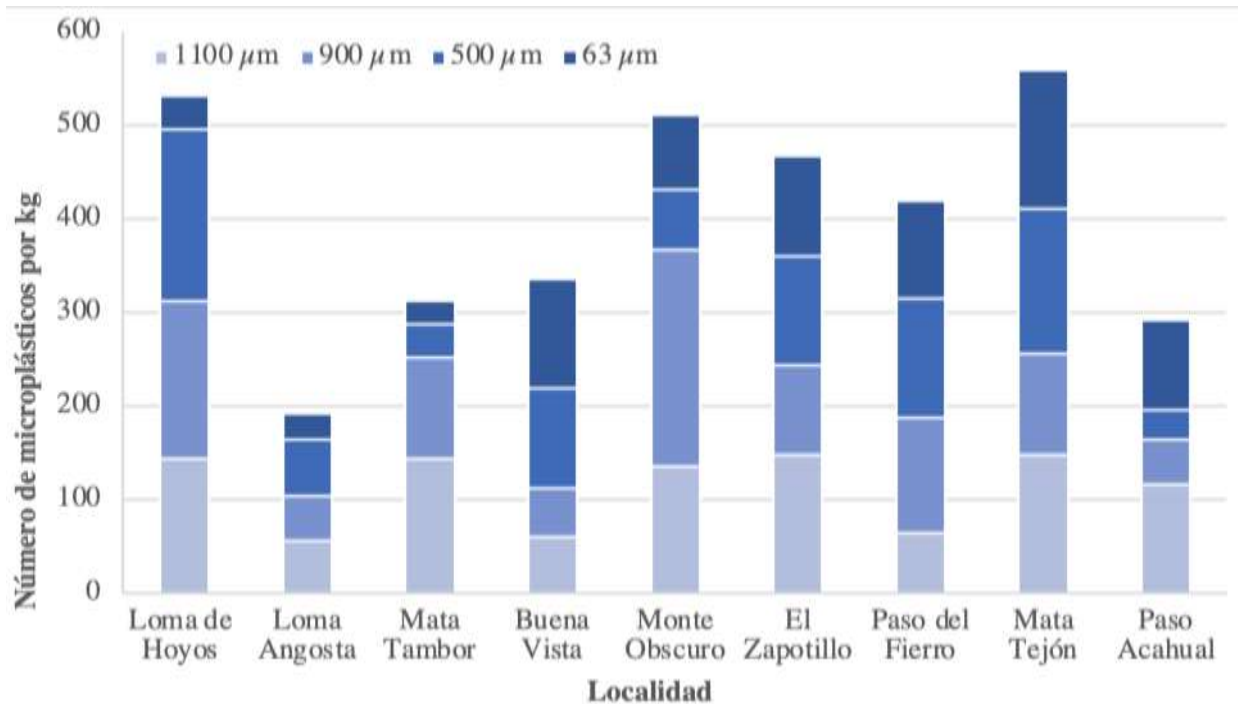


Figura 6. Distribución de microplásticos por tamaño y por localidad del área de estudio.

Asimismo, la cuantificación de microplásticos en el suelo es considerada una tarea difícil, pero es necesaria para identificar su destino final en el ambiente y del ingreso de estos a la cadena trófica. Por lo anterior, investigaciones futuras deberán buscar estrategias para minimizar el ingreso de los microplásticos a los suelos de cultivo a través de buenas prácticas agrícolas o un mayor control de la materia prima de nutrientes en el suelo.

Conclusiones

Los resultados determinaron que en todos los sitios de cultivo analizados existe la presencia de microplásticos con un promedio de 403 ± 126 MP/kg SS, se encontraron tamaños de partículas en un orden de $63 < 500 < 900 < 1100 \mu\text{m}$, obteniendo un $21\% < 24\% < 26\% < 29\%$, respectivamente. Las concentraciones encontradas no están relacionadas con el tipo de cultivo, ya que son áreas que se han destinado a diversos cultivos por largo tiempo. La presencia de los microplásticos en el suelo de cultivo



está asociada con el uso defertilizantes y agroquímicos y a falta de prácticas agrícolas para minimizar su ingreso. Aunque los plásticos han sido una herramienta efectiva en la agricultura, es necesario continuar analizando su presencia en el suelo y los riesgos que puedan afectar en la producción y calidad de los cultivos.

Literatura Citada

Álvarez-Lopezello, J., C. Robles, C. and R. F. del Castillo. 2021. Microplastic pollution in neotropical rainforest, savanna, pine plantations, and pasture soils in lowland areas of Oaxaca, Mexico: preliminary results. *Ecological Indicators* 121:107084.

Andrady, A. 2009. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull* 62:1596-1605.

Blair, R. M., S. Waldron, V. R. Phoenix, and C. Gauchotte-Lindsay. 2019. Microscopy and elemental analysis characterisation of microplastics in sediment of a freshwater urban river in Scotland, UK. *Environmental Science and Pollution Research* 26(12):12491-12504.

Bläsing, M., and Amelung, W. 2018. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment* 612:422-435.

Boots, B., C. W. Russell, and D. S. Green. 2019. Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground. *Environmental Science & Technology* 53(19):11496-11506.

Casso-Gaspara, J. M., O. A. Acevedo-Sandoval y S. Martinez-Hernández. 2022. Contaminación del suelo por microplásticos: panorama actual. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* 10(19):55-60.

GESAMP. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, No. 90, 96.



- GESAMP. 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, No. 93, 220.
- Huerta-Lwanga, E., H. Gertsen, H. Gooren, P. Peters, T. Salánki, M. Van Der Ploeg, E. Besseling, A. Koelmas and V. Geissen. 2016. Microplastics in the terrestrial ecosystem: implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science & Technology* 50(5):2685-2691.
- Li, C., Y. Gan, C. Zhang, H. He, J. Fang, L. Wang, Y. Wang and J. Liu. 2020. Microplastic communities in different environments: Differences, links, and role of diversity index in source analysis. *Water Research*.
- Liu, H., X. Wang, Q. Shi, Y. Liu, H. Lei and Y. Chen. 2021. Microplastics in arid soils: Impact of different cropping systems (Altay, Xinjiang). *Environmental Pollution* 303:119162.
- Liu, M., S. Lu, Y. Song, L. Lei, J. Hu, W. Lv, W. Zhou, C. Cao, H. Shi, X. Yang and D. He. 2018. Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environ. Pollut* 242:855-862.
- Masura, J., J. Baker, G. Foster and C. Arthur. 2015. *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*.
- Okoffo, E. D., S. O'Brien, F. Ribeiro, S. D. Burrows, T. Toapanta, C. Rauert, and K. V. Thomas. 2021. Plastic particles in soil: state of the knowledge on sources, occurrence and distribution, analytical methods and ecological impacts. *Environmental Science: Processes & Impacts* 23(2):240-274.
- Rillig, M. C., A. Lehmann, A. A. de Souza and G. Yang. 2019. Microplastic effects on plants. *New Phytologist* 223(3):1066-1070.



- Singh, S., S. Sharma, R. Yadav and A. N. Singh. 2022. Entry of microplastics into agroecosystems: a serious threat to food security and human health. *Microplastics in the ecosphere: Air, water, soil, and food* 201-218.
- Sun, Y., X. Ren, E. R. Rene, Z. Wang, L. Zhou, Z. Zhang and Q. Wang. 2021. The degradation performance of different microplastics and their effect on microbial community during composting process. *Bioresource Technology* 332:125133.
- Wang, F., Q. Wang, C. A. Adams, Y. Sun and S. Zhang, S. 2022. Effects of microplastics on soil properties: current knowledge and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials* 424:127531.
- Weithmann, N., J. N. Möller, M. G. Löder, S. Piehl, C. Laforsch and R. Freitag. 2018. Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastic into the environment. *Science Advances* 4(4): eaap8060.
- Zhang, Y., T. Gao, S. Kang and M. Sillanpää. 2019. Importance of atmospheric transport for microplastics deposited in remote areas. *Environmental Pollution* 254:112953.
- Zhang, G. S. and Y. F. Liu. 2018. The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Science of the Total Environment* 642:12-20.
- Zhu, F., C. Zhu, C. Wang and C. Gu. 2019. Occurrence and ecological impacts of microplastics in soil systems: a review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 102:741-749.



CONSORCIOS MICROBIANOS COMO MÉTODO DE REMEDIACIÓN PARA RESIDUOS DE UN SOLO USO: CASO CUBREBOCAS

Luz María Campos García^{363*}, María del Refugio Castañeda Chávez³⁶³, David Reynier Valdés³⁶³,
Isabel Araceli Amaro Espejo³⁶³ y Fabiola Lango Reynoso³⁶³

Resumen

Se presentan hallazgos en consorcios hidrocarbonoclastas para evaluar su eficiencia en la degradación de microplásticos obtenidos de cubrebocas tricapa de un solo uso hechos de polipropileno. La elección de esta fuente de carbono se basó en la necesidad de abordar el aumento de residuos de un solo uso generados durante la reciente pandemia de SARS-COV-2, donde el uso de cubrebocas era esencial como medida de protección. Este incremento generó problemas en el manejo y disposición final de tales residuos. Se utilizaron dos biorreactores con columnas de burbujeo, se obtuvieron dos consorcios hidrocarbonoclastas de los puntos de muestreo: Puerto de Veracruz y Golfo de México. La actividad degradadora de los consorcios se evaluó mediante la observación del aspecto físico de las muestras de microplásticos mediante un estereoscopio y un microscopio, así como mediante la medición de la pérdida de peso del material plástico durante 15 días. El consorcio obtenido del Golfo de México mostró una mayor capacidad de biodegradación de los microplásticos, logrando una degradación del 19.98% en un medio mineral con una proporción de 90% de microplásticos y 10% de consorcio, a un pH de 6.5 y suministro constante de aireación. Este consorcio también demostró una cinética más estable durante el tiempo de experimentación. El consorcio más joven presentó un porcentaje de degradación de polipropileno mucho menor (3.77%), mostró una cinética de crecimiento más variable. Se identificó una variedad de bacterias hidrocarbonoclastas presentes en los consorcios como *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis* y *Vibrio parahaemolyticus*. Estos resultados demuestran el potencial de los consorcios hidrocarbonoclastas en la degradación de microplásticos derivados de cubrebocas de un solo uso.

Palabras clave: hidrocarbonoclastas, biodegradación, cinética

³⁶³ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *m21990859@bdelrio.tecnm.mx.



Introducción

La enfermedad COVID-19, causada por el virus SARS-COV-2, fue detectada por primera vez en diciembre de 2019 en Wuhan, China. Fue declarada pandemia por la Organización Mundial de la Salud el 12 de marzo de 2020. Para controlar su propagación, se han recomendado medidas como el lavado de manos, el uso de guantes desechables, desinfectantes y, en ciertos casos, cubrebocas o mascarillas faciales de grado N95. El uso generalizado de mascarillas puede reducir la frecuencia con la que las personas se tocan la cara, la nariz y la boca, disminuyendo así el riesgo de infección y protegiendo contra enfermedades respiratorias agudas.

La contaminación mundial por residuos plásticos de un solo uso, como los cubrebocas, es un problema que afecta a diversos ecosistemas como lagos, suelos, ríos y playas. Estos residuos no son gestionados adecuadamente y terminan en los océanos, causando efectos perjudiciales. Los cubrebocas, en particular, han incrementado su presencia debido al uso obligatorio durante la pandemia del COVID-19. A pesar de ello, existen pocos programas de gestión ambiental para estos residuos, lo que ha llevado a su llegada a las zonas costeras y su fragmentación en microplásticos debido a la acción de las olas y la luz solar (REMARCO, 2020). Estas contingencias ambientales tienen consecuencias negativas directas en la biota, ya que los plásticos de un solo uso, derivados del petróleo y combinados con otros contaminantes químicos, son tóxicos y causan daños a plantas, animales y la salud pública (Vasudevan y Rajaram, 2001).

El uso de consorcios microbianos para la degradación de contaminantes es una tendencia creciente en la biorremediación. Los microorganismos, como fuente de enzimas, desempeñan un papel crucial en los procesos de degradación y evolución, actuando como catalizadores que benefician al ecosistema (Avellaneda *et al.*, 2012). Además, la degradación microbiana de los plásticos ha sido considerada como una solución para abordar el problema de la disposición final de estos residuos, ya que no requiere condiciones operativas drásticas o costosas en comparación con la incineración (López *et al.*, 2006). En la biorremediación, se deben considerar diversos factores que pueden influir en la velocidad de degradación de los contaminantes. En el caso de la biodegradación de plásticos, existen dos enfoques: uno directo, en el que los plásticos son utilizados como fuente de alimento para el crecimiento microbiano, y otro indirecto, en el que los productos metabólicos de los microorganismos afectan la estructura del plástico (Singh y Nisha, 2008).



La experimentación con consorcios bacterianos tiene un papel fundamental en la adquisición de nuevos conocimientos sobre técnicas de biorremediación. Esto resulta beneficioso para la sociedad, ya que a través del uso de microorganismos se pueden convertir los desechos en productos que generan un impacto positivo en el medio ambiente sin perjudicar los ecosistemas. Las investigaciones realizadas con consorcios microbianos permiten comprender los mecanismos que utilizan para establecerse y sobrevivir en diversos ambientes.

Considerando lo expuesto previamente, se planteó la utilización de cubrebocas de un solo uso como una fuente de carbono para evaluar la efectividad de los consorcios microbianos en su degradación mediante la implementación de biorreactores. Además de examinar las tasas de crecimiento bacteriano e identificar las bacterias hidrocarbonoclastas presentes en los consorcios.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA), perteneciente al Instituto Tecnológico de Boca del Río con sede en el municipio de Boca del Río, Veracruz, México. Se utilizó el consorcio hidrocarbonoclastas obtenido del Golfo de México por Lizardi (2011), que se mantiene en medio mineral. Se aisló un consorcio nuevo con sedimento extraído en el puerto de Veracruz. Con base en la metodología de Pucci *et al.* (2010), se seleccionaron estaciones en el Puerto de Veracruz para aislar el consorcio microbiano. Las estaciones se eligieron considerando un radio de incidencia de 1.5 km en la zona portuaria, teniendo en cuenta las interacciones relacionadas con el tráfico y desembarque de barcos, así como la posible exposición a hidrocarburos. Las coordenadas geográficas de las estaciones fueron: Estación 1 (19°11'52.07" N - 96° 7'47.42" O) y Estación 2 (19°11'51.15" N - 96° 7'46.75" O), con una separación entre estas de 34 m. En cada estación, se obtuvieron dos muestras de sedimento de 100 g cada una, en una profundidad de 20 cm en zona de bajamar. Las muestras se recolectaron con una pala de acero inoxidable. Posteriormente, se depositó cada muestra en un contenedor para eliminar piedras, palos, entre otros elementos no deseados. Luego, cada muestra se mezcló con una espátula para asegurar su homogeneidad. A continuación, se tomó una porción de 30 g de cada muestra para obtener una muestra compuesta, la cual se colocó en bolsas plásticas estériles que se sellaron de inmediato. Las muestras compuestas se almacenaron a una temperatura de 4°C hasta su utilización en el laboratorio.



Generación de un microcosmos previo al aislamiento y escalamiento: La muestra se colocó en dos recipientes de vidrio y se incubó durante 30 días a 40 revoluciones por minuto, siguiendo el sistema de microcosmos que permite controlar factores que influyen en la eficacia de los procesos (García *et al.*, 2019). Para ello, se agregó el 90% de medio mineral (g/L) compuesto por los siguientes reactivos: 6.75 g de NaNO_3 (J.T. Baker, 99.9%), 2.15 g de K_2HPO_4 (J.T. Baker, 99.3%), 1.13 g de KCl (J.T. Baker, 99.9%), 0.54 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (J.T. Baker, 100.1%). Además, se añadió el 10% de la muestra de sedimento recolectada, 1 mL de diésel esterilizado para el primer microcosmos y 1 mL de petróleo para el segundo. Se ajustó el pH a 6.5 con 1.0 N HCl y BaCl_2 al 99% (Medina *et al.*, 2013).

Mantenimiento y escalamiento de biorreactores madre: Posterior a la conformación del microcosmos durante 30 días, se llevó a cabo la inoculación y el inicio de la cinética de degradación de los consorcios del Golfo de México y Puerto durante 15 días. Este proceso se realizó en condiciones estériles utilizando un 90% de medio mineral y un 10% de muestra del consorcio microbiano Puerto obtenido en el microcosmos y del consorcio hidrocarbonoclasta obtenido por Lizardi (2011), en el Golfo de México, con una concentración de 13 g/L de diésel como fuente de carbono, trabajando en matraz Erlenmeyer con volumen de 500 ml y 250 ml (Medina *et al.*, 2013). Se ajustó el pH a 6.5 como antes se indicó, se proporcionó aireación por bombas compresor de oxígeno Elite 800 con un caudal de 1.5 L/m. Lo anterior se realizó para mantener el consorcio en una fase estacionaria y prevenir que la curva de crecimiento decaiga hacia la muerte celular antes de la inoculación en biorreactores de mayor volumen (Quiroga, 2021).

Acondicionamiento del biorreactor por columna de burbuja: Se seleccionó cuidadosamente el material del biorreactor, considerando las características de los consorcios microbianos para evitar efectos adversos. Se eligió un sustrato que contuviera la cantidad adecuada de carbono para satisfacer las necesidades de las bacterias hidrocarbonoclastas. Además, se consideró que este sustrato fuera uno de los contaminantes potenciales durante la pandemia de COVID-19. Se realizaron cálculos para determinar la cantidad de sustrato que se añadiría a cada biorreactor durante el proceso de inoculación. Previo a realizar la inoculación, se eliminaron las partes innecesarias del material utilizado como fuente de carbono para facilitar su manipulación y aumentar su eficiencia. Esta medida se tomó debido a los análisis realizados por Lizardi (2011), Quiroga (2021) e Isidoro (2020), que indicaron que la función principal de las bacterias era degradar hidrocarburos. Después de seleccionar el área apropiada del material, se procedió a cortarlo en fragmentos más pequeños para distribuirlo de manera eficiente en el medio. Para esterilizarlo se usó una autoclave a una temperatura de 121°C (15 lb) durante 15 min.



Para la inoculación se emplearon dos biorreactores por columna de burbuja con una relación de altura a diámetro (H/D) = 4, se trabajó con un volumen de 3 L. Se implementó un difusor en forma de L con siete orificios de 1 mm en cada biorreactor (Angeles, *et al.*, 2017). Se preparó un total de 2 850 L de medio mineral para cada biorreactor que consistió en 6.75 g de NaNO_3 (J.T. Baker, 99.9%), 2.15 g de K_2HPO_4 (J.T. Baker, 99.3%), 1.13 g de KCl (J.T. Baker, 99.9%) y 0.54 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (J.T. Baker, 100.1%), disueltos en agua destilada (Medina *et al.*, 2013). Se inoculó cada biorreactor con 150 ml del consorcio microbiano y se agregó una fuente de carbono (cubrebocas de polipropileno) a una concentración de 13 g/L (Denis *et al.*, 2017). Se midió y mantuvo el pH en 6.5 mediante el uso de 1.0 N HCl y BaCl_2 al 99% utilizando un potenciómetro Consor C6010. Para evitar contaminación externa se colocó tapas de corcho a cada biorreactor adaptadas para la entrada del difusor. Una vez establecidos los biorreactores se dejaron trabajar durante 15 días (Medina *et al.*, 2013). Con un potenciómetro marca Hanna Instruments previamente calibrado se determinó el pH. Para lograr que el valor se mantuviera en 6.5 se agregó HCl 1 N y BaCl_2 al 99%.

Evaluación de la biodegradación del sustrato: Después de 15 días de operación de los biorreactores, se extrajo el sustrato para determinar la cantidad degradada por el consorcio microbiano en porcentaje. El contenido de cada biorreactor se transfirió a recipientes de vidrio de 1 L y se esterilizó en una autoclave a 121°C (15 lb) durante 15 min. Después de alcanzar la temperatura ambiente, el contenido se filtró con una coladera y se lavó con agua destilada durante 3 min. Luego, se eliminó la materia orgánica agregando peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% y se dejó actuar durante aproximadamente 60 min hasta cubrir completamente el sustrato. Transcurrido el tiempo de remoción de la materia orgánica, se redujo parcialmente la cantidad de peróxido de hidrógeno absorbido por el sustrato. A continuación, se colocó en cápsulas de porcelana y se secó en una estufa a 125°C durante 24 h hasta que alcanzó un peso constante. Para calcular la biodegradación por diferencia de peso expresado en gramos se aplicaron las siguientes expresiones (Quiroga, 2021):

$$P_p = P_0 - P_1$$

Donde: P_p es el peso perdido, P_0 es el peso inicial y P_1 es el peso final; luego, para calcular el porcentaje de degradación se aplicó:

$$\left(\frac{P_p}{P_0}\right) (100) = \% \text{ de degradación}$$

Evaluación física de la degradación del sustrato: Se realizó un análisis cualitativo del sustrato obtenido con un microscopio binocular estereoscópico marca Micapsa con una resolución de 4X. Además, para



llevar a cabo una observación más detallada se utilizó un microscopio binocular marca Optika modelo B-600B con un objetivo de 40X.

Cinética de crecimiento del consorcio bacteriano mediante la escala de McFarland: Para evaluar el crecimiento bacteriano se usó la escala de turbidez de McFarland útil al preparar suspensiones de microorganismos. Se realizaron disoluciones con cloruro de bario (BaCl_2) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Estas sustancias reaccionaron y generaron un precipitado de sulfato de bario (BaSO_4), lo cual produjo un cambio en la turbidez de las soluciones. Tal cambio corresponde a una concentración específica de bacterias en suspensión. En el Cuadro 1 se presentan las equivalencias entre la turbidez de las soluciones de $\text{BaCl}_2/\text{H}_2\text{SO}_4$ y la turbidez de los microorganismos en suspensión, de acuerdo con la escala establecida.

Cuadro 1. Valores del peso de las muestras de cubrebocas.

Consorcio	Peso inicial (g)	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Cubrebocas
Puerto	76.2389	100.766	80.123	Tricapa
Golfo de México	77.2155	104.507	80.4038	Tricapa

Determinación del crecimiento bacteriano mediante espectrofotometría: Para medir el crecimiento bacteriano del consorcio del Golfo de México, se realizaron pruebas con un espectrofotómetro UV-VIS 300 marca Thermo Scientific. Se tomaron muestras cada 24 h por 15 días, mismas que se colocaron en una celda de cuarzo y se ajustó el equipo a una longitud de onda de 625 nm para medir la absorbancia mediante espectrofotometría.

Identificación de bacterias: Para identificar las bacterias hidrocarbonoclastas presentes en los consorcios microbianos Golfo de México y Puerto, se inocularon muestras de ambos consorcios en medios selectivos que incluyeron Agar Pseudomonas F, Agar Pseudomonas P, Agar Bilis Esculina, Agar MacConkey, Agar TCBS y Agar Endo, se incubaron por 24 horas a 35°C. Después se sembraron las colonias aisladas de los medios selectivos en Agar de Soja Tríplico (TSA) y se incubaron a 35°C durante 24 h. Luego, se seleccionaron las colonias aisladas para teñirlas con Gram y así observar las características morfológicas de las bacterias con un microscopio binocular marca Optika modelo B-600B con un objetivo de 40X. También se realizaron pruebas de oxidasa y catalasa.

Resultados y Discusión

Evaluación de la biodegradación del sustrato: Los porcentajes de degradación de los cubrebocas tricapa se presentan en el Cuadro 2. Se observa que el consorcio Golfo de México logró el mayor porcentaje de degradación.

Cuadro 2. Degradación de cubrebocas en biorreactores con consorcio bacteriano.

Biodegradación de cubrebocas					
Consortio	Cubrebocas	P ₀ (g)	P ₁ (g)	P _p (g)	% Degradación
Puerto	Tricapa	4	3.8841	0.151	3.77
Golfo de México	Tricapa	4	3.1884	0.7992	19.98

Evaluación física de la degradación del sustrato: La Figura 1 exhibe muestras de cubrebocas sin haber sido sometidos a pruebas de biodegradación observados con microscopio a 40X, así como muestras del sustrato sometido al consorcio Puerto y al consorcio Golfo de México. Los fragmentos de cubrebocas que fueron sometidos a los consorcios, presentan mayor apertura entre las fibras de polipropileno en comparación con los cubrebocas sin tratamiento de biodegradación.

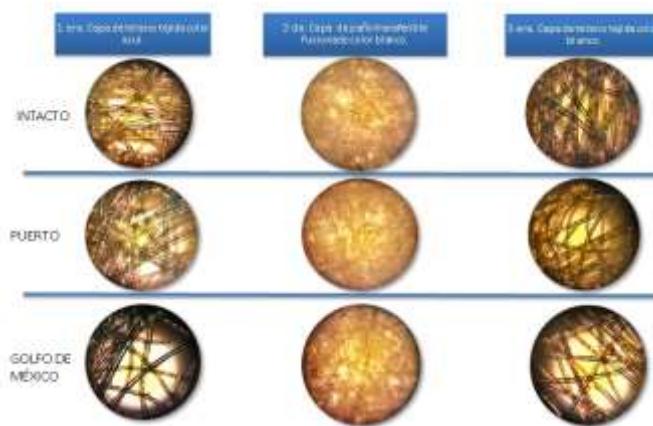


Figura 1. Muestras de cubrebocas tricapa antes y después de la biodegradación.

En la Figura 2 se presenta una comparación entre muestras intactas y muestras sometidas a biodegradación utilizando los consorcios microbianos al usar el microscopio estereoscópico con 4X. Se



aprecia que en muestras intactas los bordes son uniformes, mientras que en aquellas sometidas a degradación, los bordes se vuelven irregulares y las fibras aparecen más separadas.



Figura 2. Muestras de cubrebocas tricapa antes y después de la biodegradación con consorcios.

Cinética de crecimiento del consorcio bacteriano mediante la escala de McFarland: El Cuadro 3 muestra la absorbancia obtenida con el espectrofotómetro (D.O. Experimental), los valores fueron positivos (Figura 3) y muy cercanos a la línea de tendencia ($R^2 = 0.99$).

Cuadro 3. Absorbancia experimental obtenida de turbidez estándar.

Número de turbidez estándar	Densidad de bacterias aproximada (UFC/mL)	D.O. Experimental
0.5	1.50E+08	0.079
1	3.00E+08	0.111
2	6.00E+08	0.236
3	9.00E+08	0.362
4	1.20E+09	0.434
5	1.50E+09	0.546
6	1.80E+09	0.615
7	2.10E+09	0.735
8	2.40E+09	0.825
9	2.70E+09	0.958
10	3.00E+09	1.078



Figura 3. Curva de calibración experimental de la absorbancia frente a la densidad bacteriana.

Determinación del crecimiento bacteriano mediante espectrofotometría: Para el consorcio Golfo de México (BR1) en el Cuadro 4 y Figura 4 se muestran los valores de absorbancia del biorreactor 1. En el día 5 se presentó un mayor crecimiento bacteriano durante la fase exponencial. En el día 6 hubo una disminución en el crecimiento bacteriano, mientras que en el día 7 se produce un aumento, marcando el inicio de la fase estacionaria.

Cuadro 4. Absorbancia experimental obtenida de las muestras tomadas del biorreactor 1.

Días de crecimiento	D.O. Experimental	Densidad de bacterias aproximada (UFC/ml)
0	0.359	1.08E+10
1	0.691	2.07E+10
2	0.854	2.56E+10
3	0.998	2.99E+10
4	0.992	2.98E+10
5	1.088	3.26E+10
6	0.916	2.75E+10
7	1.047	3.14E+10
8	1.035	3.11E+10
9	0.973	2.92E+10
10	0.85	2.55E+10
11	0.751	2.25E+10
12	0.827	2.48E+10



Días de crecimiento	D.O. Experimental	Densidad de bacterias aproximada (UFC/ml)
13	0.672	2.02E+10
14	0.712	2.14E+10
15	0.836	2.51E+10

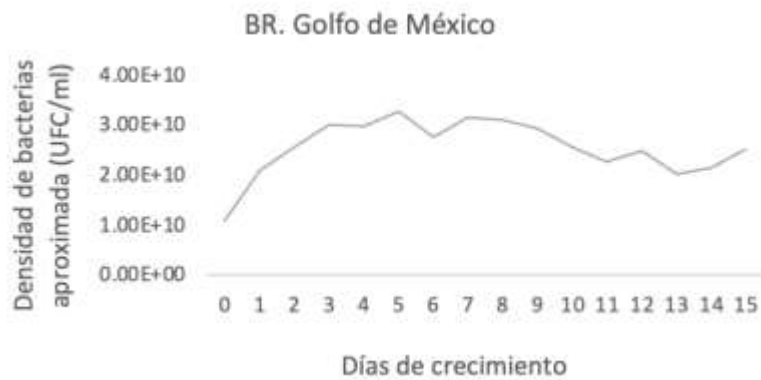


Figura 4. Cinética del crecimiento bacteriano del biorreactor 1.

Para el consorcio Puerto (BR2) con el biorreactor 2, en el Cuadro 5 muestra la cinética de crecimiento bacteriano con una variabilidad significativa, lo cual puede deberse a su condición de consorcio joven que requiere mayor madurez. La Figura 5 muestra que el día 1 tuvo el mayor valor, marcando el inicio de la fase exponencial después de la etapa de latencia. Los días 2 a 5, 7, 13 y 14 muestran valores bajos y similares en la densidad bacteriana.

Cuadro 5. Absorbancia experimental obtenida de las muestras tomadas del biorreactor 2.

BR 2		
Días de crecimiento	D.O. Experimental	Densidad de bacterias aproximada (UFC/ml)
0	0.05	1.500E+09
1	0.145	4.350E+09
2	0.041	1.230E+09
3	0.043	1.290E+09
4	0.059	1.770E+09
5	0.033	9.900E+08
6	0.104	3.120E+09



BR 2		
Días de crecimiento	D.O. Experimental	Densidad de bacterias aproximada (UFC/ml)
7	0.061	1.830E+09
8	0.012	3.600E+08
9	0.01	3.000E+08
10	0.06	1.800E+09
11	0.036	1.080E+09
12	0.035	1.050E+09
13	0.059	1.770E+09
14	0.055	1.650E+09
15	0.035	1.050E+09

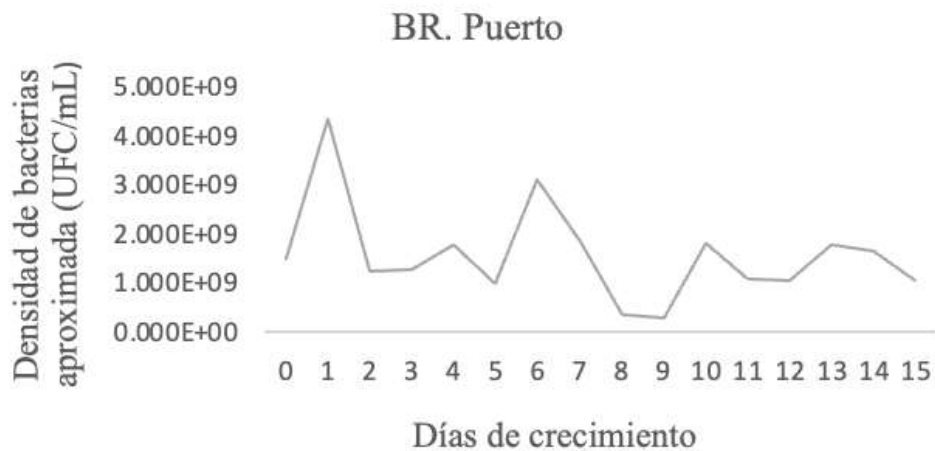


Figura 5. Cinética del crecimiento bacteriano del biorreactor 2.

Identificación bacteriana de los consorcios Puerto y Golfo de México: En el Cuadro 6 se enlistan las bacterias que se identificaron en las muestras de los consorcios microbianos en medios selectivos, también se presentan las pruebas de catalasa y oxidasa, así como la tinción de Gram.



Cuadro 6. Identificación de bacterias en consorcios microbianos.

Consortio Puerto				
Medio selectivo	Bacteria	Catalasa	Oxidasa	Estructuras-Gram
Billis Esculina	<i>Streptococcus pyogenes</i>	+	+	Negativa
Pseudomonas Agar P	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .	+	+	Negativa
Pseudomonas Agar F	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Escherichia coli</i> .	+	+	Negativa
ENDO	<i>Escherichia coli</i> , <i>Salmonella Typhimurium</i> , <i>Shigella flexneri</i> .	+	+	Negativa
TCBS	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	+	+	Negativa
Consortio Golfo de México				
Billis Esculina	<i>Enterococcus faecalis</i>	+	-	Negativa
Pseudomonas Agar P	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> .	+	+	Negativa
Pseudomonas Agar F	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Burkholderia cepacia</i> , <i>Escherichia coli</i> .	+	+	Negativa
ENDO	<i>Escherichia coli</i>	+	+	Negativa
TCBS	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	+	-	Positiva

Narciso *et al.* (2020) encontraron que cepas bacterianas aisladas de un bosque y cultivadas en un medio LB mostraron capacidad para degradar polietilentereftalato; además, un consorcio bacteriano de *Xanthomonas sp.*, *Acinetobacter bouvetii*, *Shewanella sp.* y *Aquamicrobium lusatiense* fue capaz de degradar completamente el diésel a una concentración de 20 g/L en solo 10 días. Valdivia (2022) evaluó un consorcio bacteriano aerobio para degradar polipropileno (PP) y polietileno (PE) en medios líquidos y sólidos, determinó que el consorcio degradó el 8.15% para PP y 10.12% para PE. Estos hallazgos confirman que el consorcio utiliza solo los polímeros plásticos como fuente de carbono para



realizar sus actividades metabólicas. En el presente estudio también se observó que los consorcios microbianos fueron capaces de degradar el polipropileno. El consorcio Puerto alcanzó el 3.77% de degradación, mientras que el consorcio Golfo de México registró el 19.98%. La examinación física del sustrato mostró diferencias entre las muestras de cubrebocas intactas y las sometidas al biorreactor. Las fibras presentaban una mayor separación entre sí y se observaron pequeñas partículas de biomasa. Los bordes de los fragmentos de cubrebocas perdieron su uniformidad después del proceso de degradación, adquiriendo una coloración amarillenta debido a la generación de biomasa.

En el monitoreo de 15 días, se observó una cinética de crecimiento microbiano más estable en el consorcio Golfo de México. El día 5, se registró el mayor incremento en la densidad bacteriana con $3.26E+10$ UFC/ml. El consorcio Puerto mostró una cinética de crecimiento bacteriano más variable, alcanzando su máxima densidad el día 1 con $4.350E+09$ UFC/ml. El consorcio Puerto es relativamente joven y solo estuvo en mantenimiento durante 15 días, mientras que el consorcio Golfo de México ha sido mantenido durante un año. Esto pudo haber influido en el crecimiento bacteriano y en el proceso de degradación. Esto concuerda con Tirado *et al.* (2015), que indican que la degradación de residuos puede retrasarse o incluso no ocurrir cuando las poblaciones microbianas tienen bajas densidades.

Las bacterias encontradas en los consorcios se consideran hidrocarbonoclastas facultativas, ya que fueron capaz de adaptarse al microcosmos previo a su escalamiento y al medio mineral en el que fueron inoculados, demostrando su capacidad degradadora. Las bacterias con mayor presencia fueron *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cepacia*, *Escherichia coli*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Streptococcus pyogenes*, *Salmonella Typhimurium*, *Shigella flexneri*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Enterococcus faecalis*. Castañeda *et al.* (2022), menciona que *Escherichia coli* es patógena, pero es tolerante a la presencia de contaminantes por hidrocarburos en su entorno. Por otro lado, *Pseudomonas* y *Burkholderia* crecen en diferentes ambientes y logran degradar hidrocarburos (Hamdan, 2004).

Conclusiones

- 1). Los consorcios microbianos demostraron su capacidad degradadora de cubrebocas fabricados con polipropileno, con el consorcio Puerto se logró una degradación del 3.77% y con el consorcio Golfo de México del 19.98%.
- 2). La cinética de crecimiento bacteriano fue más estable en el consorcio Golfo de México.



3). En los consorcios se identificaron las siguientes bacterias: *Pseudomonas aeruginosa*, *Burkholderia cepacia*, *Escherichia coli*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Streptococcus pyogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Shigella flexneri*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Enterococcus faecalis*.

Agradecimientos

Al CONAHCYT por otorgar beca a través del programa Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental con registro en PNPC como posgrado de calidad. Al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Boca del Río por la formación en sus instalaciones y el apoyo al proyecto de investigación: “Consortio microbiano como método de remediación para residuos de un solo uso: Caso cubrebocas”.

Literatura Citada

Angeles, O., S. A. Medina M., A. Jiménez G., A. Coreño A. y M. A. Lizardi J. 2017. Predominant mode of diesel uptake: Direct interfacial versus emulsification in multiphase bioreactor. *Chemical Engineering Science* 165:108-112.

Avellaneda, T. L. M., L. M. Melgarejo M., C. E. Narváez C. y J. Sánchez, N. 2012. Actividades enzimáticas en consorcios bacterianos de suelos bajo cultivo de papa con manejo convencional y bajo pastizal. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 65(1):6349-6360.

Castañeda, C. M. R., B. Y. López S., C. Reyes, V., F. Lango, R. y M. A. Lizardi, J. 2022. Identificación de especies dominantes en un consorcio microbiano eficiente en la degradación de diésel. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 38:155-167.

Denis, B., O. Pérez A., M. A. Lizardi J. and A. Dutta. 2017. Numerical evaluation of direct interfacial uptake by a microbial consortium in an airlift bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation* 119:542-551.



- García C. N. U., S. Valdivia R., L. Narciso O., J. Q. García M., M. M. Uribe F., M. L. Aguirre M. and M. A. Lizardi J. 2019. Diesel uptake by an indigenous microbial consortium isolated from sediments of the Southern Gulf of Mexico: Emulsion characterisation. *Environmental Pollution* 250:849-855.
- Hamdan, P. A. 2004. Biomonitorio: Seguimiento de poblaciones microbianas en procesos de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México, D.F. 94 p.
- Isidoro P. Á. J. 2020. Biorreactores como alternativa de remediación de hidrocarburos en agua del Río Bitzal, Tabasco. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Boca del Río. División de Estudios de Posgrado e Investigación. 97 p.
- Lizardi J. M. A. y M. Gutiérrez R. 2011. Evaluación de las zonas hidrodinámicas locales en un reactor airlift trifásico: buscando el Re de fase líquida más bajo. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1):59-65.
- López, T., L. Domínguez y J. García. 2006. Arreglo estructural de un consorcio microbiano de interés alimentario en la producción de vinagre. Trabajo presentado en el VIII Congreso Nacional Asociación Mexicana de Microscopia. Acapulco, Gro., México.
- Medina, M. S. A., A. Jiménez G., M. Gutiérrez R. and M. A. Lizardi J. 2013. Hexadecane aqueous emulsion characterization and uptake by an oil-degrading microbial consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation* 84:1-7.
- Narciso, O. L., A. Coreño A., D. Mendoza O., C. A. Lucho C. and M. A. Lizardi J. 2020. Baseline for plastic and hydrocarbon pollution of rivers, reefs, and sediment on beaches in Veracruz State, México, and a proposal for bioremediation. *Environmental Science and Pollution Research* 27:23035-23047.



Pucci, G. N., A. Acuña., N. Tonin., M. C. Tiedemann y H. O. Pucci. 2010. Diversidad de bacterias cultivables con capacidad de degradar hidrocarburos de la playa de Caleta Córdova, Argentina. *Revista Peruana de Biología* 17(2):237-244.

Quiroga, G. N. Y. 2021. Reactor con consorcios bacterianos degradador de plásticos. Memoria de residencia. Instituto Tecnológico de Tehuacán. Ingeniería bioquímica. 64 p.

REMARCO (Red de Investigación de Estresores Marinos – Costeros en Latinoamérica y el Caribe). (2020). Contaminación por microplásticos. <https://remarco.org/contaminacion-por-microplasticos/>

Singh, B. and S. Nisha. 2008. Mechanistic implications in plastic degradation. *Polymer, Degradation and Stability* 93:561-584.

Tirado, T. D., O. Acevedo S., C. Romo G., Y. Marmolejo S. y M. Gayosso C. 2015. Participación de consorcios microbianos en la biodegradación de hidrocarburos aromáticos policíclicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2(3):77-86.

Valdivia, C. C. F. 2022. Generación y caracterización de un consorcio bacteriano aerobio que degraden polietileno y polipropileno como alternativa de manejo en la CDMX. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo. 97 p.

Vasudevan, N. and P. Rajaram. 2001. Bioremediation of soil sludge-contaminated soil. *Environment International* 26:409-411.



PROPUESTA DE DOS NUEVOS INDICADORES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE PARA “ARROYO MORENO”, VERACRUZ

Marcos Hernández López^{364*}, Fabiola Lango Reynoso³⁶⁴, Olaya Pirene Castellanos Onorio³⁶⁵,
Leonardo Martínez Cárdenas³⁶⁶, María del Refugio Castañeda Chávez³⁶⁴, Jesús Montoya Mendoza³⁶⁴
y Mario Díaz González³⁶⁵

Resumen

Arroyo Moreno es un área natural protegida catalogada como reserva ecológica, tiene registradas distintas actividades que la impactan ambientalmente, entre las que destacan las siguientes categorías: 1) primarias como la ganadería, pesca y tala; 2) secundarias como el desarrollo inmobiliario y la industria; 3) terciarias como el turismo. Por esto surge la necesidad de desarrollar herramientas que permitan evaluar su estado y sirvan de base para la toma de decisiones enfocadas a su manejo. Se proponen dos indicadores para el desarrollo sostenible, para lo cual se seleccionaron a los peces y al manglar como grupos de estudio debido a su importancia ecológica dentro de los ecosistemas acuáticos y a su respuesta a los impactos antropogénicos. Estos indicadores son: 1) la proporción de peces en peligro (PPP) y 2) la superficie forestal real como proporción de la superficie total protegida (SFRPSTP). El cálculo de ambos indicadores se realizó con información de los últimos estudios disponibles de la ictiofauna y vegetación. Se determinó que el 71.33% de los peces que habitan ésta área natural protegida se encuentran en alguna categoría de riesgo. La superficie forestal real como proporción de la superficie total protegida mostró que en actualmente solo se tiene el 63.77% de la superficie protegida originalmente, las cuales corresponden a bosque de manglar. La información obtenida es importante porque pueden servir de base para estudios futuros de la condición y estado ambiental de esa zona, así como para la toma de decisiones para su manejo y conservación. Los indicadores propuestos no se limitan a esta área natural, tienen el potencial de poder ser aplicados en otras áreas naturales que incluyan ecosistemas acuáticos por lo que son una herramienta útil en la gestión ambiental para la sustentabilidad.

³⁶⁴ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río. *hernandezlopezm@bdelrio.tecnm.mx

³⁶⁵ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Veracruz.

³⁶⁶ Universidad Autónoma de Nayarit.



Palabras clave: biodiversidad, cambio climático, conservación ambiental

Introducción

El desarrollo sostenible permite hacer frente a las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de futuras generaciones para satisfacer sus necesidades, tomando en cuenta tres criterios de equilibrio, los cuales deben de ser interdependientes: la cohesión social, el crecimiento económico y la conservación de recursos del medio ambiente (Gómez, 2020), en este sentido surgen los indicadores del desarrollo sostenible, los cuales son unidades de información procesada, generalmente de carácter cuantitativo que generan una idea clara y accesible respecto a un aspecto específico de la sostenibilidad y del desarrollo; así como cuánto se difiere de una situación deseada son vinculantes e integran a los distintos ámbitos tal como el económico, social, ambiental, cultural e institucional, los cuales se expresan generalmente como porcentajes, permitiendo su aplicación en cierta área o región para evaluar el progreso en la sostenibilidad (Velásquez y De armas, 2013). Los indicadores del desarrollo sostenible están relacionados con los objetivos del desarrollo sostenible pues plantean respuestas sistémicas a temas tan importantes como la degradación ambiental (Gil, 2018) y es en ese tenor donde se relacionan con las áreas naturales protegidas, tales como la denominada Arroyo Moreno en Veracruz, Área Natural Protegida (ANP) catalogada como reserva ecológica estatal, que pertenece a la cuenca hidrológica del río Jamapa. El ANP Arroyo Moreno es un hábitat de tipo estuarino que recibe agua dulce del río Jamapa con el cual confluye y agua marina por los intercambios mareales con el golfo de México (García *et al.*, 2019; Salas-Monreal *et al.*, 2020).

Dentro del ANP Arroyo Moreno se tienen registradas las actividades de turismo, pesca, industria, ganadería y tala. Se tienen identificados diversos impactos relacionados con estas actividades tal como contaminación por petróleo, vertido de aguas residuales, contaminación por agroquímicos, expansión ganadera, alteraciones en los flujos hidrológicos, vertido de residuos sólidos, contaminación por lixiviados, tala del manglar, desecación del humedal y dragado. Así mismo, se tienen registradas como principales amenazas a la expansión de la mancha urbana, la construcción de caminos, los asentamientos irregulares sobre el manglar y cacería furtiva (GEV, 2006; Pardo, 2006; Paradowska, 2007; López-Portillo *et al.*, 2009; Méndez, 2013). Si bien se tienen identificadas las principales amenazas e impactos, en la actualidad no se tienen indicadores del desarrollo sostenible diseñados a



nivel regional los cuales reflejen la condición ambiental de este ecosistema, y que además sirvan como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, involucrándose dentro de las distintas dimensiones para poder medir el desarrollo enfocado a la sustentabilidad. Con base en lo anterior, se planteó el objetivo de proponer dos indicadores del desarrollo sostenible aplicados al ANP Arroyo Moreno que sirvan de base en la toma de decisiones para su conservación.

Materiales y Métodos

Se utilizaron como base los siguientes indicadores del desarrollo sostenible: “Especies en peligro de extinción” y “Superficie forestal como proporción de la superficie total” (INEGI, 2023), para el primero se hizo un ajuste en lo que respecta a las categorías de riesgo, de modo que se incluya la NOM-059-SEMARNAT-2010 Protección ambiental - especies nativas de México de flora y fauna silvestres - categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo, el estatus de riesgo de peces de norteamérica (Jelks *et al.*, 2008) y la lista roja de la UICN. Dado el carácter de “Arroyo Moreno” como un ecosistema acuático, se acotó evaluar a los peces, esto debido a su importancia ecológica y a la posibilidad de establecer el efecto de actividades antropogénicas en los ecosistemas acuáticos, ya que la ictiofauna responde a los impactos directos e indirectos sobre el ecosistema teniendo repercusión en sus poblaciones (Chapman, 2002; Torres-Bugarin *et al.*, 2007; Masson *et al.*, 2017). Se tomaron las especies de peces reportadas para esta región por García *et al.* (2019). El segundo indicador se ajustó de modo que se tomó en consideración la superficie total forestal actual y la superficie total de cuando se decretó como ANP Arroyo Moreno, tomando como referencia los datos de su decreto como ANP y los actuales, los cuales corresponden a bosque de manglar (CONABIO, 2010; García *et al.*, 2019).

Resultados y Discusión

Proporción de peces en peligro

Este indicador se basa en el indicador global de “especies en peligro de extinción”; sin embargo, delimitado a peces, por ser un grupo de organismos de gran importancia ecológica en la región, para lo



cual se utilizaron los últimos listados taxonómicos, acotando a las especies referidas y registradas recientemente (García *et al.*, 2019). En el Cuadro 1 se presenta la ficha metodológica para este indicador, adaptada del INEGI (2023).

Cuadro 1. Ficha metodológica para el indicador propuesto “Proporción de peces en peligro”.

Indicador	Proporción de peces en peligro
Definición	Es el porcentaje de las especies de los principales grupos taxonómicos de peces conocidos que se encuentran en alguna categoría de riesgo.
Qué mide	Mide el porcentaje de especies de peces en alguna categoría de riesgo.
Dimensión(es)	Ecológica y social.
Utilidad/alcance	Tiene como finalidad buscar una gestión más eficiente del hábitat y sus recursos, encaminado a la adopción de medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats acuáticos y detener la pérdida de biodiversidad.
Limitaciones	Se debe de conocer el estatus de todas las especies que se consideraran en el estudio.
Método/fórmula	El cálculo porcentual se realiza dividiendo el número de especies de peces en alguna categoría de riesgo (IUCN, Jelks <i>et al.</i> (2008), NOM-059-SEMARNAT-2010) según sea el caso, entre el número total de especies conocidas presentes en el área de estudio, multiplicado por 100.
Criterios	Se relaciona directamente con pesca y otras actividades antropogénicas, pues ejercen impacto directo sobre el hábitat.

Para el ANP Arroyo Moreno se utilizaron los datos correspondientes al último registro, en el análisis de los datos no se contemplaron los peces del género *Oreochromis* porque son considerados como especies invasoras (Gutiérrez-Bonilla, 2006) ajenas al hábitat de estudio (García *et al.*, 2019). De este modo se cuantificaron 46 especies de peces registradas, 33 especies en alguna categoría de riesgo y el 71.33% de los peces están en peligro. Este indicador no se ha utilizado en otros sitios, solo se ha usado el análisis de las especies amenazadas como apoyo para la gestión ambiental en otras áreas naturales, tal es el caso de la zona de Manabí en Ecuador, en donde se utilizó el número de especies amenazadas de plantas, enfocándose en aquellas de valor comercial, encontrándose que el 75% de ellas se encuentran amenazadas (Rosete *et al.*, 2019), lo cual es cercano al 71.33% estimado en el presente



estudio, por lo que tal determinación puede servir de base para la toma de decisiones en cuanto a la gestión y conservación de esta ANP, con prospección a su aplicación a grupos de peces más específicos tales como especies clave o centinelas debido a su relevancia ecológica (Corsi *et al.*, 2003); así mismo dado el tipo de grupo usado (peces) para el cálculo de este índice, queda abierta la posibilidad de su implementación en otras ANP.

Superficie forestal (real) como proporción de la superficie total protegida

Este indicador se define como el porcentaje de la superficie cubierta vegetal respecto a la superficie que teóricamente fue decretada como protegida. En el Cuadro 2 se presenta la ficha metodológica que fue adaptada del INEGI (2023).

Cuadro 2. Ficha metodológica para el indicador Superficie forestal (real) como proporción de la superficie total protegida.

Indicador	Superficie forestal (real) como proporción de la superficie total protegida
Definición	Es el porcentaje de la superficie cubierta por bosques y selva en la actualidad., respecto a la superficie que teóricamente se decretó como protegida.
Qué mide	Mide las hectáreas de superficie que quedan con cobertura vegetal, expresada como porcentaje del área decretada como ANP.
Dimensión (es)	Ecológica, social e institucional.
Utilidad/ alcance	Tiene como finalidad buscar una gestión más eficiente de los ecosistemas, tomando el remanente de cobertura vegetal, respecto al ANP, por lo que evidencia su declive.
Limitaciones	Toma en cuenta datos absolutos, no toma en cuenta las causas de esa disminución, si bien en la mayoría de los casos la cobertura vegetal disminuye directa o indirectamente por actividades antropogénicas.
Método/Fórmula	Se propone sea calculado dividiendo la superficie de cobertura vegetal existente sobre la cobertura vegetal teórica de un área que debería estar presente (ANP) multiplicado por 100.
Criterios	Este indicador estaría relacionado directamente con las actividades que se desarrollan en la región y que impactan al ecosistema, pudiéndose evidenciar el deterioro del mismo.



Para el ANP Arroyo Moreno se utilizaron los datos correspondientes al área de manglar que se tenía en su decreto como ANP y datos actuales (CONABIO, 2010; García *et al.*, 2019) obteniendo 450 ha originales y 287 ha actuales, por lo que el 63.77% corresponde a la superficie forestal real.

La pérdida de superficie forestal es entonces 36.23%, motivo por el cual el presente indicador tiene relevancia en la dimensión institucional, cabe destacar que en Arroyo Moreno esta vegetación corresponde a bosque de manglar, vegetación representada por cuatro especies: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, las cuales se encuentran amenazadas según la NOM-059-SEMARNAT-2010, principalmente por la deforestación asociado al cambio de uso de suelo (Gómez-Pompa *et al.*, 2010).

El manglar de Arroyo Moreno tiene gran importancia ecológica y con base en López-Portillo *et al.* (2009) está asociado a servicios ecosistémicos como:

- Protección y estabilización del suelo.
- Recarga de acuíferos y limpieza del agua.
- Amortiguación de los vientos que se presentan (sobre todo en época de nortes).
- Zonas de protección, alimentación y reproducción de aves, peces, mamíferos, anfibios y reptiles.
- Captura de dióxido de carbono y su fijación en materia orgánica.
- Estabilización de microclimas.
- Protección de la erosión costera provocada por fuertes vientos y oleaje.
- Hábitat a especies con importancia comercial pesquera.

Por lo anterior, la protección y conservación del ANP es de gran importancia, estudios han usado al manglar como bioindicador a nivel ecosistémico, pues proporciona información clara sobre el estado y calidad del ambiente en el que se encuentra, para lo cual se ha usado como principal parámetro la medición de la cobertura vegetal, pues se ha relacionado con la condición ambiental del ecosistema en el que se encuentran. Arroyo Moreno bien podría considerarse como un bioindicador aplicado a un índice del desarrollo sostenible, dada la importancia de este tipo de vegetación y debido a que en otros lugares ya han sido utilizados mediante la medición de área foliar en una determinada área, midiendo su pérdida e interpretándola como parte de estudios que determinan el estado ambiental de un ecosistema (López-Portillo y Lara-Domínguez, 2019).

Con base en los hallazgos del presente estudio se podrían tomar acciones para el manejo y conservación de esta ANP porque están relacionados directamente con los objetivos del desarrollo



sostenible: 13 acción por el clima, 14 vida submarina y 17 alianzas para lograr objetivos. Debido a los elementos contemplados en ambos indicadores, estos pudieran utilizarse a futuro en otras ANP, tal como se ha hecho en previos estudios, en los que se ha asociado la pérdida de área de manglar con un estado ambiental disminuido o alterado dado que la pérdida de cobertura de manglar se ha visto asociada con cambios en sus condiciones de tolerancia debido, entre otros a actividades antropogénicas (Kovacs *et al.*, 2001; Rivera-Monroy *et al.*, 2006), así como otros estudios en los que se ha usado la evaluación de la ictiofauna para proponer medidas de conservación en ríos (Álvarez *et al.*, 2019).

Conclusiones

- 1). El ANP “Arroyo Moreno” ha sufrido una pérdida del 36.22% de su superficie forestal desde su creación como ANP a la fecha.
- 2). El ANP “Arroyo Moreno” presenta al 71.33% de sus especies ícticas en alguna categoría de riesgo.
- 3). Los resultados obtenidos de ambos índices propuestos pueden servir como base para la toma de decisiones para la gestión y conservación del área natural protegida “Arroyo Moreno”.
- 4). Los indicadores “Superficie forestal (real) como proporción de la superficie total protegida” y “proporción de peces en peligro” dada su adaptabilidad tienen el potencial de ajustarse y utilizarse en otras áreas naturales.
- 5). Ambos indicadores propuestos están relacionados directamente con los objetivos del desarrollo sostenible: 13 acción por el clima, 14 vida submarina y 17 alianzas para lograr objetivos.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM), en particular al Instituto Tecnológico de Boca del Río, por las facilidades para la realización de éste trabajo y al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada, con número de registro 838657.



Literatura Citada

- Álvarez, F., Armendáriz G., Jiménez B., Millán L., Ojeda J. y Villalobos J. 2019. Conservación de dos ríos en Los Tuxtlas, Veracruz: la aplicación de índices de integridad biótica. Antropización: primer análisis integral, IBUNAM-CONACYT. 221-242.
- Chapman, P. 2002. Integrating toxicology and ecology: Putting the “eco” into ecotoxicology. *Marine Pollution Bulletin* 44:7-15.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO. México, D.F.
- Corsi, I., Mariottini M., Sensini C., Lancini L. and Focardi S. 2003. Fish as bioindicators of brackish ecosystem health: integrating biomarker responses and target pollutant concentrations. *Oceanologica Acta* 26(1):129-138.
- García, A., Mendoza J. and López, R. 2019. Historical approach of the fish species composition in Arroyo Moreno, Veracruz, Mexico. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología* 12(45):895-908.
- Gil, C. 2018. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): una revisión crítica. *Papeles de relaciones ecosociales y cambio global* 140(1):107-118.
- Gobierno del Estado de Veracruz (GEV). 2006. Programa de manejo del área natural protegida Arroyo Moreno. Boca del Río-Medellín de Bravo, Veracruz. México, Gobierno del Estado de Veracruz.
- Gómez, I. 2020. Desarrollo sostenible. España. 131 p.
- Gómez-Pompa, A., Krömer T. y Castro-Cortés R. 2010. Atlas de la flora de Veracruz un patrimonio natural en peligro. México. Gobierno del estado de Veracruz. Tlalnepantla, México. 529 p.



Gutiérrez-Bonilla, F. 2006. Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, Colombia. 156 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2023. Sistema de información de los objetivos de desarrollo sostenible, México. <https://agenda2030.mx/ODSopc.html?ti=T&goal=0&lang=es#/ind> [consultado el 2 de mayo de 2023].

Jelks, H., Walsh S., Burkhead N., Contreras-Balderas S., Diaz-Pardo E., Hendrickson, *et al.* 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries* 33(8):372-407.

Kovacs, J., Wang J. and Blanco-Correa M. 2001. Mapping disturbances in a mangrove forest using multi-date Landsat TM imagery. *Environmental Management* 27:763-776.

López-Portillo, J. y Lara-Domínguez A. 2019. Los manglares como bioindicadores. En Rivera-Arriaga, E., Sánchez-Gil P. y Gutiérrez, J. (Ed). *Tópicos de agenda para la sostenibilidad de costas y mares mexicanos*. Universidad Autónoma de Campeche. pp. 69-87.

López-Portillo, J., Gómez L., Lara-Domínguez A., Ávila-Ángeles A. y Vázquez-Lule D. 2009. Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. México, D. F.

Masson, I., González J., Dubny S., Othax N. y Peluso O. 2017. Aplicación del índice de integridad biótica basado en las comunidades de peces para el monitoreo de la calidad de agua del Arroyo Del Azul (Pcia. Buenos Aires). *Biología Acuática* 32.



- Méndez, J. 2013. Análisis del estado actual de conservación del área natural protegida Arroyo Moreno, (Boca del Río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 68 p.
- Paradowska, K. 2007. Criterios para el ordenamiento de manglares y selvas inundables en la planicie costera central de Veracruz, México: Un instrumento de manejo comunitario, caso arroyo moreno en Boca del Rio. Informe. OIMT-INECOL.
- Pardo, G. 2006. Desarrollo comunitario: base para las propuestas de conservación y manejo del manglar de Arroyo Moreno. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. 125 p.
- Rivera-Monroy, V., Twilley R., Mancera E., Alcantara-Eguren A., Castañeda-Moya E., Casas O., *et al.* 2006. Adventures and misfortunes in Macondo: rehabilitation of the Ciénaga Grande de Santa Marta lagoon complex, Colombia. *Ecotropicos* 19(2):72-93.
- Rosete, S., Sáens R. y Coronel D. 2019. Biodiversidad como indicador de sostenibilidad para la gestión ambiental enfocada al turismo, Manabí, Ecuador. *Revista Científica Multidisciplinaria* 3(3):137-154.
- Salas-Monreal, D., Riveron-Enzastiga M. J., Bernal-Ramirez R., Marin-Hernandez M. and Granados-Barba A. 2020. Bathymetric flow rectification in a tropical micro-tidal estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 235:106562.
- Torres-Bugarin, O., Zavala-Aguirre J., Gomez-Rubio P., Buelna-Osben H., Zuniga-Gonzalez G. y Garcia-Ulloa M. 2007. Especies de peces con potencial como bioindicadoras de genotoxicidad en el lago “La Alberca”, Michoacán, México. *Hidrobiológica* 17(1):75-81.
- Velásquez, L. y De armas, M. 2013. Indicadores de desarrollo sostenible para la planificación y toma de decisiones en el Municipio Caroní. *Universidad, Ciencia y Tecnología* 17(66):19-27.



RESIDUOS PLÁSTICOS EN LAS PLAYAS TURÍSTICAS DE VERACRUZ- BOCA DEL RÍO

Alejandra del Carmen Huesca Alvarado³⁶⁷, Magnolia Grisel Salcedo Garduño^{367*}, Fabiola Lango Reynoso³⁶⁷,
María del Refugio Castañeda Chávez³⁶⁷, Itzel Galaviz Villa³⁶⁷, Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez³⁶⁷
y Claudia Araceli Dávila Camacho³⁶⁷

Resumen

La contaminación de residuos sólidos urbanos en las playas es un problema frecuente, el principal componente contaminante en el mar es el plástico, debido a las diferentes actividades recreativas que se generan. La presencia de residuos plásticos disminuye la demanda del turismo y afecta a la fauna típica. El objetivo fue comparar la cuantificación de residuos plásticos en dos playas turísticas de Veracruz-Boca del Río, durante dos periodos de evaluación y clasificar los residuos plásticos. Se seleccionaron las playas Villa del Mar (VM-VR) y Santa Ana (SA-BR), se trazaron tres transectos perpendiculares a la línea de costa, en cada transecto se establecieron tres cuadrantes de 1 m² para la toma de muestras de cada cuadrante. Se colectaron un total de 153 muestras de arena superficial y se trasladaron al Instituto Tecnológico de Boca del Río para su procesamiento. Las muestras de residuos plásticos (RP) fueron cuantificadas y clasificadas en subcategorías. Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk y se aplicó una prueba t de Student con $\alpha = 0.05$, para determinar diferencias en la cuantificación de RP entre playas. Se obtuvo un total de piezas de RP para la playa VM-VR de 199 y para SA-BR de 309 en los dos periodos de estudio. Se clasificaron 11 subcategorías de RP, de las cuales LP07 y LP24 obtuvieron la mayor presencia. No hubo diferencias $p = 0.483$ en la cuantificación de RP entre playas; sin embargo, la playa SA-BR presentó los valores máximos de RP durante el primer periodo. Lo anterior es debido a que VM-VR tiene mayor actividad turística y los servicios de limpieza y recolección de basura son prioritarios.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, clasificación, caracterización de residuos plásticos

³⁶⁷ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río.
*magnoliasalcedo@bdelrio.tecnm.mx



Introducción

La contaminación ambiental ocasionada por actividades antropogénicas es un problema complejo y global que involucra diversos factores políticos, económicos, científicos, tecnológicos y culturales que interactúa de modo que se dificulta la ejecución de acciones correctivas (Reyna, 1999). Por lo que ha surgido la necesidad tomar conciencia y buscar alternativas para su solución (Palacios y Moreno, 2022). En particular, los ecosistemas marinos y costeros son proveedores de bienes y servicios ambientales que generan bienestar para la población humana y promueven su desarrollo socioeconómico (Hattam *et al.*, 2015), mediante actividades propias de las poblaciones costeras, como el turismo, la pesca y el comercio. Como resultado de estas actividades turísticas y recreativas se generan productos descartados por la población en las playas que son considerados como residuos sólidos urbanos (RSU) (Botero y García, 2011). El manejo inadecuado de los RSU ha provocado su concentración en diversos ecosistemas, así como la contaminación de los ecosistemas marinos (Rosado *et al.*, 2018).

Los desechos o basura marinos incluyen a todos los materiales sólidos manufacturados desechados o abandonados en el medio marino costero (CPPS, 2007). En la actualidad la basura marina está extensamente dispersas en los océanos, en aguas abiertas y en aguas costeras, los residuos plásticos (RP) son los principales (Andrades *et al.*, 2016). Como residuos sólidos se encuentra una variedad como vidrio, papel, cartón, metal, tela, residuos relacionados con la pesca, madera, filtros de cigarrillos, residuos sanitarios provenientes de aguas residuales, cuerdas, juguetes, entre otros (Cheshire *et al.*, 2009); los plásticos representan poco más del 80% de la basura marina (Deudero y Alomar, 2015).

El uso del plástico ha incrementado considerablemente ya que tiene infinidad de aplicaciones en nuestra vida cotidiana. Debido a sus características de alta resistencia al envejecimiento y la biodegradación, han vuelto al plástico un contaminante con efectos ambientales negativos (Retama *et al.*, 2016), en el mar el plástico es el principal componente contaminante (Rosado *et al.*, 2018).

Las playas son depósitos de sedimento que se encuentran en la frontera del litoral, entre los límites inferior y superior de las mareas baja y alta (Martínez, 2010), ofrecen una variedad de servicios ambientales, son fuente de alimentos, barreras naturales contra tormentas y ciclones y proveen servicios recreacionales y estéticos (Rodríguez *et al.*, 2018). La contaminación de las playas por RP es uno de los problemas más frecuentes debido disminuye la demanda del turismo y afecta a la micro y macro fauna (Cruz *et al.*, 2020).



En México, la SEMARNAT (2019) reporta que para el año 2017 la generación anual de residuos fue de 102 895 t/día, en particular Veracruz ocupa el tercer sitio en la generación de RSU con más de 6 000 t/día (SEMARNAT, 2020) porque posee un amplio litoral costero; en particular, en la zona costera Veracruz - Boca del Río, los asentamientos humanos que se encuentran en esta zona realizan actividades relacionadas con el aprovechamiento de los recursos costeros y marinos (Sánchez, 2015).

Debido a la gestión inadecuada de los residuos domésticos y a las actividades socioeconómicas propias de la zona costera como el turismo, la pesca y el comercio, la calidad ambiental de estos ecosistemas se ha ido deteriorando, poniendo en peligro los servicios ecosistémicos (Lu *et al.*, 2018). El objetivo de este estudio fue comparar la cuantificación de residuos plásticos en dos playas turísticas de Veracruz - Boca del Río, durante dos periodos de estudio; así como clasificar los residuos plásticos.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en las playas turísticas Villa del Mar (VM-VR) y Santa Ana (SA-BR), ubicadas en la zona conurbada Veracruz - Boca del Río (Figura 1), la cual se distingue por encontrarse en constante desarrollo económico, con actividades turística e industriales (Pérez-Ruíz *et al.*, 2011). Se localiza en la región de Sotavento de Veracruz entre los paralelos 19° 03' y 96° 16' de latitud norte y los meridianos 96° 06' y 96° 21' de longitud oeste. El clima que prevalece en esta zona es de tipo cálido subhúmedo o semihúmedo con lluvias en verano. La temperatura máxima en promedio anual es de 28.5°C y mínima promedio anual de 17.2°C, con rango de precipitación anual de 1 502.9 mm (CONAGUA, 2022).

Se compararon los residuos plásticos (RP) en los periodos 2017-2018 y (2023) en las playas VM-VR y SA-BR durante temporadas vacacionales. En el primer periodo se realizaron seis muestreos en VM-VR y siete en SA-BR. Para el segundo periodo se realizaron dos muestreos en ambas playas, los muestreos se efectuaron entre las 12:00 y 16:00 horas del día. Para seleccionar los sitios de muestreo se realizó un recorrido de uno a otro extremo de cada playa, para identificar las diferentes zonas de línea de playa (intermareal, supralitoral y mesolitoral), a las cuales se identificaron como zona de actividad (franja de arena húmeda con tránsito de turistas), zona de descanso (franja donde se ubican las carpas de los turistas) y la zona de transición (franja con vegetación e infraestructuras de servicios como palapas, mesas con sombrillas) (Figura 2a), utilizando como criterio el ancho de playa, las secciones de playa utilizadas para turismo, y la distribución de los usuarios.

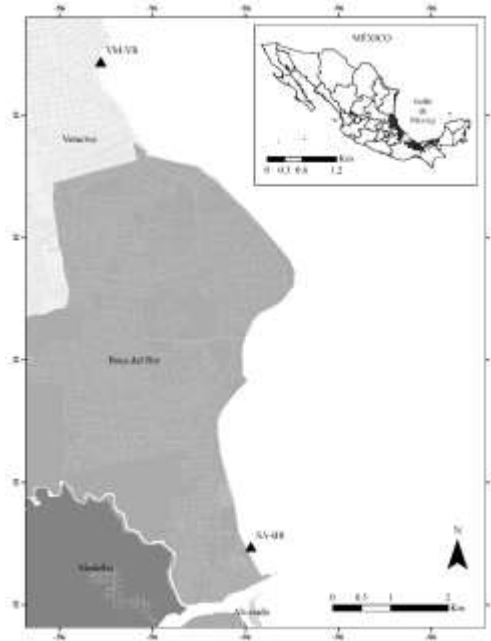


Figura 1. Playas turísticas usadas como sitios de muestreo en la región Veracruz - Boca del Río.

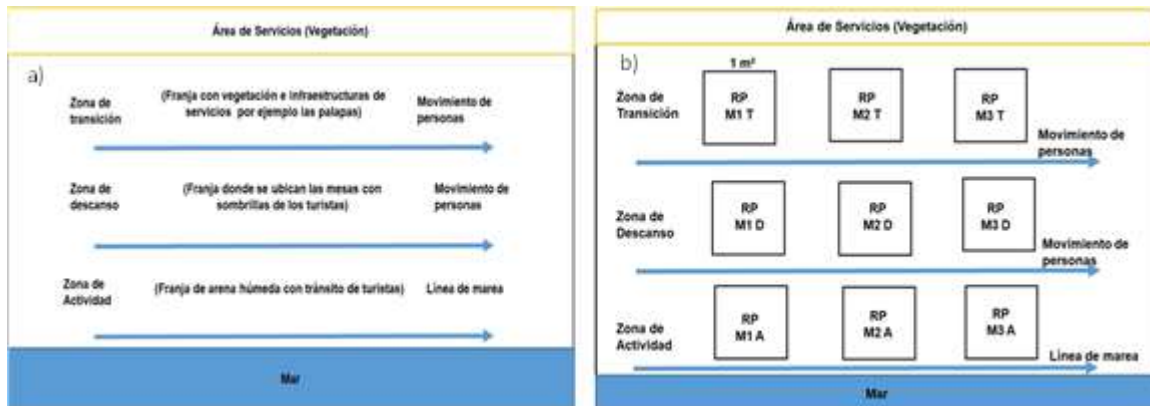


Figura 2. Identificación de las líneas y zonas de playa (actividad, descanso y transición) (a) y esquema del diseño de muestreo de residuos plásticos en las playas de VM-VR y SA-BR (b).

Se trazaron tres transectos perpendiculares a la línea de costa, en cada transecto se establecieron tres cuadrantes de un 1 m² con tubo de PVC de una pulgada, para la toma de muestras se recogieron todos los elementos de residuos presentes en cada cuadrante, tomando sedimento superficial (0 a 5 cm de profundidad) con ayuda de una pala de jardín y tamizando a través de una malla de 0.5 mm de diámetro de poro para ser lavadas (Figura 2b) (Garcés-Ordóñez *et al.*, 2020). Posteriormente se resguardaron en bolsas de polietileno previamente etiquetadas. Las muestras se trasladaron al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (LIRA) del Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz.



El procesamiento de las muestras consistió en cuantificar y clasificar RP de acuerdo a las normas de Cheshire *et al.* (2009) que comprende una lista de 10 clases de materiales diferentes y un total de 77 subcategorías. Para el plástico se usó la clasificación de 29 subcategorías de forma manual sobre una mesa de superficie plana.

Se aplicó estadística descriptiva para los datos registrados y se realizó una prueba de normalidad de Shapiro Wilk y un análisis comparativo paramétrico tipo t de Student ($\alpha = 0.05$) para determinar diferencias entre playas. Los análisis se realizaron con el programa Jamovi® versión 2.3.26.

Resultados y Discusión

Se analizaron 153 muestras de sedimento superficial en los dos periodos de estudio. El primero incluyó 117 y el segundo 36 muestras. En la playa VM-VR, durante el primer periodo se cuantificó un 71.86% (143/199) de RP, mientras que en el segundo se cuantificó un 28.14% (56/199) del total de los RP recuperados. En la playa de SA-BR se obtuvo el 81.22% (251/309) durante el primer periodo y el 18.8% (58/309) para el segundo periodo. La playa SA-BR presentó los valores máximos de residuos plásticos registrados durante el primer periodo (Cuadro 1).

De acuerdo con Guevara-Franco *et al.* (2011), Andrades *et al.* (2016) y Palacios *et al.* (2022), los plásticos son uno de los residuos más registrados en estudios sobre contaminación, los plásticos son identificados en zonas urbanas y en playas. Existe evidencia que este suceso impacta negativamente al ambiente en países como México, Chile, Cuba y Colombia debido a la abundancia, manejo y reciclado y disposición final inadecuada de estos plásticos.

Cuadro 1. Cuantificación de residuos plásticos durante los dos periodos de estudio.

Periodo de muestreo	Meses	Periodo vacacional	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)	
Primer periodo	2017	Abril	Semana Santa	--	50
		Agosto	Verano	37	19*
		Diciembre	Invierno	38*	71*
	2018	Enero		11	19*



Periodo de muestreo	Meses	Periodo vacacional	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)	
Segundo periodo	Febrero		9*	22	
	Marzo	Semana Santa	24	35	
	Abril		24	35	
	2023	Enero	Invierno	21	21
		Abril	Semana Santa	35	37
		Promedio		24.9±11.2	30.6±19.6
Total de piezas de residuos plásticos durante los dos periodos			199	309	

*Máximo y mínimo.

En el primer periodo, las muestras de sedimento obtenidas en la playa de VM-VR permitió cuantificar 12 tipos de RP y fueron clasificados en 8 subcategorías. En la playa de SA-BR se cuantificaron 13 tipos de RP y se clasificaron en 9 subcategorías (Cuadro 2).

Cuadro 2. Residuos plásticos totales clasificados durante el primer periodo de muestreo (2017-2018) en las playas de VM-VR (Villa del Mar) y SA-BR (Santa Ana).

Código de subcategoría	Clasificación de residuos plásticos	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)
PL01	Tapas de botellas	5	32
PL02	Botellas	4	16
PL04	Cucharas	6	5
	Popotes	12	20
	Tenedores	6	1
PL05	Anillos y portadores (six pack)	0	8
PL06	Platos	7	15
	Vasos	12	33
PL07	Bolsas de plástico	23	20
	Envolturas	13	43
PL24	Otros (plásticos)	51	43



Código de subcategoría	Clasificación de residuos plásticos	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)
FP02	Contenedores de comida	3	14
FP05	Otros (poliestirenos)	1	1
Total de residuos plásticos clasificados		143	251

De los RP cuantificados y clasificados en la playa VM-VR con mayor presencia se incluyen los denominados como otros plásticos (PL24). Dentro de estos tipos de residuos, se identificaron fragmentos de objetos como bolsas, envolturas, botes, vasos, zapatos, pañales, toallas sanitarias, juguetes playeros, sillas y mesas. Posteriormente se encuentran las bolsas de plástico y envolturas que se clasificaron en la subcategoría (PL07), las bolsas pueden ser lizas o con hazas, un gran porcentaje de las bolsas encontradas son provenientes de una cadena de tiendas denominadas Oxxo. Con envolturas se entiende como toda clase de residuo plástico que fue utilizado para cubrir algún producto, por ejemplo, sobres de frituras, galletas, paletas, juguetes u otros productos. En tercer lugar, se registraron cucharas, popotes y tenedores con la subcategoría PL04. En la playa SA-BR el RP con mayor número de piezas fueron clasificadas en la subcategoría PL07, que incluye bolsas de plástico y envolturas; seguido por los platos y vasos en la subcategoría de PL06 y finalmente la subcategoría PL24 otros plásticos (Figura 3).

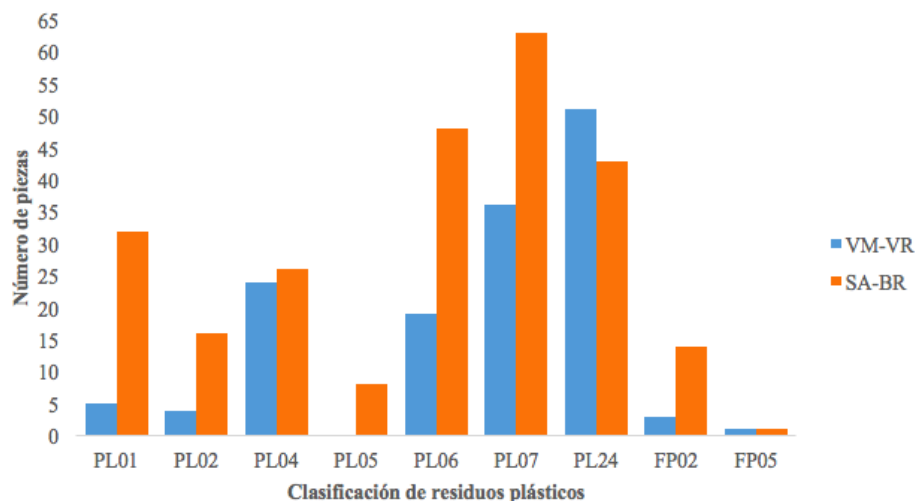


Figura 3. Caracterización de los residuos plásticos de las playas VM-VR (Villa del Mar) y de SA-BR (Santa Ana) del primer periodo (2017-2018).



Garcés-Ordoñez et al. (2020), mencionan que la macrobasura plástica fue la categoría más abundante en todas las playas estudiadas, representando del 35% al 72% de todos los artículos, seguida por la basura metálica, de vidrio, de escombros, textil, madera procesada, papel-cartón y otros de acuerdo a la Guía para el Monitoreo de Desechos Marinos en las Playas del Área Marítima OSPAR. Asimismo, Wilson y Verlis (2007), clasificaron seis 6 tipos de plásticos (plástico duro, lámina, fibroso, espumado, cuerda y médicos), con mayor porcentaje de recuperación de plásticos (68 a 92%).

Para Andrades *et al.* (2016) los artículos relacionados con alimentos son los tipos de desechos plásticos (flexibles y rígidos) más abundantes en las playas sin distinción del tipo de urbanización o condiciones ambientales. Sin embargo, para Cruz-Salas *et al.* (2020) refieren que del total de macroresiduos recuperados, los más frecuentes fueron los plásticos rígidos con el 76% que correspondieron a vidrio y cerámica. En cuanto a los fragmentos cuantificados, los más frecuentes fueron fragmentos de llantas y mangueras, lo cuales fueron en menor proporción.

En el segundo periodo, las muestras de sedimento superficial colectadas en VM-VR permitió cuantificar 7 tipos de RP y clasificar en 6 subcategorías, para la playa de SA-BR se registraron 6 tipos de RP y 5 subcategorías (Cuadro 3).

Cuadro 3. Residuos plásticos totales clasificados durante el segundo periodo de muestreo (2023) en las playas de VM-VR (Villa del Mar) y SA-BR (Santa Ana).

Código de subcategoría	Clasificación de residuos plásticos	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)
PL01	Tapas de botellas	15	17
PL07	Fragmento de bolsas de plástico	5	10
	Bolsa de plástico	5	0
PL11	Colillas	7	12
PL20	Fragmentos de ligas	11	13
PL24	Otros (fragmento de plástico rígido)	12	6
FP05	Otros (fragmento de plástico espumado)	1	0
Total de residuos plásticos clasificados		56	58

En la playa de VM-VR se identificó a tapas de botella con la subcategoría PL01 como la de mayor presencia, seguido por otros plásticos a la que se le clasificó con la subcategoría PL24 a los fragmentos



de plástico rígido y el tercer lugar lo ocuparon los fragmentos de ligas clasificados como PL20. En la Playa SA-BR el RP con mayor presencia pertenece a la subcategoría PL01 que corresponden a tapas de botellas, seguido por los fragmentos de ligas (PL20) y finalmente se cuantificó y clasificó a la subcategoría PL11 que incluye colillas de cigarro.

En este segundo periodo se clasificó un menor número de categorías de RP; sin embargo, se registraron dos subcategorías diferentes a las del primer periodo (PL20 y PL24) y se recuperaron con mayor presencia fragmentos de RP (Figura 4). Lo que coincide con Cruz *et al.* (2020) quienes mencionan que los muestreos de sedimento superficial realizados sobre la línea pleamar permiten la recuperación de residuos fragmentosos, lograron recuperar 120 macroresiduos y 80 fragmentosos. Para Andrades *et al.* (2016), los fragmentos de vasos de plásticos, envases de caramelos y tapas de refrescos son los artículos más abundantes en las playas.

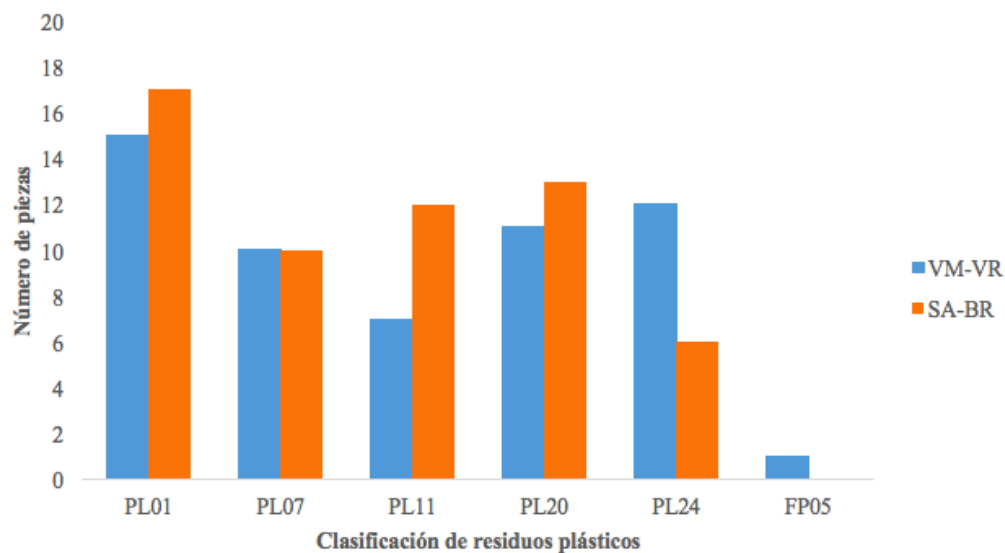


Figura 4. Caracterización de los residuos plásticos de las playas VM-VR (Villa del Mar) y de SA-BR (Santa Ana) del segundo periodo (2023).

Para ambos periodos, en el cuadro 4, se puede observar que se clasificó un total de 11 tipos de subcategorías de RP. En ambos periodos la playa de SA-BR registró la mayor presencia de RP. Las categorías con mayor número de piezas recuperadas de RP fueron PL07, PL01, PL24 y PL06 (Figura 5).



Cuadro 4. Residuos plásticos totales clasificados durante los dos periodos de estudio en las playas de VM-VR (Villa del Mar) y SA-BR (Santa Ana).

Código de subcategoría	Playa VM-VR (# de piezas)	Playa SA-BR (# de piezas)
PL01	20	49
PL02	4	16
PL04	24	26
PL05	0	8
PL06	19	48
PL07	46	73
PL11	7	12
PL20	11	13
PL24	63	49
FP02	3	14
FP05	2	1

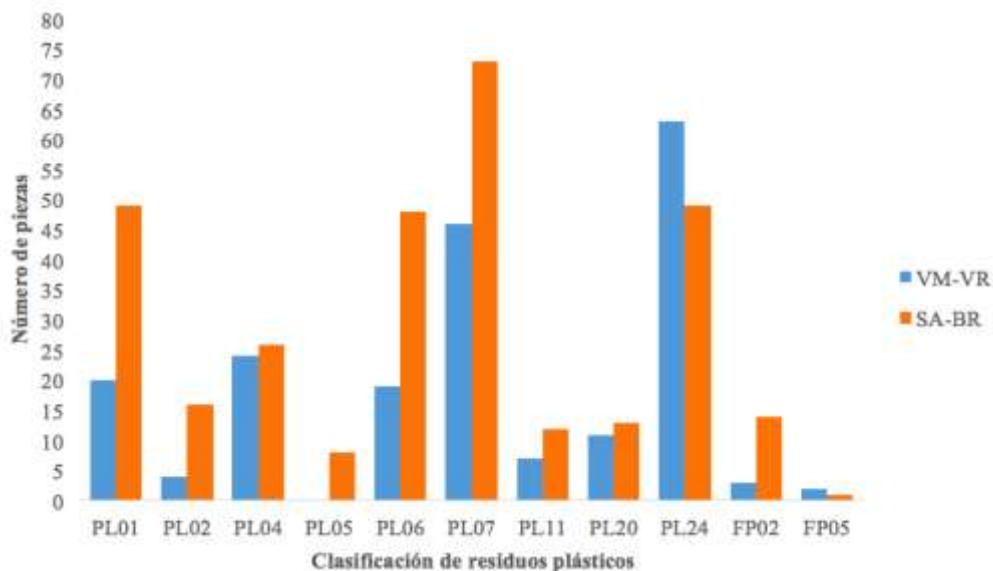


Figura 5. Caracterización de los residuos plásticos de las playas VM-VR (Villa del Mar) y de SA-BR (Santa Ana) durante los dos periodos de estudio.

De acuerdo con el análisis estadístico, no se encontraron diferencias significativas ($p=0.483$) entre la presencia de residuos plásticos de las playas estudiadas durante los dos periodos de estudio. A pesar de



no haber diferencias significativas entre el número de MP cuantificados y clasificados, existe una tendencia de recuperación de RP mayor en la playa SA-BR a diferencia de VM-VR donde se registró menor número de piezas. Lo anterior es debido a que VM-VR tiene mayor actividad turística y los servicios de limpieza y recolección de basura son prioritarios.

Para Garcés-Ordóñez *et al.* (2020) el turismo es una actividad socioeconómica importante en las zonas costeras, que deteriora la calidad del ecosistema marino - costero cuando la gestión es inadecuada, aumentando la contaminación por basura en las playas durante las principales temporadas turísticas. La presencia de RP en playas de la zona costera de Veracruz - Boca del Río es un problema frecuente debido a su cercanía con asentamientos urbanos y actividades productivas (Sánchez, 2015).

La Playa Villa del Mar (VM-VR) cuenta con una extensión aproximada de 360 m, es la playa más antigua turística dentro del municipio de Veracruz, a lo largo de la playa hay restaurantes, palapas turísticas, sombrillas y mesas de servicio ubicadas hacia la zona intermareal (Gallegos, 2008) y actualmente es la playa con mayor número de visitantes. De acuerdo con Valadez y Ortíz (2013), la playa de Santa Ana (SA-BR) pertenece al municipio de Boca del Río, la cual cuenta con una extensión de 500 m aproximadamente, es una playa con un ancho promedio de 50 m, en donde existe poca infraestructura de comercio alto como hoteles y restaurantes, pero es común encontrar prestadores de servicios como “palaperos” y venta de comida ambulante.

Guevara-Franco *et al.* (2011) indica que las playas más alejadas de la zona turística y en donde se tiene menor presencia de prestadores de servicios, es donde se tiene la mayor presencia de residuos plásticos, aunado a esto, las playas con mayor afluencia turísticas presentan un menor índice de residuos, esto debido a que el sector turístico pone total atención en estas playas excluyendo a las demás de la limpieza. En temporada alta como vacaciones por semana Santa y carnaval, se duplican los recorridos de limpia por parte del ayuntamiento, pasando en la mañana de 05:00 a 07:00 aproximadamente y en la tarde de 17:00 a 18:00 horas.

Conclusiones

- 1) Las actividades turísticas y comercios en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río tienen un efecto directamente sobre la presencia de residuos plásticos en las playas VM-VR y SA-BR. La playa SA-BR presentó los valores máximos de residuos plásticos. Sin embargo, la cantidad de residuos



plásticos presentes durante ambos periodos de estudio no representan diferencias entre las playas.

- 2) Los principales residuos plásticos presentes en las playas turísticas de la zona conurbada de Veracruz - Boca del Río pertenecen a las siguientes subcategorías PL01, PL02, PL04, PL05, PL06, PL07, PL11, PL20, PL24, FP02 y FP05.
- 3) Los residuos plásticos con mayor presencia fueron los que pertenecen a las categorías LP07, PL24, PL06 y PL01.
- 4) Los residuos plásticos identificados fueron productos de uso común tal como envolturas, bolsas de plástico, fragmentos de plásticos rígidos, fragmentos de bolsas de plástico, platos, vasos, tapas de botellas.

Agradecimientos

Al TecNM por financiar al proyecto “Residuos sólidos urbanos y su relación con los microplásticos en las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río” clave 16964.23P.

Literatura Citada

- Andrades, R., Martins A. S., Fardim L. M., Ferreira J. S. and Santos, R. G. 2016. Origin of marine debris is related to disposable packs of ultra-processed food. *Marine Pollution Bulletin* 109(1):192-195.
- Botero, D. J. y García, L. C. 2011. Cuantificación y clasificación de residuos sólidos en playas turísticas. Evaluación en tres playas de Santa Marta, Colombia. XIV Congreso Latino-Americano de Ciências do Mar - XIV COLACMAR.
- Cheshire, A. C., Adler E., Barbière J., Cohen Y., Evans S., Jarayabhand S., *et al.* 2009. UNEP/IOC Guidelines on survey and monitoring of marine litter. UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series No. 83. 120 p.



Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2022. Red de estaciones climatológicas. Ciudad de México, México: Servicio Meteorológico Nacional.

CPPS. 2007. Basura marina en el pacífico sudeste: una revisión del problema. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Guayaquil, Ecuador. 31 p.

Cruz-Salas, A. A., J. C. Alvarez-Zeferino, C. Martínez-Salvador, M. R. Enríquez-Rosado, M. R. Gutiérrez-Ortiz, A. Vázquez-Morillas y S. Ojeda-Benitez. 2020. Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar* 24(71):3-21.

Deudero, S. and Alomar C. 2015. Mediterranean marine biodiversity under threat: Reviewing influence of marine litter on species. *Marine Pollution Bulletin* 98(1-2):58-68.

Gallegos, O. 2008. Organización espacial del corredor turístico Veracruz-Boca del Río. *Teórica Práctica* 5:171186.

Garcés-Ordóñez, O., Espinosa Díaz L. F., Pereira Cardoso R. and Costa Muniz M. 2020. The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin* 160:111558.

Guevara-Franco, J. L, Flores-Castillo, L. P, Canul-Azcorra, S., Aburto-Espinosa, D. y Romero-Campos, G. 2011. Caracterización y cuantificación de subproductos de residuos sólidos en las playas del sur de Costa Maya, Quintana Roo.

Hattam, C., Atkins J. P., Beaumont N., Börger T., Böhnke-Henrichs A., Burdon D. and Austen M. C. 2015. Marine ecosystem services: Linking indicators to their classification. *Ecological Indicators* 49:61-75.



- Lu, Y., Yuan J., Lu X., Su C., Zhang Y., Wang C. *et al.* 2018. Major threats of pollution and climate change to global coastal ecosystems and enhanced management for sustainability. *Environmental Pollution* 239:670-680.
- Martínez, M. 2010. *Las playas y dunas costeras: un hogar en movimiento*. Fondo de Cultura Económica México, D. F. 189 p.
- Palacios, A. Í. y D. W. Moreno C. 2022. Contaminación ambiental. *Recimundo* 6(2):93-103.
- Pérez-Ruíz, M. A., Alcaraz Z. T., Rangel-Avalos M. A., Zea-de la Cruz H. y Ortiz-Lozano L. 2011. Principales problemáticas de la zona conurbada; Veracruz, Boca del Río y Medellín: causas y actores involucrados. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana.
- Retama, I. 2016. Evaluación ambiental de las playas de Huatulco, Oaxaca, México. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
- Reyna, R. J. 1999. La contaminación ambiental. *Industrial data* 2(1):51-54.
- Rodríguez-Revelo, N., I. Espejel, C. Arredondo-García, L. Ojeda-Revah and M. A. Sánchez-Vázquez. 2018. Services of beaches and coastal sand dunes as a tool for their conservation. In: Botero, C. M., Cervantes O. and Finkl C. W. (eds). *Beach management tools - concepts, methodologies and case studies*. Coastal Research Library. Springer. pp. 75-100.
- Rosado, V., Mendoza N., Vázquez A., Álvarez J., Beltrán M., Ojeda S. 2018 Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz. *11(1):64-72*.
- Sánchez, B. E. 2015. El género *Enterococcus* como contaminante en la zona intermareal en playas arenosas de Veracruz-Boca del Río. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana.



Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Informe de la situación del medio ambiente en México. 2020. Residuos. 431-450. Recuperado de: <https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/index.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2018. Contaminación por plásticos en el océano. Cifras alarmantes. México.

Valadez-Rocha, V. y L. Ortiz-Lozano. 2013. Efectos espaciales y temporales de la expansión de las instalaciones portuarias en la superficie de los arrecifes de coral poco profundos. *Gestión Ambiental* 52(1):250-260.

Wilson, S. P. y Verlis, K. M. 2017. La cara fea del turismo: la contaminación por desechos marinos vinculada a las visitas en el sur de la Gran Barrera de Coral, Australia. *Boletín de Contaminación Marina*, 117(1-2):239-246.



TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON HUMEDALES CONSTRUIDOS: IMPORTANCIA Y FUNCIONALIDAD CON CASO DE ESTUDIO EN PASTORÍAS, ACTOPAN, VERACRUZ

José Luis Marín Muñiz^{368*}, Irma Zitácuaro Contreras³⁶⁸ y Sergio Zamora Castro³⁶⁹

Resumen

El tratamiento de las aguas residuales es una meta mundial de acuerdo a las problemáticas de contaminación y ante la falta de sistemas de tratamiento por los altos costos para su instalación, operación y mantenimiento. Ante tal situación, los humedales construidos o de tratamiento son una alternativa ecológica y económicamente viable que incluye microorganismos, vegetación y sustratos como componentes primordiales en celdas donde se hace pasar el agua a tratar. Tales sistemas o ecotecnologías limpian el agua mediante procesos físicos, químicos y biológicos, de acuerdo al flujo de agua pueden ser superficiales o subsuperficiales, estos últimos de acuerdo a la dirección del flujo pueden ser de flujo horizontal o vertical. En este estudio, se describe con detalle la ecotecnología, los retos y ventajas de su uso, también se analiza la funcionalidad de un sistema instalado en Actopan, Veracruz, donde las celdas del sistema subsuperficial de flujo horizontal estuvieron rellenas con capas de piedra porosa de río, residuos con dobleces de plástico y una tercera capa de grava volcánica, en donde se sembró vegetación ornamental y en las que se observaron remociones entre 50 y 95% de componentes orgánicos e inorgánicos. Se demuestra la eficiencia de remoción de la ecotecnología, donde además se produjo vegetación que puede aprovecharse para arreglos florales o elaboración de artesanías. Algunos retos detectados para implementar de manera masiva esta ecotecnología son la falta de trabajo colaborativo entre academia, sociedad y autoridades, además de la elaboración de manuales de construcción, operación y mantenimiento, así como asesoramiento continuo a la sociedad para la adopción y apropiación de los humedales. Se sugiere el uso de esta alternativa en sitios con problemas similares de contaminación hídrica, así como considerar en su diseño a vegetación ornamental que no

³⁶⁸ Academia Desarrollo Regional Sustentable. El Colegio de Veracruz.

³⁶⁹ Facultad de Ingeniería, Construcción y Hábitat, Universidad Veracruzana.

*soydrew@hotmail.com



solo convierta el sistema en un área más estética, sino de multipropósitos, donde el agua se limpie para su reutilización y además la vegetación producida se pueda comercializar.

Palabras clave: humedales de tratamiento, recurso hídrico, sustentabilidad, vegetación ornamental

Introducción

El deterioro ambiental es una de las prioridades a nivel mundial, al respecto la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible reconoce que la gestión y el desarrollo sostenible son fundamentales para mejorar la calidad de vida, por lo que propone trabajar con las autoridades locales y las comunidades para renovar y planificar los asentamientos humanos a través de la cohesión comunitaria. Como una de las acciones destaca el Objetivo 6 referente a el fortalecimiento de la participación de las comunidades en la mejora de la gestión del agua y saneamiento.

A nivel nacional, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4 describe que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar, es el Estado quien se lo garantizará. Sumado a lo anterior, el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (Gobierno de México, 2019) contempla construir un país con bienestar, privilegiando a las clases más desprotegidas y en apego a la justicia social. Con lo anterior, se demuestra que se reconoce el deterioro ambiental con estrategias para avanzar hacia un mejor aprovechamiento de los recursos; sin embargo, en materia hídrica se acentúa la problemática como consecuencia del incremento poblacional y sus diversas actividades.

Para el año 2050, uno de cada cuatro habitantes carecerá de agua. En México, la disponibilidad per cápita de agua superficial en 1950 era de 18 035 m³/hab/año y disminuyó a 3 656 m³/hab/año en 2017; así mismo, de un total de 731 cuencas, 98 presentan problemas de abastecimiento, lo que se acentúa derivado de la descarga de aguas residuales sin tratar debido a la deficiente infraestructura de tratamiento de aguas residuales (CONAGUA, 2022). La misma CONAGUA reporta una cobertura de saneamiento municipal del 67.5% y para el sector industrial del 25.3%, estos porcentajes corresponden solo a las aguas colectadas, quedando fuera de este conteo aquellas aguas vertidas a cielo abierto o ríos o aquellas vertidas a drenajes sin tratamiento final.



La instalación de plantas de tratamiento es aún menor en las localidades rurales, donde sus altos costos de construcción y operación hacen casi imposible destinar recursos económicos para ello, razón por la cual las casi 188 000 localidades rurales en México vierten sus aguas residuales a los ríos, al subsuelo, lagos u océanos, sin tratamiento previo (Marín-Muñiz, 2017).

Al respecto, una de las alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales son las ecotecnologías de humedales artificiales o también llamados humedales construidos (HC), que apenas reportan un aprovechamiento no mayor al 9% de los tratamientos instalados en México (CONAGUA, 2021). Sin embargo, aunque el funcionamiento de estos es sencillo, es necesario conocer su funcionalidad y operatividad, así como también que sea la misma población la que los opere y obtenga beneficios de su uso, para promover su utilidad a largo plazo. Por lo tanto, este estudio se planteó como objetivo describir la importancia de los HC, la funcionalidad de un caso de estudio en Actopan, Veracruz, así como su aprovechamiento, retos y oportunidades a enfrentar con su uso.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en tres fases. La primera fue una revisión bibliográfica a partir de la cual se realizó un análisis horizontal, con la que se atiende el objetivo de descripción de la importancia de los HC. La segunda fase se basó en analizar la funcionalidad de un HC en un caso de estudio en Pastorías Actopan, Veracruz. La tercera fase consistió en analizar el aprovechamiento a obtener a partir de sistemas de humedales instalados, así como los retos y oportunidades a enfrentar con su uso.

El caso de estudio fue realizado en la comunidad de San José Pastorías del municipio de Actopan, Veracruz. Está ubicada en los paralelos 96° 34' 14" longitud este y 19° 33' 52" latitud norte, con una altitud de 251 msnm; el clima es semi-cálido húmedo y templado húmedo, el régimen de propiedad comunitario es ejidal (SEFIPLAN, 2015). Por iniciativa académica entre apoyos de El Colegio de Veracruz y El Tecnológico Nacional de México campus Orizaba, en el año 2012 se implementó un humedal construido comunitario de 40 m² (Figura 1) (Sandoval, 2023), que redujo los contaminantes de las aguas residuales comunitarias hasta en un 80%. La construcción y operación del sistema inicia con estudios de investigación (Sandoval, 2021; Zitácuaro, 2022).

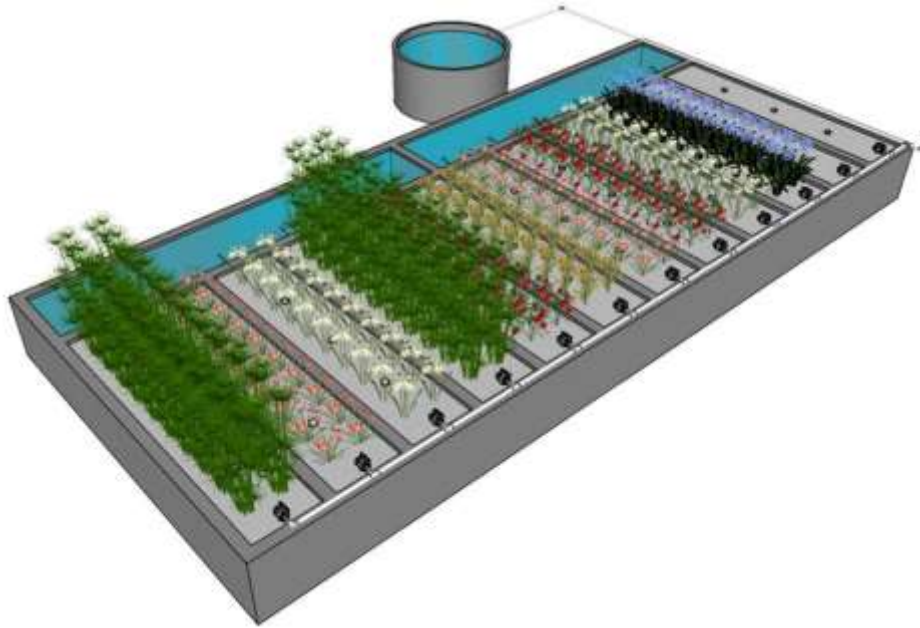


Figura 1. Esquema humedal construido en 2012 en Pastorías, Actopan, Veracruz.

En el año 2022 se logró el apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente para realizar una extensión del humedal y dar tratamiento al 100% de las aguas residuales comunitarias teniendo ahora un área total de 60 m² (hasta 16 000 litros de aguas residuales diarios).

El sistema actualmente consta de 18 celdas de 4 x 0.8 x 0.5 m con un total aproximado de 60 m² de área de humedales sembrados con plantas ornamentales como: *Typha* sp., *Heliconias*, *Papyrus* sp., *Strelitzia reginae*, *Alpinia purpurata* y *Canna hybrids*, que han demostrado su adaptación a ambientes de humedales de tratamiento (Marín-Muñoz *et al.*, 2023). Cada celda opera a un TRH de 24 horas. La construcción de nuevas celdas fue a partir de block y cemento como las previas. El relleno incluyó una capa base de piedra porosa de río de 10 cm de diámetro, luego 30 cm de residuos de plásticos rugosos o con dobleces como taparrosas, cuellos y bases de botella. Los últimos 10 cm fue de tezontle rojo. El análisis de las muestras de agua se realizó mediante técnicas colorimétricas con espectrofotometría.

Resultados y Discusión

Fase 1. Tipos de HC y su importancia para limpiar el agua: Los HC son sistemas eco ingenieriles que mediante procesos físicos, químicos y biológicos remueven la mayor parte de contaminantes del agua



replicando los procesos de descomposición que ocurren en los humedales naturales. Los HC pueden ser de flujo superficial o subsuperficial (Figura 2). Los últimos son los más comunes y se basan en celdas rellenas de un material granular poroso donde se generan películas microbianas, que son las principales removedoras de contaminantes (Mitsch y Gosselink, 2015; Marín-Muñiz, 2017). El sustrato también sirve de anclaje para la vegetación que se siembre en las celdas, cuya función también es absorber contaminantes. En los HC de flujo subsuperficial la dirección del flujo puede ser de manera horizontal o vertical. Entre las principales ventajas de funcionamiento de un HC está que no requiere energía eléctrica para su operación, ni de mano de obra especializada y no usa químicos en su proceso.

Por otro lado, los sistemas de flujo superficial, solo son celdas que tienen una capa de sustrato en la parte inferior de la celda, casi todo el espacio de la misma es el agua a tratar y está en contacto directo con la atmósfera. La Figura 1 muestra que al tener tales características puede haber plantas emergentes, arraigadas al sustrato, plantas sumergidas también enraizadas en el sustrato pero que no sobresalen de la columna de agua y plantas flotantes, cuya raíz permanece dentro del agua y sus hojas o flores flotan sobre la columna de agua. Cuando con la intención de mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes se mezclan los tipos de humedales y flujos dando lugar a humedales híbridos.

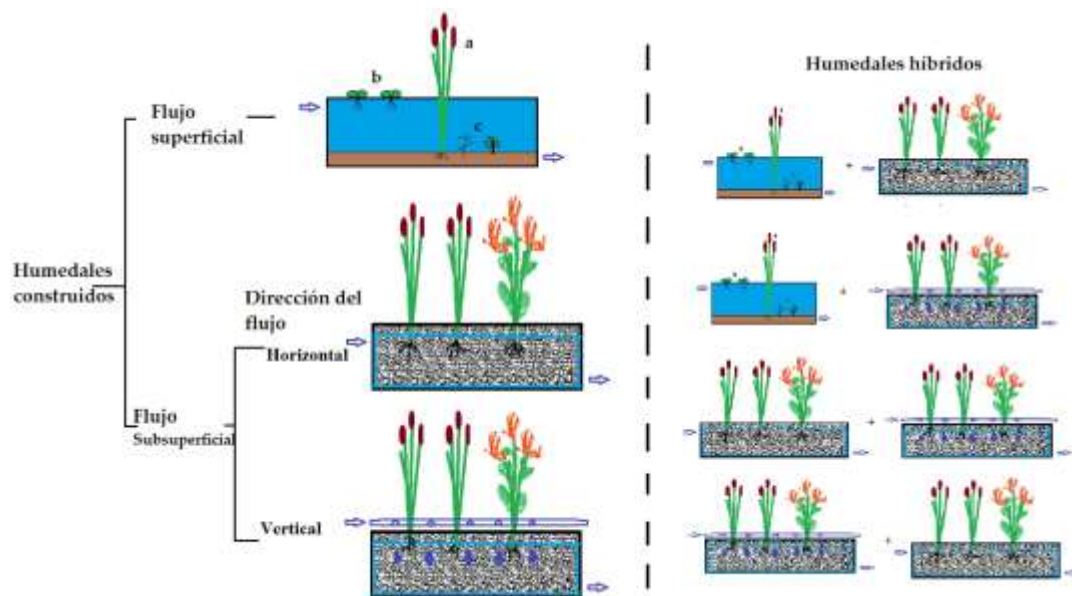


Figura 1. Humedales superficiales y subsuperficiales (lado izquierdo) e híbridos (lado derecho), a) plantas emergentes, b) plantas flotantes, c) plantas sumergidas.



Las plantas sembradas en HC es comúnmente vegetación de humedales naturales como *Typha* sp., *Thalia* sp., y *Pontederia* sp. (Marín-Muñiz, 2018). Actualmente especies terrestres ornamentales se evalúan en cuanto a su funcionalidad de adaptación y de remoción de contaminantes, para que además de generar paisajes estéticos, al poder cultivar flores ornamentales se aproveche su potencial florístico para la elaboración de artesanías comerciales (Campaña *et al.*, 2015; Marín-Muñiz *et al.*, 2023). En el Cuadro 1 se indican estudios que han evaluado el uso de plantas ornamentales florales en HC, con dimensiones mayores a 45 m², mismos que atienden problemas comunales reales de contaminación por aguas residuales, entre las que destacan el uso de especies como el alcatraz (*Zantedeschia ethiopica*), anturio (*Anturium* sp.), platanillo (*Canna* sp.) y cuna de moisés (*Spathiphyllum blandum*).

Esta información es importante porque son los primeros estudios a gran escala como ejemplo de la funcionalidad de los HC como ecotecnología apropiada para limpiar las aguas residuales tanto doméstica, municipales, universitarias e industriales como se describe en en Cuadro 1, donde se reportan remociones de contaminantes superiores al 50% mediante el uso principalmente de plantas ornamentales. Otros estudios a nivel laboratorio también han demostrado la remoción de contaminantes de aguas residuales industriales como las textiles, farmacéuticas o de destilería (Vymazal, 2014).

Cuadro 1. Listado de humedales construidos para tratar aguas residuales a mayor escala en México.

Sitio	Agua tratada	Vegetación utilizada	Área de humedal	Tratamiento (%)	Referencia
Villahermosa, Tabasco	Aguas residuales de Campus Universitario	<i>Typha domingensis</i> y <i>Eichhornia crassipes</i>	54 m ²	DQO, DBO ₅ , NT: 90-97%	(Solís <i>et al.</i> , 2016)
Xalapa, Veracruz	Aguas residuales de departamentos	<i>Hedychium coronarium</i> , <i>Strelitzia reginae</i> , <i>Zantedeschia aethiopica</i> , <i>Lilium</i> sp., <i>Cyperus papyrus</i> , <i>Heliconia</i> sp.	48 m ²	PO ₄ : 44-62% NH ₄ : 68-98% DBO ₅ : 70-80%	(Hernández y Lagunes, 2018)
Pinoltepec, Emiliano Zapata, Veracruz	Aguas residuales comunitarias	<i>Typha</i> sp., <i>Zantedeschia aethiopica</i> ., <i>Hedychium coronarium</i> . <i>Thalia</i> sp.	60 m ²	NT: 47% PT: 33% DQO: 67%	(Hernández, 2016)
Chapala, Jalisco,	Aguas residuales	<i>Canna hybrids</i> y	70m ²	DQO: 86%	(Merino-Solís <i>et</i>



Sitio	Agua tratada	Vegetación utilizada	Área de humedal	Tratamiento (%)	Referencia
México	municipales	<i>Strelitzia reginae</i>		NT: 30-33% PT: 24-44%	<i>al.</i> , 2015)
San Juan de Aragón, A. Madero, México	Agua eutroficada de lago	<i>Phragmites australis.</i> , <i>Equisetum hyemale</i> y <i>Cyperus papyrus</i>	1613 m ²	DBO: 88% NT: 72% PT: 50%	(Luna-Pabello y Aburto-Castañeda, 2014)
Instalaciones UAM Xochimilco, México.	Aguas residuales municipales	<i>Arundo donax.</i> , <i>Medicago sativa</i> y <i>Zandechia aethiopica</i>	55m ²	DQO: 92% N-NH ₄ : 85% P-PO ₄ : 80%	(Ramírez-Carrillo <i>et al.</i> , 2009)
<i>Cucuchucho, Tzintzuntzan, Michoacán</i>	Aguas residuales comunitarias	<i>Phragmites australis.</i> , <i>Typha latifolia</i> y <i>Zantedeschia aethiopica</i>	3265 m ² Sumado a otros 7 sistemas	DBO: 89 NT: 80 PT: 74	(González y Rivas, 2008)
Argovia, Tapachula, Chiapas.	Agua miel de lavado de café.	<i>Saccharum spp.</i> , <i>Panicum máximum.</i> , <i>Heliconia psittacorum.</i> , <i>Vetiveria zizanoides</i> y <i>Clorophytum conmutatum</i>	300 m ²	DQO: 91% Coliformes: 93%	(Orozco <i>et al.</i> , 2006)

Respecto a la funcionalidad del sistema HC en Pastorías, Actopan, Veracruz, aunque ya se ha reportado la eficiencia de tratamiento de los primeros años de uso (Sandoval *et al.*, 2023; Figura 3a), los últimos análisis que incluyen las remociones promedio de las 18 nuevas celdas construidas y plantadas con más vegetación ornamental (Figuras 3a-f), en las que se han demostrado importantes remociones de parámetros (Figura 3g) como materia orgánica medida como sólidos suspendidos totales (SST) y demanda química de oxígeno (DQO), con remociones de 76 y 94%, respectivamente. Respecto a la eliminación de nitrógeno tanto en forma de nitratos como amonio fue superior al 80%, recalcando que estos parámetros son importantes para la vegetación presente, donde estas lo consumen como nutriente. Así mismo el fosfato que fue removido aproximado del 90% es porque también su uso como nutriente por las plantas es vital para su crecimiento.

Las remociones observadas son comparables con las remociones de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos reportados previamente (Cuadro 1), con remociones de demanda química (DQO) y biológica de oxígeno (DBO₅) en rangos del 70 al 92%, o de fósforo y nitrógeno en forma de fosfatos



(PO_4) y nitratos (NO_3) como total entre el 20 y 74%, lo cual refleja la capacidad de eliminación de contaminantes de la ecotecnología y la pertinencia de su replicabilidad para coadyuvar en los problemas de contaminación de agua y escasez hídrica al poder reutilizar el agua tratada para otros servicios como irrigación de cultivos, riego de campos deportivos o jardinería.

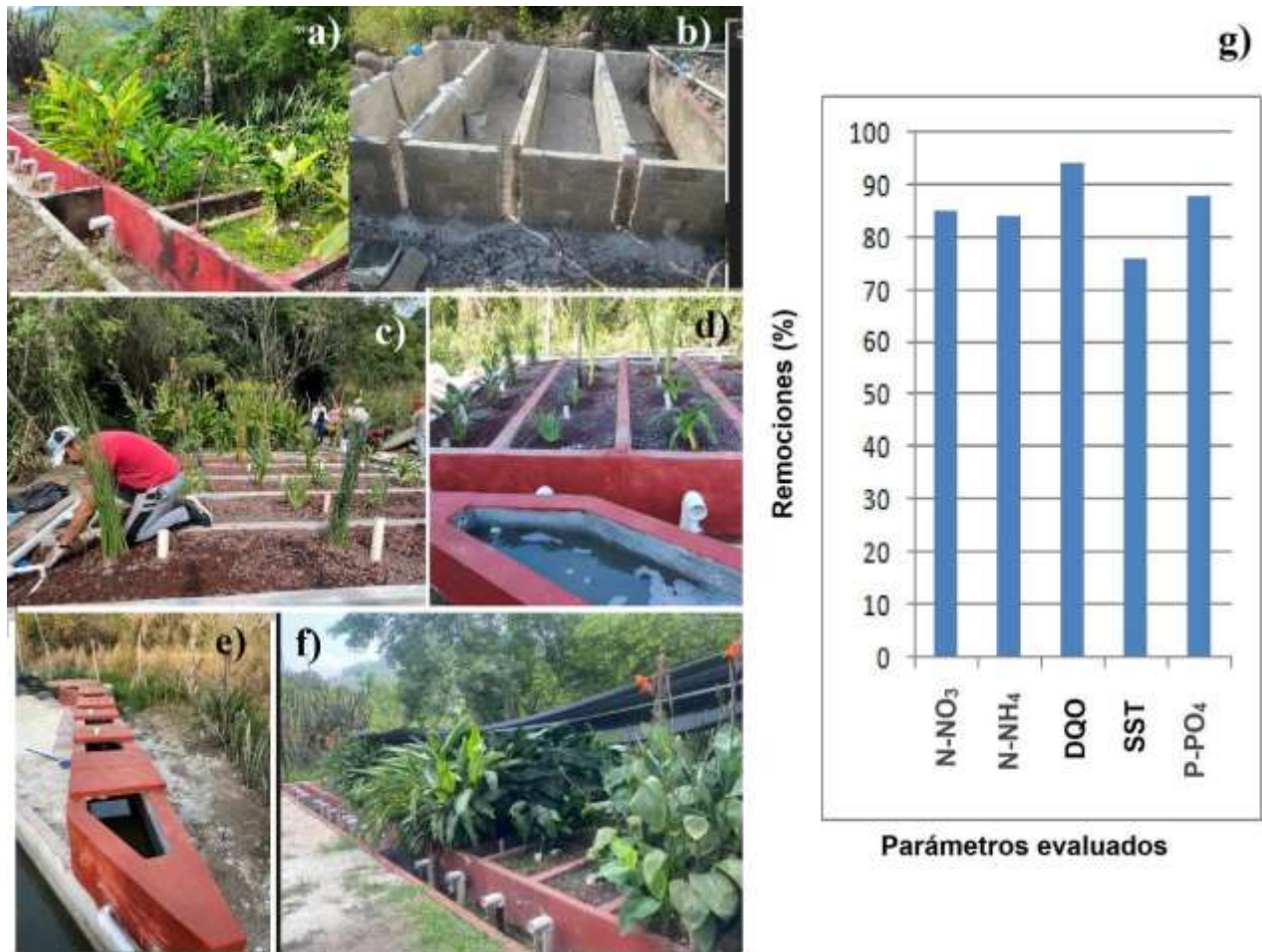


Figura 3. Humedal de tratamiento en Pastorías, Actopan, Ver. a) Humedal construido en 2012, b) Construcción de extensión en 2022, c) relleno y sembrado de plántulas, d) nuevas celdas listas, e) tren de pre-tratamiento, f) humedal nuevo con 18 celdas, g) remociones promedio en el humedal.

Aunque se reportan algunos HC instalados recientemente para tratar aguas residuales comunitarias, estos generalmente han sido operados por encargados de los proyectos de investigación, lo cual pone en riesgo su operatividad a largo plazo. Esto, debido a que el desarrollo de las comunidades exige mercados alternativos que permitan crear nuevas fuentes de ingresos a los pobladores de zonas rurales, por lo cual los HC también deben ser una fuente de ingreso además de un bien comunal.



Además del tratamiento de aguas residuales, que al ser tratadas en los HC pueden ser reutilizadas para irrigación de cultivos, jardinería y otros usos, existen otros beneficios a aprovechar como lo es el uso de fibras, flores y plantas para elaboración de artesanías y generar ingresos económicos de aquellos que se hagan cargo del cuidado y mantenimiento de la tecnología. Por ejemplo, en Pinoltepec, Veracruz, el sistema ha sido operado por un grupo de mujeres que producen las plantas ornamentales en el humedal y las venden por mayoreo (Hernández, 2016). Otro caso es en Pastorías, Actopan, donde el uso de fibra de *Typha* que producen en el humedal la utilizan para tejer sillas (Marín-Muñiz *et al.* 2021). En Michoacán, las fibras del tule la aprovechan para manufactura de artesanías que incluyen petates, cestos y canastos (González y Rivas, 2008); de la misma vegetación, en Gómez Farías Jalisco también elaboran sillones, cortineros y mesas (Vargas-Hernández, 2010).

Con los hallazgos referidos se devela cómo la producción de artesanías o la venta de plantas y arreglos florales a partir de la vegetación producida en el humedal, puede ser un factor importante para incentivar la adopción y apropiación de los HC, en donde sean los propios habitantes locales quienes los operen, por lo que incluir a la población en la construcción, operación y mantenimiento es una alternativa viable para lograr su uso y que tal conocimiento se transmita de generación en generación. Así mismo, la estrategia debe incluir el asesoramiento del aprovechamiento de las plantas. Además, teniendo grandes áreas de HC con amplia diversidad de plantas y diversos aprovechamientos artesanales, tales sitios podrían fungir como áreas de educación ambiental o turismo ecológico, donde se guíe en la funcionalidad de la tecnología y en talleres de uso de las plantas, para lograrlo es importante el trabajo colaborativo entre instituciones gubernamentales, habitantes comunitarios y la academia.

A pesar de la fiabilidad demostrada del uso de HC, aún es poco su uso para atender problemas reales de vida en México, esto derivado de la escasa información al respecto y el poco involucramiento entre academia, gobierno y comunidad. Por lo anterior, en el Cuadro 2 se describen los principales retos y oportunidades de uso de humedales para evitar problemas de descargas de aguas sin tratar y poder reutilizarla, donde un aspecto importante son los espacios de terreno, la sensibilización de la cultura del agua y el uso HC como ecotecnologías. Resalta también la falta de manuales en español para replicar la estrategia sustentable de limpieza de aguas residuales.



Cuadro 2. Oportunidades y retos del uso de humedales construidos.

Retos	Oportunidades o ventajas
Implementar HC en todas las comunidades rurales.	Hay mayor área para la construcción del sitio y los terrenos son de menor costo que en áreas urbanas.
Concientizar sobre la importancia de los HC para limpiar el agua.	Además del uso de educación formal, las redes sociales hoy en día son una opción vital para abordar estos temas, donde la señal de internet ya es más amplia en todos los territorios.
Trabajo multidisciplinario para abordar el uso y aprovechamiento de HC.	Dentro de la academia cada vez hay mayor cobertura en las diferentes disciplinas (economía, turismo, biología, química, ingeniería, ciencias sociales, arquitectura) en abordar investigación sobre humedales.
Que las poblaciones se interesen en el manejo de HC.	Al promover la reutilización del agua con la escasez común en el mundo del vital líquido, y asesorando en la producción y aprovechamiento de plantas para generar recursos económicos son estrategias que facilitarían tal apropiación.
Falta de manuales de construcción y operativos de HC.	Tanto en México como en el mundo cada vez mas hay mayor número de estudios sobre construcción y evaluación de humedales que se pueden descargar por internet, o bien solicitar a investigadores autores vía electrónica y con quienes se puede trabajar en conjunto.

Conclusiones

Los humedales construidos son una estrategia económica y socioambiental viable para limpiar las aguas residuales, se demostró su utilidad al remover importantes contaminantes a través de procesos que involucran fitorremediación con plantas ornamentales. Los HC tiene múltiples ventajas, ya que se puede tratar el agua residual, así como aprovechar la vegetación que en el sistema se produce para la creación de artesanías comerciales. La implementación de HC requiere de asesoramiento hacia los pobladores de donde estos sistemas se instalen para que adopten y se apropien de la alternativa. La replicabilidad de los HC enfrenta grandes retos que incluyen el trabajo colaborativo entre los sectores académicos, sociedad civil y autoridades, así como manuales de construcción, operación y mantenimiento. Se plantea que para próximos diseños de humedales es importante que se evalúe el uso



de alternativas de construcción de HC más amigables con el medio ambiente mediante materiales naturales como medio infiltrante antes de solo pensar en cemento, metales o plásticos.

Literatura Citada

Campaña, L. M. V., Molina, C. R. y F. C. A. Romero. 2015. Las potencialidades artesanales. Un análisis desde la perspectiva de desarrollo sostenible para su revalorización y empresariedad turística. *Retos Turísticos* 14(1):1-12.

CONAGUA. 2021. Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. México.

CONAGUA. 2022. Numeragua. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 92 p.

Gobierno de México. 2019. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. Gobierno de la República de México.

González, C. E. y A. Rivas. 2008. Humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales generadas en áreas rurales ribereñas al lago de Pátzcuaro. *Tlálloc* 43:8-13.

Hernández, M. E. 2016. Humedales ornamentales con participación comunitaria para el saneamiento de aguas municipales en México. *Rinderesu* 1:1-12.

Hernández, M. E. y G. Lagunes. 2018. Remoción de contaminantes y crecimiento de plantas ornamentales en humedales a escala piloto con diferente tipo de sustrato. In: *Book of Abstracts IV Panamerican Conference of Wetland Systems for Treatment and Improvement of Water Quality*. Lima, Peru.



- Luna-Pabello, V. y S. Aburto-Castañeda. 2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del bosque de San Juan de Aragón. *Rev Espec Cienc Quim-Biol* 17:32-5.
- Marín-Muñiz, J. L. 2017. Humedales construidos en México para el tratamiento de aguas residuales, producción de plantas ornamentales y reúso del agua. *Agroproductividad* 10:90-95.
- Marin-Muñiz, J. L., Zitácuaro, I. y E. Palma. 2021. Participación comunitaria para la implementación de humedales para limpiar el agua residual: caso de estudio en Pastorías, Actopan, Ver. En: SEDEMA (Ed). *Miradas Colectivas, Rutas y Aportes a la Sustentabilidad. Serie Dialogando lo Ambiental*. México. pp. 103-115.
- Marín-Muñiz, J. L., Sandoval, L. C., López-Méndez, M. C., Sandoval-Herazo, M., Meléndez-Armenta, R., González-Moreno, R. and S. Zamora. 2023. Treatment wetlands in Mexico for control of wastewater contaminants: A review of experiences during the last twenty-two years. *Processes* 11:359.
- Marín-Muñiz, J. L., García-González, M., Ruelas-Monjardín, L. and P. Moreno-Casasola. 2018. Influence of different porous media and ornamental vegetation on wastewater pollutant removal in vertical subsurface flow wetland microcosms. *Environ Eng Sci* 35:88-94.
- Merino-Solís, M., Villegas E., Anda J. and A. López-López. 2015. The effect of the hydraulic retention time on the performance of an ecological wastewater treatment system: An anaerobic filter with a constructed wetland. *Water* 7:1149-1163.
- Mitsch, W. J and J. Gosselink. 2015. *Wetlands*. John Wiley and Sons Inc. New York, USA. 747p.
- Orozco, C., Cruz, A., Rodríguez, M. y A. Pohlan. 2006. Humedal subsuperficial de flujo vertical como sistema de depuración terciaria en el proceso de beneficiado de café. *Higiene Sanidad Ambiental* 6:190-196.



- Ramírez-Carrillo, H. F., Luna-Pabello, V. M., Arredondo-Figueroa J. L. 2009. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Rev Mex Ing Quim* 8:93-99.
- Sandoval, L. C. 2021. Evaluación del uso de vegetación ornamental y sustratos en la eliminación de contaminantes de aguas residuales mediante humedales ingenieriles en zonas tropicales. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Veracruz, México. 276 p.
- Sandoval, L. C., Marín-Muñiz J. L., Alvarado-Lassman A., Zurita F., Marín-Peña O. and M. Sandoval-Herazo. 2023. Full-scale constructed wetlands planted with ornamental species and pet as a substitute for filter media for municipal wastewater treatment: an experience in a Mexican rural community. *Water* 15:2280.
- Secretaría de Finanzas y Planeación (SEFIPLAN). 2005. Estudios regionales para la planeación: Estado Regiones.
- Solís, R., López G., Margulis G., Germán R., Hernández J. R. y M. J. Romellón. 2016. Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. *Interciencia* 41(1):40-47.
- Vargas-Hernández, J. G. 2010. Capital social organizacional, base de la sustentabilidad organizacional para el desarrollo ambiental y económico: el caso de las micro y pequeñas empresas en la explotación del tule *Typha* spp. de la Laguna de Zapotlán. *Negotium* 6(16):49-81.
- Vymazal, J. 2014. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering* 73:724-751.
- Zitácuaro, I. 2022. Administración de humedales artificiales con perspectiva de género como estrategia sustentable para el saneamiento de aguas residuales municipales. Tesis de Doctorado. El Colegio de Veracruz, Xalapa. Veracruz, México. 143 p.



ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL SOBRE HUMEDALES URBANOS Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ESTUDIANTES

Yennis Ramos Pérez³⁷⁰, José Luis Marín Muñiz³⁷⁰ y María Elizabeth Hernández Alarcón³⁷¹

Resumen

El crecimiento urbano es una situación que han favorecido el cambio de uso de suelo y la pérdida de ecosistemas, un ejemplo de ello son los humedales, los cuales han perdido extensión e incrementado su vulnerabilidad en las ciudades, por la falta sensibilización de los habitantes sobre su importancia. Ante tal situación, este estudio aborda una propuesta que se fundamenta en la educación ambiental como estrategia base para fomentar en el sector estudiantil la importancia de la conservación y protección del medio ambiente, en especial de los humedales urbanos. Se estableció el diseño de diferentes talleres de educación ambiental no formal para desarrollar su implementación con estudiantes de nivel básico, aledaños al humedal urbano Lomas de Santa Fe, en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Previo a la intervención de los talleres, se propone que para evaluar el impacto de estos en la población seleccionada se debe aplicar inicialmente un diagnóstico de conocimientos sobre la temática en toda la muestra poblacional, así como de igual manera el mismo diagnóstico deba aplicarse después de la intervención. Las herramientas comparativas favorecerán la interpretación de los resultados con la combinación de métodos estadísticos que faciliten el análisis de las respuestas obtenidas. Se proponen abordar estrategias educativas sobre humedales y sus servicios ambientales donde se apliquen al menos tres diferentes talleres en tres grupos distintos y analizar la importancia en cambios de conocimiento de cada tipo de taller. Las tres actividades de intervención definidos en este estudio, a partir de revisión de otras intervenciones, incluyen un taller tipo sesión de clases convencional, un taller con actividades lúdicas y recreativas, y un taller donde se proporcione información y se trabaje en conjunto con los estudiantes para generar una obra teatral que aborde la problemática del humedal y las soluciones para favorecer su conservación y los servicios ambientales. Este tipo de propuestas de intervención resultan

³⁷⁰ El Colegio de Veracruz.

³⁷¹ Instituto de Ecología A.C.



importantes para cualquier temática ambiental o problema social, sin embargo, en este caso de estudio se aborda desde una problemática local de humedales urbanos que resulta importante de abordar. Por lo anterior, se sugiere su aplicabilidad y evaluación.

Palabras clave: ecosistemas, educación ambiental no formal, herramientas participativas, percepciones socio-ambientales

Introducción

El ser humano en su periplo evolutivo ha marcado de forma inolvidable su huella en el medio ambiente. El impacto de sus procesos en aras de lograr un desarrollo social y económico ha transformado a la naturaleza de forma tal que ha dañado e invadido los ecosistemas, siendo la respuesta del planeta una serie de desequilibrios medioambientales que muestran el desbalance y desgaste resultante de la sobreexplotación (Sánchez, 2002). A medida que las sociedades crecen horizontalmente, como parte del proceso evolutivo y de cambios necesarios que van experimentando, se ha minimizado la importancia de considerar acciones sustentables que permitan el desarrollo de las sociedades y conserven el equilibrio entre el ser humano y la naturaleza que lo rodea y de la cual es parte importante, en conjunto con los factores económicos, sociales y ambientales, mediante la cual no se encuentren comprometidos los recursos de los cuales gozan y pueden ser disfrutados por las generaciones futuras (ONU, 1987).

Uno de los fenómenos que provocan estos cambios es la migración de pobladores rurales a zonas urbanas, proceso que no solo se considera de carácter histórico y progresivo por la necesidad de búsqueda de mejoras económicas que surge en los seres humanos, sino que es un eslabón de toda una cadena de transformaciones sociales y ambientales, lo que provoca efectos irreversibles en muchos entornos (Astorkiza, 2012). El incremento del área urbana debe considerar el potencial existente de recursos naturales, necesitando un desarrollo urbano sustentado en una planificación cuidadosa y adecuada para disminuir, evitar y normar impactos negativos futuros, tanto para el propio ser humano como para los ecosistemas, como es el caso de los humedales, que por estas mismas causas quedan expuestos a cambios drásticos e irreversibles.



Los humedales son ecosistemas de transición entre los ambientes acuáticos y terrestres caracterizados por tener suelo inundado total o parcialmente la mayor parte del tiempo y que mantienen comunidades de vegetación adaptada a la inundación o saturación de agua en sus raíces (Lewis 2000; Mitsch y Gosselink 2007). Estos sitios brindan múltiples servicios ambientales, que son aquellos bienes o servicios que parten de los procesos naturales surgidos del entorno de un ecosistema, y que satisfacen de manera directa o indirecta muchas de las necesidades del ser humano (Mistch y Gosselin, 2000). Algunos ejemplos de tales servicios ambientales son los siguientes: sus extensiones conforman el hábitat de múltiples especies de flora y fauna, mitigan el calentamiento global mediante la captura de dióxido de carbono a través de sus plantas y suelo, actúan como protección a las zonas costeras contra tormentas y huracanes, son lugares con valor cultural e importancia turística que brindan belleza al entorno, son repositorios de las aguas subterráneas, son parte de las actividades económicas de algunas zonas aledañas, protegen contra las inundaciones y mejoran la calidad del agua mediante el proceso que realizan sus plantas en conjunto con los microorganismos alojados en el sustrato y las raíces de las mismas (Manson y Moreno-Casasola, 2007); por lo que su conservación se convierte en tema medular cuando se trata de proteger el recurso agua y cuidar el medio ambiente. Por lo anterior, los humedales son considerados los riñones del planeta (Marín-Muñiz *et al.*, 2014).

Los humedales que están dentro y alrededor de las ciudades y sus suburbios se definen como humedales urbanos y periurbanos (ramsar.org, 2009), considerados como ecosistemas invaluable para mitigar problemas urbanos frecuentes como la contaminación del aire, la carencia de agua, las inundaciones y la contaminación por aguas negras. Otro de sus beneficios es la amortiguación de la escorrentía después de las lluvias, disminuyendo la velocidad de drenado del agua, la retención de los sedimentos, además de reducir las temperaturas en las ciudades, siendo muy relevante debido al aumento de la temperatura ambiental por el calentamiento global, así como la belleza estética de un humedal con todos sus componentes naturales, constituyendo un escenario ideal para los habitantes que disfrutan y requieren de estos sitios donde puedan relajarse y disminuir estados de estrés (López, 2012). México posee un total de 6331 humedales naturales, de los cuales 144 son reconocidos por la convención Ramsar; evento que fue celebrado en la ciudad de Irán en el año 1971 para acordar estrategias nacionales, de alcance internacional, donde se evidenció la cooperación mundial para la protección de los humedales del planeta (Marín-Muñiz, 2018). La situación desfavorable en la que se encuentran estos sitios en la actualidad es responsabilidad en gran medida de la relación hombre-



naturaleza y la carencia de conciencia, sensibilidad y conocimiento de los seres humanos sobre la importancia de estos ecosistemas, además de su uso desmedido.

La educación no solamente se considera un proceso de comunicación, sino un intercambio que propicia el crecimiento de lazos afectivos entre seres humanos desde sus diferentes características, dígase formal o informal, pero la educación no es un acto exclusivo de personas con preparación profesional, pues cada elemento de la sociedad incluyendo a la familia puede constituir un componente educativo que intencional o no, puede transmitir partículas de saberes y de igual manera absorberlos en el intercambio y procesos de comunicación.

El aprendizaje no se puede reducir a un problema exclusivamente pedagógico o técnico; tiene raíces profundas en el significado que el estudiante otorga a la educación, la vida y al entorno (Degua, 2005), sería necesario trasladar estas ideas a los procesos educativos no formales, al trabajo con alumnos de todas las edades y dentro de sus comunidades (Freire, 1997).

Las estrategias educativas permiten la construcción del conocimiento mediante la planificación de acciones basadas en fundamentos pedagógicos según la población con la cual queremos intercambiar a través de “la proyección planificada de un sistema de acciones pedagógicas y comunicativas para una población determinada (Rodríguez *et al.*, 2013), que permite la reconstrucción de aprendizajes y comportamientos de estos.

Para atender lo anterior, la educación ambiental (EA) se considera un camino por el cual guiar a los seres humanos y en especial a la niñez, para construir nuevas percepciones socioambientales sobre su entorno y remover los rasgos de sensibilidad sobre tales ecosistemas. Mediante la EA se podría ayudar a nuestra especie a comprender la gravedad de la situación actual del medio ambiente desde el ámbito local hasta lo global, sobre la base de las percepciones de la población involucrada (Dieleman y Juárez, 2008). El concepto de EA es el resultado de enlaces y acciones que surgen fuera del sistema educativo oficial y se considera un componente innovador que desarrolla y exige cambios en la formación de quien la imparte, en los diseños curriculares y en los métodos didácticos. Es decir, se considera una herramienta de suma importancia que ayuda al hombre a entender, conocer y apreciar su entorno mediante actividades que sean capaces de ofrecerle otra visión de la repercusión que tiene a corto, mediano y largo plazo el cuidado del medio ambiente, desde el ámbito local hasta el global. Se entiende como un proceso continuo y permanente, que constituye una dimensión de la educación integral de todos los ciudadanos, dirigida hacia un proceso de adquisición de conocimientos, desarrollo de hábitos ambientalmente positivos, actitudes y formación de valores en favor de la naturaleza, que se



forjen en la armonía de las relaciones entre los hombres, la sensibilidad de estos con el resto de la sociedad y los ecosistemas que los rodean, para con ello propiciar la reorientación de los procesos económicos, sociales y culturales hacia el desarrollo sostenible (Dieleman y Juárez-Nájera, 2008). Se reconoce que la educación ambiental no es neutra, sino que es ideológica, ya que está basada en valores para la transformación social y los valores en los que se fundamenta son: el concepto de interdependencia, la relación entre lo global y lo local, la ética como referente educativo, la integración entre conceptos, actitudes y valores, y la educación en la acción (Novo, 2009).

Dentro de esta visión y sobre la base de la implementación sistemática y enfocada de la educación ambiental no formal en estudiantes a través de metodologías participativas, la población estudiantil es considerada como un espacio de grandes oportunidades de construcción de visiones del mundo, en donde los sistemas educativos pueden incidir de mejor manera para rescatar una amplia diversidad de pensamientos e ideas. Sin embargo, los niños, como actores con características especiales y favorecedoras para fomentar en ellos una conciencia ecológica y que a su vez esta pueda tener efecto expansivo, son también un sector de la población a la cual no se puede abordar de igual forma que con los adultos (Novo, 2009).

En el modelo constructivista social de Vygotsky (citado por Santrock, 2007) se destaca que los estudiantes construyen los conocimientos a través de las interacciones sociales con los demás. El contenido de estos conocimientos se ve afectado por la cultura en que vive el estudiante, la cual incluye el lenguaje, las creencias y las habilidades. Sin embargo, según la Teoría del Desarrollo Cognitivo (De Piaget, 2007), esta se entiende como el conjunto de transformaciones que se producen en las características y capacidades del pensamiento en el transcurso de la vida, especialmente durante el proceso de desarrollo y por el cual aumentan los conocimientos y habilidades para percibir, pensar, comprender y manejarse en la realidad. El psicólogo suizo define que este desarrollo es resultado de la maduración del organismo de conjunto con la influencia del entorno y sobre la base de conceptos teórica y prácticamente sustentados, lo divide en cuatro etapas fundamentales y enmarcadas por rangos de edades donde en cada una de forma particular, el niño va desarrollando diferentes habilidades y competencias de forma gradual.

En este sentido la postura epistemológica de esta investigación, humanista y constructivista se enfoca en desarrollar la auto-construcción de percepciones socioambientales en los estudiantes mediante el proceso de enseñanza-aprendizaje para lograr la formulación de criterios propios, enfoques críticos y creativos sobre la realidad, la cultura, su entorno y de esta forma contribuir al desarrollo de su actividad



mental, social y sus valores (Rosales, 2007). Basado en lo anterior, es que se genera esta propuesta de estudio, cuyo objetivo, a nivel local, es fomentar en la población estudiantil aledaña al humedal Lomas de Santa Fe, el sentido de pertenencia, cuidado y conservación de estos ecosistemas, en especial el que se encuentra cerca de su institución educativa, dado el grado de deterioro, invasión y pérdida de condiciones naturales de este sitio pero a nivel global también se contempla como objetivo, a través de las herramientas que nos provee la educación ambiental, incrementar el conocimiento sobre los ecosistemas de humedales, fomentar la importancia de sus servicios ecosistémicos y dar a conocer su situación de peligro actual a causa de la acción desmedida del hombre , de forma tal que se pueda apoyar su recuperación y conservación en favor de preservar la vida en el planeta Tierra.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

La ciudad de Xalapa, capital del estado de Veracruz, cuenta con algunos humedales urbanos que han involucionado en sus condiciones naturales con el paso del tiempo y producto del crecimiento poblacional (Hernández, 2022), lo cual ha provocado que estos sitios se hayan convertido en parte de las zonas urbanizadas y desfavorablemente transformadas, pero también contempladas dentro del listado alarmante de los humedales urbanos que requieren de restauración y conservación. En varios casos el desconocimiento de los servicios ambientales y beneficios que ofrecen estos lugares ha sido un factor determinante (Junca, 2022), por lo cual muchas de las percepciones resultantes es que son lugares pantanosos, donde se prolifera la propagación de mosquito y otros vectores, vertederos de basura y lugares propensos a la delincuencia (Parada *et al.*, 2023).

El humedal urbano Lomas de Santa Fe, que se encuentra entre la colonia 6 de junio y el fraccionamiento Homex Santa Fe en el municipio de Xalapa-Enríquez, Veracruz, está incluido dentro de los sitios afectados biológica y geográficamente (Figura 1). De forma puntual, ha perdido extensión y condiciones naturales a causa de la acción desmedida del humano. Su entorno y condición paisajística actual ha sido transformado en gran medida por el vertimiento de escombros, el pastoreo invasivo, remplazo de sus áreas para cultivos y construcción de viviendas ilegales, vertimiento de aguas residuales y ocupación de sus áreas para la colocación de puestos de ventas. A pesar de que la comunidad ha sido involucrada anteriormente en proyectos de investigación mediante actividades



participativas que involucran directamente a los pobladores (Junca, 2022), las condiciones de estos lugares requieren de una fuerza y sistematicidad en las acciones de restauración para lograr rescatar la originalidad endémica del lugar y con esto los beneficios ambientales que son capaces de ofrecer.



Figura 1. Humedal Lomas de Santa Fe.

Sobre la base de la teoría de las etapas del desarrollo cognitivo de Piaget, se propone desarrollar un análisis con tres grupos de estudiantes con iguales características, específicamente, con alumnos de secundaria, pues aunque los estadios por los que atraviesa el niño no son independientes uno de otro, en la etapa de operaciones formales (De Piaget, 2007) el cambio más importante es que el pensamiento hace la transición de lo real a lo posible (Fravell, 1985) y durante esta etapa desarrollan cuatro características fundamentales como lo es la lógica proposicional, el razonamiento científico, el razonamiento combinatorio y el razonamiento sobre probabilidades y proporciones. En este sentido, luego de aplicar diferentes diseños de talleres de educación ambiental no formal se podría evaluar el impacto en la construcción de percepciones socioambientales en estos grupos de estudiantes, ya que se evaluarían la implementación de diferentes metodologías participativas, pero con grupos de similares edades y características.



Como paso inicial y parte de la ética de la investigación se requiere una presentación formal ante los docentes que estarán involucrados de forma parcial y los estudiantes que directamente serán parte de esta, donde se les explicarán todas las actividades a realizar y se les mostrará el cronograma propuesto para llevar a cabo cada uno de los talleres. Para el diseño de los talleres primeramente se tuvieron en cuenta los pasos y elementos fundamentales descritos para lograr la correcta elaboración de este tipo de metodologías participativas (Candelo *et al.*, 2003) en el libro *"Hacer talleres" Una guía práctica para capacitadores*, sin pasar por alto la caracterización de la población con la que se van a desarrollar estas actividades. De igual forma se analizaron y seleccionaron un grupo de herramientas descritas por (Geilfus, 2002) en su libro *"80 herramientas para el desarrollo participativo"* donde estas se agrupan según la funcionalidad u objetivos principales que se pretende lograr de acuerdo con las características de diseño de cada una. Sobre esta base teórica se procede a diseñar los diferentes talleres para aplicarse indistintamente en cada grupo conformado. Un aspecto importante es que los participantes deben ser aquellos que estén de acuerdo de forma voluntaria en formar parte del proceso y estos deben distribuirse en tres grupos de estudiantes con igual número de participantes en cada uno y del mismo nivel educacional, pero para cada uno se diseñarán estrategias didácticas distintas con el fin de identificar la mejor forma de construir nuevas percepciones y conocimientos socioambientales sobre humedales naturales y sus servicios ambientales.

Diagnóstico participativo previo a la implementación de los talleres de educación ambiental no formal

Como parte de la sistematización metodológica y primera etapa de la investigación se propone que en toda intervención debe realizarse un diagnóstico a los grupos de intervención. Para el caso particular de la aplicación de esta propuesta, donde se consideran tres grupos de intervención, se recomienda aplicar un cuestionario de conocimientos sobre el medio ambiente, humedales urbanos y sus servicios ambientales, con iguales características a los tres grupos, para también de manera particular, explorar si tienen conocimiento sobre el humedal que se encuentra cerca de su instalación educativa.

Se establece que el diagnóstico parta de una charla de presentación sobre particularidades del proyecto, cómo estarán involucrados y algunos aspectos generales sobre los actores claves de esta investigación. Seguido se les explicará la dinámica de las actividades en detalle y luego de una breve introducción deberá aplicarse el cuestionario que tendrá como actividad final la elaboración de un dibujo donde deben expresar como representan al humedal, haciéndoles hincapié en el sitio cercano a su escuela, para quienes no lo distinguen aún con tal nombre. El cuestionario por aplicar se propone sea analizado



como examen, calificando estos considerandos una evaluación de 1 a 10. Los dibujos realizados pueden ser agrupados de acuerdo con características de rasgos similares y luego estos deben ser analizados de acuerdo con Santos *et al.* (2017), quienes, para interpretar la percepción a través del dibujo, proponen cuatro categorías de percepción, que incluyen percepción romántica, pesimista, de dominación y sustentable. Se utilizarán tales categorías y se contabilizará el porcentaje de estas para que posteriormente se comparen estadísticamente.

Implementación de diferentes talleres de educación ambiental no formal

Tomando en cuenta los resultados del diagnóstico inicial y para dar continuidad a la segunda etapa metodológica se implantarán tres estrategias de talleres de intervención de educación ambiental sobre humedales urbanos y sus servicios ambientales, las cuales estarán diseñadas para que permitan la integración de los estudiantes con los investigadores y se refuercen los lazos entre ellos mismos y su rol protagónico dentro de la sociedad. Para un primer grupo se concentrarán las actividades en forma de charlas interactivas utilizando como herramienta básica el diálogo semi-estructurado (Gielfus, 2002), en las cuales se mostrarán de forma intercalada, imágenes y videos referentes a los temas de referencia antes mencionados. Las sesiones serán en las propias aulas con una duración máxima de 45 minutos.

Para el segundo grupo, y como parte aún del segundo objetivo, se desarrollarán actividades lúdicas como juegos, construcción de maquetas, etc. con énfasis en detonar habilidades de creación que combinen el conocimiento con la imaginación y donde ellos puedan identificar los elementos del medio ambiente de forma general, local y particular sobre los humedales urbanos. Las herramientas participativas por utilizar ayudarán a fomentar no solo la iniciativa, la participación voluntaria sino el trabajo en equipo tanto fuera como dentro de las aulas.

Las actividades del tercer y último grupo serán guiadas inicialmente por charlas introductorias sobre las problemáticas medioambientales y en especial sobre la situación actual de los humedales urbanos. La actividad principal y para el cierre de las sesiones será la creación y presentación de una obra de teatro que represente la importancia del humedal y sus servicios ambientales. Para lo cual se contará con la ayuda de un experto en teatro del oprimido y experiencia con niños (as) que pueda guiar y facilitar la preparación de los personajes. En la obra de teatro los propios estudiantes interpretarán los personajes que representen los elementos de un humedal en condiciones deprimentes y así ellos podrán vivir las problemáticas de estos entornos y ser parte de la propuesta de soluciones.



Evaluación de los talleres de educación ambiental no formal luego de su implementación

Para llevar a cabo la evaluación de la implementación de los distintos talleres se replicarán las herramientas usadas en los tres grupos de estudiantes aplicadas en el primer objetivo (cuestionario y dibujo), Los cuestionarios aplicados posteriores a la intervención también serán evaluados como examen con valores de calificación de 1 a 10 y serán comparados estadísticamente con las calificaciones obtenidas durante el diagnóstico.

Resultados y Discusión

Mediante estas herramientas, las cuales serán posteriormente analizadas, no solo podremos obtener información sobre su conocimiento acerca del medio ambiente y su entorno sino también nos aportará información sobre ellos y sus rasgos que nos sean importantes para los momentos de intercambio próximos (Geilfus, 2002). Todo esto será desarrollado de acuerdo con la sistematización metodológica diseñada para la primera etapa (Cuadro 1).

Cuadro 1. Diagnóstico participativo previo a la implementación de los talleres de educación ambiental no formal.

Grupos	Objetivo por etapa	A partir de	Población	Técnicas		Frecuencia	Área
				Herramientas - Encuesta			
1°	Explorar el conocimiento sobre el medio ambiente, los humedales urbanos y sus ecosistémicos	Conocimiento previo a la implementación de los talleres de educación ambiental no formal en estudiantes de nivel básico	Estudiantes	Cuestionario	Dibujo	Una sesión, posterior a la presentación protocolar	En sus aulas
2°				(análisis de chi cuadrada (χ^2))			
3°							

Las herramientas utilizadas en los distintos talleres diseñados estarán enfocadas a la identificación gradual de los diversos componentes de los humedales urbanos y sus servicios ambientales. Se



destacará en cada una de ellas la definición de los humedales y sus componentes, la importancia de cuidar el ecosistema, la disminución de los ecosistemas de humedales, las causas y efectos de gradual desaparición, la importancia de cada uno de los servicios ecosistémicos que estos sitios brindan para nuestro bienestar y las posibles acciones que desde nuestras posiciones podemos ejecutar en favor de cuidar nuestros entornos de forma individual pero también para reforzar el trabajo en equipo. Todo esto será desarrollado de acuerdo con la sistematización metodológica correspondiente a la segunda etapa (Cuadro 2).

Cuadro 2. Implementación de los talleres de educación ambiental no formal.

Grupos	Objetivo por etapa	A partir de	Población	Técnicas	Frecuencia	Área
				Herramientas		
1°	Diseñar e implementar talleres de educación ambiental no formal sobre humedales urbanos y sus servicios ecosistémicos en los estudiantes de nivel básico para	Interés, capacidad de análisis y participación	Estudiantes	Audiovisuales y guía de entrevista: Videos Diálogos semi-estructurado	4 sesiones (45 min)	En aula
				Técnicas grupales: Juegos lúdicos (Lotería del agua y memogramas) Maquetas y dibujos colectivos		
2°	fomentar la construcción de percepciones socioambientales.	Iniciativa, motivación para la creación, trabajo en colectivo y participación		Guía de entrevista y técnicas grupales: Diálogo semi-estructurado Teatro del oprimido	4 sesiones (45 min)	Fuera de aula

En este sentido y como parte de la tercera etapa de la investigación el poder evaluar la construcción de nuevas percepciones socioambientales en los estudiantes sobre los humedales urbanos nos dará la posibilidad de determinar cómo los talleres que fueron aplicados con diferentes estrategias didácticas



en los tres grupos, pero con iguales características físicas y sociales, tuvieron mayor o menor impactos en cada caso, no con la intención de determinar que herramienta es superior a la otra, pues esto no solo depende de un solo elemento definitorio, sino cuales fueron los resultados más representativos en las percepciones socioambientales de los estudiantes en cada grupo y en la identificación de la importancia sobre los humedales urbanos, y de forma especial el cercano a su institución escolar. Todo esto será desarrollado de acuerdo con la sistematización metodológica diseñada para la tercera etapa (Cuadro 3).

Cuadro 3. Evaluación de los talleres de educación ambiental no formal luego de su implementación.

Grupos	Objetivo por etapa	A partir de	Población	Técnicas		Frecuencia	Área
				Herramientas			
1°	Evaluar el impacto de la			Encuesta			
2°	implementación de diferentes diseños de talleres de educación ambiental no formal sobre humedales urbanos y sus servicios	Resultados de la implementación de los talleres, incorporación de nuevos	Estudiantes	Cuestionario	Dibujo	Una sesión, luego de la implementación de los talleres	En aula
3°	ecosistémicos en la construcción de nuevas percepciones socioambientales en estudiantes de nivel básico.	vocabulario, iniciativas y criterios		(análisis de chi cuadrada (χ^2))	(Santos <i>et al.</i> 2017),		

Mediante el diseño y la evaluación de talleres de educación ambiental no formal y aplicando diferentes estrategias didácticas en tres grupos de estudiantes, se pretenden explorar los diferentes niveles de absorción del conocimiento y las diferencias en cada caso, observar la vinculación e interés en los temas a compartir sobre el medio ambiente y la importancia de los humedales urbanos para la continuidad de la vida en el planeta, además de la participación espontánea y voluntaria, la evolución del conocimiento en cada estudiante y a través de tal intervención fomentar un impacto positivo en sus



proyecciones con sus semejantes, sus valores, el trabajo en colectivo, el cuidado por la naturaleza, estilos de vida ambientalmente proactivo y una huella educativa para las futuras generaciones que ayude a la conservación de estos ecosistemas, como elementos indispensables para el desarrollo regional sustentable.

Conclusiones

1. La educación ambiental potencia la construcción de percepciones socioambientales, ya que favorece además el crecimiento de pensamiento crítico en los estudiantes de nivel básico, el diseño de estrategias de este tipo para lograr la sensibilización sobre humedales urbanos resulta pertinentes sin son planificados como lo estructura este trabajo.
2. Las estrategias participativas diseñadas según los grupos de personas involucradas y sus características, permiten desarrollar experiencias vivenciales en los participantes pues potencia la propagación del conocimiento, por lo que la sistematización metodológica para lograrlo resulta vital, de acuerdo con sus diferentes objetivos y etapas.
3. Los diferentes talleres de educación ambiental no formal con estudiantes de nivel básico, servirán para analizar cuál tipo de taller apoya de mejor manera los cambios de percepción y conocimiento sobre humedales urbanos y sus servicios ambientales y de esta forma sean promovidos para otras escuelas y temas medio ambientales.

Literatura Citada

- Astorkiza, I. y A. M. Ferrero R. 2012. Expansión urbana y sostenibilidad: Una dicotomía difícil de conciliar. *Revista española de Control Externo* 14(40):47-78.
- Candelo, C., G. Ortiz y B. Unger. 2003. *Hacer talleres. Una guía práctica para capacitadores*. Cali Colombia. WWF Colombia.



Convención sobre humedales Ramsar (ramsar.org). 2009. Humedales: esenciales para un futuro urbano sostenible. Nota informativa 10. urbanwetlands_sp.pdf.

Degua, C. 2005. El análisis del discurso en el aula: un estudio en el nivel medio superior desde la perspectiva sociocultural In: Campos M. A. (coord.). Construcción de conocimiento en el proceso educativo, México, UNAM-CESU/Plaza y Valdés.

De Piaget, T. D. D. C. 2007. Desarrollo Cognitivo: Las Teorías de Piaget y de Vygotsky. 29 p.

Dieleman, H. y M. Juárez. 2008. ¿Cómo se puede diseñar educación para la sustentabilidad? Revista Internacional de Contaminación Ambiental 24(3): 131-147.

Freire, P. 1997. Paz e Terra. Pedagogía de la autonomía. México. Siglo XXI.

Flavell, J. H. 1985. Desarrollo meta-cognitivo. Psychologie développementale: problèmes et réalités. 146 p, 29 p.

Geilfus, F. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo. IICA.

Hernández, M. E. 2022. Diagnóstico socio-hidrológico de tres humedales urbanos de Xalapa, Ver., México. Ambiens Techné et Scientia México 2(10): 189-205.

Junca, D. A., M. E. Hernández y J. L. Marín. 2022. Percepciones sobre la importancia de los servicios ambientales del humedal urbano molinos de San Roque de Xalapa, Veracruz, México. Journal of basic sciences 8(23):154-161.

Junca, D. A. 2022. Diagnóstico y gestión socio-ambiental de tres humedales urbanos para su conservación y obtención de Xalapa, Veracruz, México. Tesis de maestría. Colegio de Veracruz. Xalapa, México, 2022. 34 p.



- Lewis, W. 2000 Wetlands: Characteristics and boundaries (2a ed). National Academy of Sciences. U.S.A.
- López, O. J. 2012. Proyecto de integración de Parque urbano en el perímetro de la laguna Vergara-Tarimoya en la ciudad de Veracruz. Tesis de Arquitectura. Universidad Veracruzana, Xalapa, México.
- Manson, R. y P. Moreno-Casasola. 2007. Los servicios ambientales que proporciona la zona costera. p. 319-348. In: Moreno Casasola, P. Pérez Barbosa E. y A.C. Travieso Bello (eds.). Estrategias para el manejo costera integral: el enfoque municipal. INECOL-Gobierno del Estado de Veracruz.
- Marín-Muñiz, J. L., M.E. Hernández y P. Moreno-Casasola. 2014. Comparing carbon sequestration in coastal freshwater wetlands with different geomorphic features and plant communities in Veracruz, Mexico. *Plant and Soil* 378 (1):189-203.
- Marín-Muñiz, J. L. 2018 Riñones del planeta y hábitat de múltiples especies. *Colegio de Veracruz*.
- Mitsch, W.J. y J.G. Gosselink. 2000. Wetlands. John Wiley & Sons Inc. Nueva York. 920. p.
- Mitsch, W. J. y J. Gosselink. 2007. Wetlands. (4a Ed.). John Wiley and Sons. NY.
- Novo Villaverde, M. 2009. La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible. *Revista de educación*.
- ONU, 1987. Nuestro futuro común. Madrid. Alianza.
- Parada, M., B. Montes, J. Jiménez, J. Cervantes, P. Parada y V. Torres. 2023. El humedal como depurador de agua y percepciones sociales: Caso parque Molino de San Roque, Xalapa. *Universidad Ciencia* 11(30):163-176.



Sánchez, L. E. 2002. Impactos sobre los ecosistemas. Notas de clases dictadas en el II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental. Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo, Uruguay. p. 322-331.

Santos, F. A. S., N. O. S. Eckert, R. S. Oliveira, H. G. S. Neto, L. N. Teixeira y A. Sales C. 2017. Percepção ambiental e análise de desenhos: prática e curso de extensão universitária. *Revbea* 12(2): 156-177.

Santrock, J. 2007. Psicología de la educación. México. McGrawHill.

Rodríguez, A., G. Sanabria, M. Contreras y B. Perdomo. 2013. Estrategia educativa sobre promoción en salud sexual y reproductiva para adolescentes y jóvenes universitarios. *Revista Cubana de Salud Pública* 39(1):161-174.

Rosales, J. 2007. Estrategias didácticas. Universidad Nacional Autónoma de México.



EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA DE EXCRETAS DE VACA Y DE POLLO

Heidi Arano Cruz^{372*}, C.A. Sosa Villalobos³⁷², G. Domínguez Sánchez³⁷², Iván Valencia Salazar³⁷³ y Leonor Onofre Chacón³⁷²

Resumen

México se caracteriza por ser un país ganadero, siendo Veracruz uno de los estados con mayor producción de pollo y ganado bovino. Un grave problema identificado es el inadecuado manejo de las excretas animales que por su naturaleza impactan al ambiente y la salud humana. Existen tecnologías prometedoras como la digestión anaerobia que pueden convertir el estiércol de los animales en productos de valor agregado como biogás y digestato. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la actividad metanogénica específica (AME) del excremento de pollo y de vaca a partir de acetato de sodio como fuente de carbono, para determinar la capacidad de producción de metano. Los ensayos se incubaron por triplicado a una temperatura de 31°C durante 14 días. Se determinaron sólidos totales, sólidos volátiles totales y el pH. Además de monitorear la producción de metano mediante un sistema por desplazamiento de agua con trampa de CO₂, a través de una solución de hidróxido de sodio concentración de 1 N. Los resultados muestran que ambos inóculos presentan un pH básico que favorece la digestión anaerobia, una relación SVT/ST elevada indicando el alto contenido de materia orgánica biodegradable. Las remociones de ST y SVT en ambos inóculos se encontraron por encima del 27%, obteniendo mejores resultados en los ensayos con estiércol de vaca con remociones superiores al 42%. La prueba de la AME alcanzó un valor de 0.019 g DQO CH₄/ g SV y de 0.022 g DQO CH₄/g SV en los ensayos con excremento de pollo y de vaca respectivamente. Los inóculos bajo estudio son capaces de producir metano y degradar gran parte de su carga orgánica, sin embargo, donde se obtuvieron mejores resultados es empleando el estiércol de vaca, lo cual los convierte en una interesante opción biotecnológica para el tratamiento de excretas bovinas y producción de metano.

Palabras clave: AME, digestión anaerobia, biogás, residuos pecuarios

³⁷² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz. *m21020031@veracruz.tecnm.mx,

³⁷³ Universidad Politécnica de Valencia. España.



Introducción

La digestión anaerobia es un proceso que consiste en la descomposición de la materia orgánica por un consorcio de microorganismos en ausencia de oxígeno, dando lugar a la formación de digestato que puede usarse como biofertilizante y biogás que consiste principalmente en metano y dióxido de carbono (Bajpai, 2017).

En un proceso anaerobio es necesario conocer la actividad de una determinada población de microorganismos presentes en el reactor y en concreto la de aquellos que influyen en la velocidad del proceso. La etapa metanogénica suele ser la más lenta y por lo tanto la que controla la velocidad de todo el proceso, por lo cual es necesario disponer de un inóculo con elevada actividad metanogénica específica, que permita un arranque más rápido y fiable (Solera *et al.*, 2014).

La AME determina la capacidad de producción de metano del inóculo para un sustrato específico al nivel de concentración donde la disponibilidad del sustrato no es un factor limitante (Aggarangsi *et al.*, 2023). Un rango establecido de la AME de lodos se encuentran entre 0.02-0.20 g DQO CH₄/g SV* d (Solera *et al.*, 2019).

Normalmente el inóculo se caracteriza en términos de STV/ST ya que es una medida indirecta del contenido de biomasa activa (Cárdenas *et al.*, 2016) y debe ser mayor a 0.5 para garantizar la degradación de la materia orgánica (Da Cunda y Rodrigo, 2020). La concentración seleccionada de inóculo debe corresponder a un volumen no muy elevado para poder garantizar el eficiente contacto entre la biomasa y el sustrato, por lo que se recomienda una concentración entre 2-5 g STV/L con agitación permanente o intermitente y entre 1 a 1.5 g STV/L cuando el ensayo se realiza sin agitación (Arévalo y Chaparro, 2016).

México se caracteriza por ser un país ganadero, es el onceavo productor a nivel mundial de productos pecuarios, donde el ganado bovino es el de mayor consumo en el país. Ocupa el sexto lugar como productor mundial de carne de res siendo Veracruz el estado líder. Así mismo este estado es el mayor productor de carne de pollo, la cual es la que más se produce en el país (SADER, 2021).

Estos sistemas intensivos de producción de aves generan grandes volúmenes de estiércol que crean enormes problemas de contaminación; además del desarrollo de microorganismos potencialmente patógenos para la salud humana y animal (Casas y Guerra, 2020). De acuerdo con la NOM-161-SEMARNAT-2011 los residuos avícolas como la gallinaza o pollinaza son considerados como residuos de manejo especial. Estos residuos generan un impacto ambiental negativo debido a que cuando el



estiércol no se estabiliza de forma correcta se generan emisiones de gases tales como el amoníaco, metano, óxido nitroso, ácidos grasos volátiles, ésteres y malos olores generados por su descomposición. Además de afectar la calidad del suelo, agua y aire como resultado del contenido de los lixiviados del estiércol, provoca la acidificación, eutrofización y agotamiento del ozono respectivamente (Rosas y Aguilar, 2022).

En cuanto al estiércol bovino también causa daños al ambiente debido a que se producen más desechos de los que pueden aplicar a los campos y una vez que alcanzan el punto de saturación en el suelo los desechos fluyen en corriente, alcanzando los cuerpos de agua (Acevedo *et al.*, 2017), provocando la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera, y la acumulación de micro y macronutrientes en el suelo y cuerpos de agua (Ordoñez *et al.*, 2023).

El aprovechamiento de las deyecciones bovinas y de pollo en la digestión anaerobia permite obtener un biocombustible y disminuir la contaminación ambiental, siendo la solución al problema de su disposición final. Este estudio evaluará la actividad metanogénica específica de (excretas de pollo y de vaca), utilizando acetato de sodio como sustrato, para determinar la capacidad de producción de metano.

Materiales y Métodos

Caracterización de los inóculos

Se utilizaron dos inóculos; excretas de vaca y de pollo, provenientes de la localidad de Monte Alto, situada en el Municipio de Alvarado en el Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.

Las muestras se preservaron a 4°C previo a su análisis en el Laboratorio de Ciencias Biológicas del Instituto Tecnológico de Veracruz, se caracterizaron: sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV) y pH. La caracterización se realizó de acuerdo con las normas mexicanas (NMX-AA-008-SCFI-2016 y la NMX-AA-034-SCFI-2015).

Determinación de la actividad metanogénica específica (AME)

La actividad metanogénica específica (AME) se evaluó empleando excremento de vaca y de pollo como inóculos con una concentración de 2 g/L. El sustrato utilizado fue acetato de sodio con una concentración de 4 g STV/L ya que es el más utilizado en la determinación de AME (Hussain y Dubey, 2017). La prueba se realizó por triplicado en botellas de vidrio de 235 mL con un volumen de trabajo



de 156 mL en cada botella, dejando un espacio de 97 mL para la cámara de biogás correspondiente al tercio de la capacidad total del reactor. Además de adicionarle a cada ensayo una solución de nutrientes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Solución de nutrientes.

Solución	Compuesto	Concentración
Solución amortiguadora de fosfato	Fosfato monobásico de potasio	8.5 g/L
	Fosfato dibásico de potasio	21.75 g/L
	Fosfato dibásico de sodio heptahidratado	33.4 g/L
	Cloruro de amonio	1.7 g/L
Solución de sulfato de magnesio	Sulfato de magnesio heptahidratado	22.5 g/L
Solución de cloruro de calcio	Cloruro de calcio anhidro	27.5 g/L
Solución de cloruro férrico	Cloruro férrico hexahidratado	0.25 g/L

Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones mesofílicas (31°C) durante 14 días, empleando un sistema térmico a base de unicele que permitió mantener la temperatura deseada. En paralelo se realizó un ensayo control o blanco sin sustrato, que indica la productividad del inóculo (Figura 1). Como variables de respuesta se establecieron los siguientes parámetros: pH, ST y STV, y se analizaron al inicio y al término del experimento.

La producción de metano se efectuó a través de un sistema por desplazamiento de agua con trampa de CO₂, utilizando una solución de NaOH a 1 N. A medida que el gas pasa a través de esta solución de pH alto (12), el CO₂ del biogás se convierte en carbonato y es absorbido dentro de la solución. Únicamente el gas metano pasa a través de la solución y un volumen equivalente es desplazado a través de la probeta, el cual es proporcional al volumen de gas metano que ingresa a la probeta (Martínez *et al.*, 2016). (Figura 2).



Figura 1. Esquema del diseño experimental.

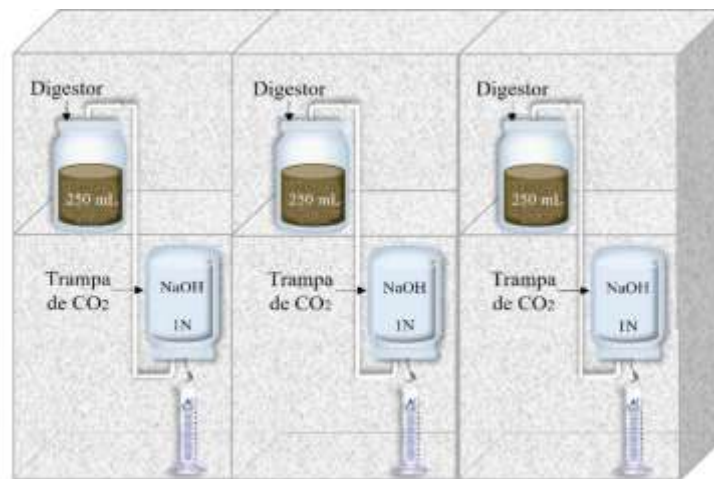


Figura 2. Sistema de medición de metano.

Resultados y Discusión

Caracterización del inóculo

Durante el experimento, se analizaron las características de los inóculos. El Cuadro 2 representa las propiedades de estiércol de vaca y de pollo.



El pH de ambos inóculos se encuentra en un rango óptimo (6-8) para el desarrollo de la digestión anaerobia de acuerdo con lo reportado en la literatura (López *et al.*, 2017). El estiércol de vaca tiene un pH básico (7.53) al igual que el estiércol de pollo (7.47). Este resultado es similar al estudio realizado por Nandi *et al.*, (2020) que caracterizaron excremento de vaca y determinaron un pH de 7.08. Por su parte Akpaki *et al.*, (2023) caracterizaron estiércol de pollo obteniendo pH de 8.06, indicando una naturaleza básica en las excretas.

Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica del inóculo.

Parámetro	Inóculo	
	Estiércol de vaca	Estiércol de pollo
pH	7.53	7.47
Sólidos Totales (g/L)	23.88	125.38
Sólidos Totales Volátiles (g/L)	17.33	44.55
Relación SVT/ST	0.72	0.35

Los resultados obtenidos en este estudio en términos de ST y STV son de 23.88 y 17.33 g/L en el estiércol de vaca, respectivamente. Estos valores son similares a lo reportado por Bernal y Orozco, (2019) en una misma caracterización de estiércol de vaca obteniendo resultados de ST Y STV de 19.99 y 14.4 g/L respectivamente. Por otra parte, Malik *et al.*, (2022) reportaron valores de ST (12 g/L) y STV (10.5 g/L), resultados bajos comparados a este estudio y se puede relacionar al tipo de alimento que recibe el ganado de acuerdo con la región o país (Nandi *et al.*, 2020). En cuanto al excremento de pollo los estudios realizados por Marin *et al.*, (2015) muestran datos más altos 226.2 de ST y 107.7 g/L de STV esto puede deberse a que el contenido de sólidos en este residuo depende del manejo y tipo de alimentación que reciben las aves de corral Akpaki *et al.*, (2023).

La relación STV/ST en este estudio para el excremento de vaca fue de 0.72 y de 0.35 para el excremento de pollo. El valor de 0.72 es mayor al de pollo, lo que indica que una fracción sustancial del estiércol de vaca es biodegradable, de acuerdo con lo estudiado por Da Cunda y Cabrera, (2020).

Determinación de la actividad metanogénica específica (AME)

La determinación de la AME fue monitoreada con los parámetros de control de pH, ST y SV, en la Figura 3 se pueden observar los experimentos realizados.



Figura 3. Ensayos de la AME.

Los valores de pH evaluados al inicio y final del ensayo fluctuaron entre 7 y 8 unidades tanto para los reactores de blanco como para los reactores de muestra, lo que favoreció la producción de metano al encontrarse en un pH neutro. En la Figura 4 se presentan los datos del contenido de ST al inicio y al final de la AME en los blancos y ensayos de excremento de pollo y de excremento de vaca (Bv; Bp; Ep; Ev). Se puede observar que el contenido de ST disminuyó en todos los ensayos, sin embargo, se lograron mayores remociones de ST en los ensayos de vaca, obteniéndose remociones en promedio de 32.49% respecto a los ensayos de pollo que contenían 27.82%.

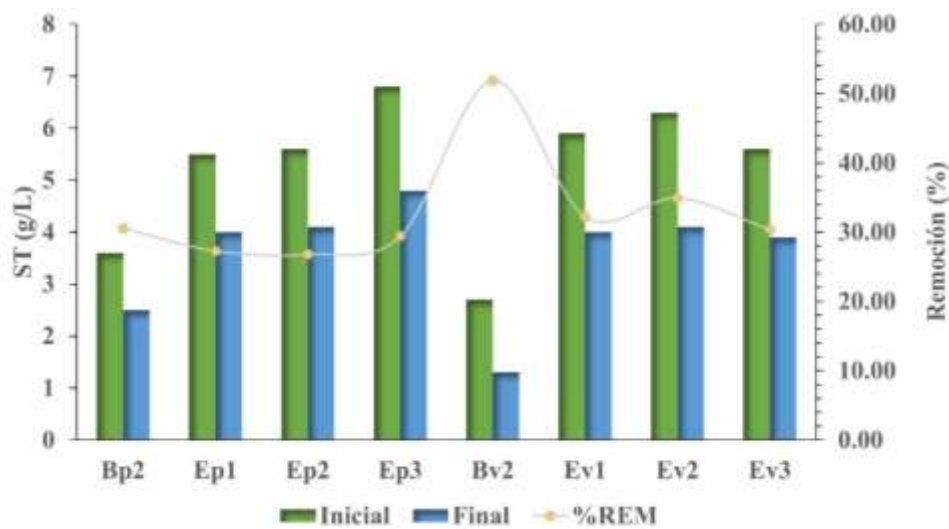


Figura 4. Remoción de ST.



Los STV tuvieron un comportamiento similar a los ST, se observa una disminución en todos los ensayos lo que significa que los microorganismos fueron capaces de degradar la materia orgánica. La remoción promedio más alta fue en los ensayos que contenían excremento de vaca obteniendo 42.37% respecto a los ensayos de pollo con 37.95%, debido a que la fracción biodegradable del estiércol de vaca es superior (0.72) al de pollo (0.35).

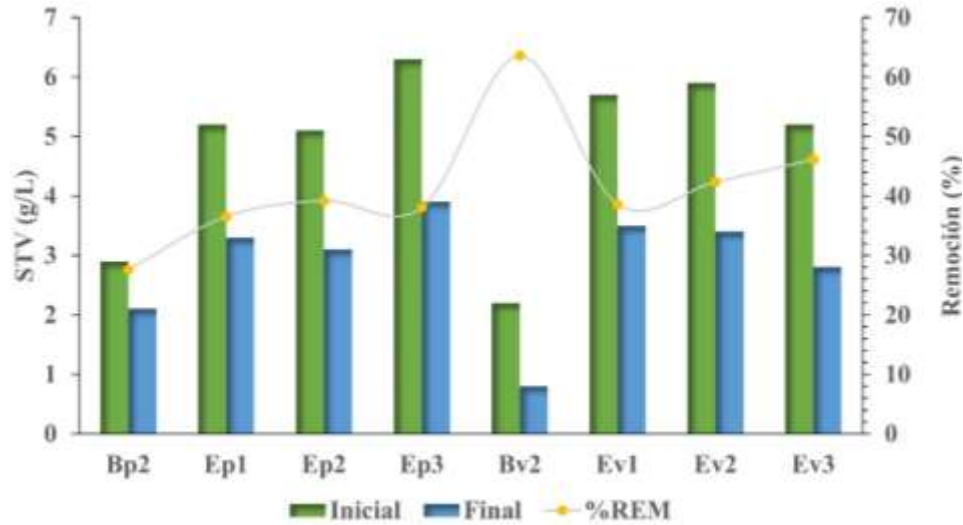


Figura 5. Remoción de STV.

En la Figura 6 se presenta la producción acumulada de metano durante el tiempo de los ensayos de excremento de pollo y de vaca.

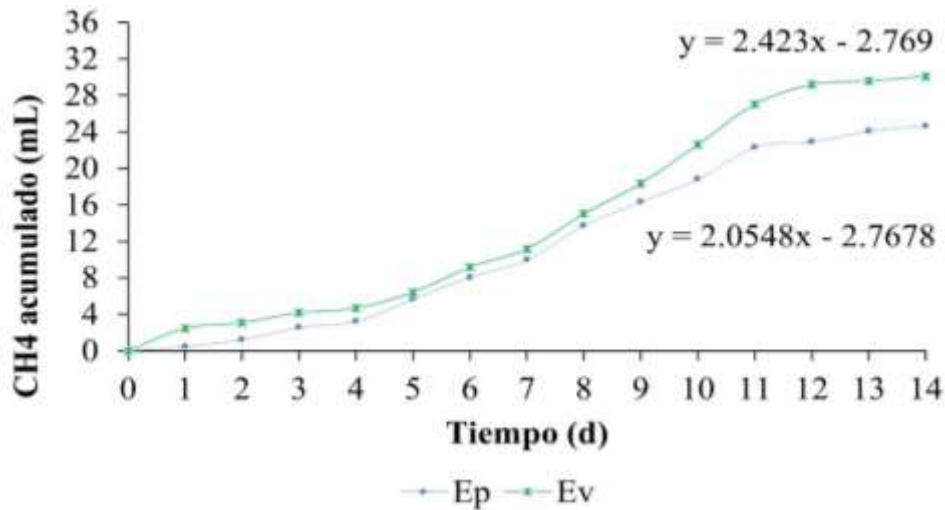


Figura 6. Producción de metano vs tiempo.



En la curva Ep se observa un crecimiento constante en la producción volumétrica de metano posterior a los primeros cuatro días, a partir del onceavo día la producción se estabiliza, lo que refleja que los resultados se encuentran en la fase estacionaria. La producción de metano alcanzó un máximo de 24.66 mL, lo que indica un valor de AME de 0.019 g DQO CH₄/ g SV.

La curva Ev muestra un comportamiento similar a Ep con un crecimiento constante de producción de metano después del cuarto día. A partir del doceavo día se aprecia que la producción de metano se estabiliza, alcanzando un máximo de 30 mL y una AME total de 0.022 g DQO CH₄/g SV.

Lo anterior nos indica que el inóculo de excremento de vaca es capaz de producir más metano con respecto al excremento de pollo. Los datos obtenidos están por encima de lo reportado por Méndez y Chaparro (2022) que evaluaron la AME de un lodo granular proveniente de un digestor anaerobio de una fábrica de bebidas no alcohólicas con concentración de 10 g SVT/L, como sustrato se utilizó acetato de sodio (2 g/L) experimento realizado a una temperatura de 37°C durante 74 horas. La producción de metano fue de 26.5 mL y una AME de 0.015 g DQO CH₄/g SV. La AME obtenida por Méndez y Chaparro (2022) fue menor respecto a este estudio, posiblemente debido a que la concentración del inóculo seleccionado fue superior a lo recomendado por Arévalo y Chaparro (2016), que indican que concentraciones superiores a 5 g SVT/L evitan el contacto eficiente entre la biomasa y el sustrato.

Malik *et al.*, (2022) llevaron a cabo la prueba de AME a una temperatura de 37°C empleando excretas bovinas y como sustrato acetato de sodio. Obtuvieron una AME de 0.04 g DQO-CH₄/g SV superior a la reportada en este trabajo probablemente a que la prueba se llevó a cabo a una temperatura más alta, lo cual favorece la actividad de los microorganismos metanogénicos (Lizcano *et al.*, 2021), por otra parte la posible variación de la temperatura en el sistema térmico a base de unicel pueden haber interferido ya que de acuerdo a Casanovas *et al.*, (2019), las variaciones de esta dificulta que las poblaciones de microorganismos puedan colonizar el medio de forma permanente provocando que la producción de biogás no sea constante.

Conclusiones

1. Los ensayos con inóculo de estiércol de vaca lograron mayores remociones de ST obteniéndose remociones en promedio de 32.49% respecto a los ensayos con estiércol de pollo con 27.82%.



2. La remoción promedio máxima de los STV fue en los ensayos que contenían excremento de vaca obteniendo 42.37% respecto a los ensayos de pollo con 37.95%.
3. El excremento de vaca y de pollo poseen un alto contenido de materia orgánica, siendo el estiércol vacuno el que tiene la fracción biodegradable más alta (0.72) respecto al estiércol de pollo (0.35).
4. La actividad metanogénica específica máxima se obtuvo del Ev con un valor de 0.022 g DQO CH₄/g SV, se evidenció que el estiércol de vaca tiene una actividad microbiana más activa que puede promover una alta producción de metano y que puede aumentar su producción elevando la temperatura durante la digestión anaerobia.
5. Por lo anterior se determina que el inóculo más efectivo en términos de producción de biogás y reducción de carga orgánica es el estiércol de vaca.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-México) por la beca otorgada No. 808191. Para los estudios de posgrado “Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables” SNP: 005845 y la contribución del Laboratorio de Ciencias Biológicas del Instituto Tecnológico de Veracruz, por proporcionar las instalaciones para llevar a cabo las determinaciones analíticas.

Literatura Citada

- Acevedo, P. A. I., R. J. A. Leos, V. U. Figueroa y J. L. Romo L. 2017. Política ambiental: uso y manejo del estiércol en la Comarca Lagunera. *Acta universitaria* 27(4):3-12.
- Aggarangsi, P., S. Koonaphapdeelert, S. Nitayavardhana y J. Moran. 2023. *Biogas Technology in Southeast Asia*. Springer Nature. Singapore, Singapore. 51 p.
- Akpaki, O., N. M. B. Krou, y N. K. Ségbéaya. 2023. Optimization of Biomethane Production from Chicken Droppings and Pig Manure. *Chemical Engineering and Science* 8(1):1-5.



- Arévalo, Y. V. T., y T. R. Chaparro. 2016. Actividad metanogénica específica de una solución acuosa de amoxicilina. *Afinidad* 73(574):130-134.
- Bajpai, P. 2017. Basics of anaerobic digestion process. p. 7. In *Anaerobic technology in pulp and paper industry*. Springer, Singapore, Singapore.
- Bernal C, J. P., y J. P. Orozco A. 2019. Comparación del estiércol bufalino y bovino como potenciales inóculos en el proceso de digestión anaerobia. Tesis de licenciatura. Universidad Pontificia Bolivariana. Seccional Bucaramanga. Santander, Colombia. 33 p.
- Cárdenas, C. L. M., O B. A. Parra, L. P. Torres y C. H. Vásquez F. 2016. Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Metano-PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos. *Revista Ion* 29(1):95-108.
- Casanovas, G., F. Della, F. Reymundo y R. Serafini. 2019. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. FAO. http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-07-10.pdf [Consultado el 17 diciembre de 2021].
- Casas, R. S., y L. D. Guerra C. 2020. La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal* 32(3):87-102.
- Da Cunda, S. y M. M. P., y R. N. Cabrera F. 2020. Evaluación de la valorización de residuos sólidos orgánicos e implementación de sistemas naturales de tratamiento terciario de efluentes como estrategia para mejorar el desempeño ambiental de frigoríficos bovinos en Uruguay. Tesis de licenciatura. Universidad ORT Uruguay. Campus Centro. Montevideo, Uruguay. 70 p.
- Hussain, A., y S. K. Dubey. 2017. Specific methanogenic activity test for anaerobic degradation of influents. *Applied water science* 7:535-542.
- Lizcano, P. A. K., T. A. C. Morales, L. W. Naranjo y J. E. Martínez B. 2021. Diseño y Simulación de Control de temperatura y pH para el inicio de un biorreactor tipo Batch. *Revista Vínculos* 18(2).



López, J., B. Ramírez, C. Gomes y J. Morgan S. 2017. Guía técnica para el manejo y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. GIZ. <https://www.gob.mx/sener/es/documentos/guia-tecnica-para-el-manejo-y-aprovechamiento-de-biogas-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales?tab=> [consultado el 17 diciembre de 2021].

Malik, I. A., F. Fadzil, F. Fadzil y R. Seswoya. 2022. Assessment of Specific Methanogenic Activity from Cow Dung. *International Journal of Integrated Engineering* 14(9):81-87.

Marin, B. J. D., L. Castro, y H. Escalante. 2015. Efecto de la carga orgánica de la gallinaza de jaula en el potencial de biometanización. *Revista Colombiana de Biotecnología* 17(1):18-23.

Martínez, S., H. Numpaqué y J. Alvarado. 2016. Efecto de la Temperatura en la Producción de Biogás en un Bioreactor tipo Batch a través de la Descomposición Anaeróbica de Residuos Sólidos Orgánicos. *ENGI Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería* 3(1):16-19.

Méndez, C. S., y A. T. Chaparro R. 2022. Evaluación de la actividad metanogénica específica rápida en lodo granular de industria de bebidas no alcohólicas: estudio preliminar. *Revista RedBioLAC* 6(2):24-31.

Nandi, R., C. K. Saha, S. Sarker, M. S. Huda y M. Alam M. 2020. Optimization of reactor temperature for continuous anaerobic digestion of cow manure: Bangladesh perspective. *Sustainability* 12(21):8772.

Ordoñez, V. W. F., O. S. L. Posada y R. Rosero N. 2023. Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. *Información tecnológica* 34(1):101-116.

Rosas, M. V. y N. Aguilar R. 2022. Compostaje para la reducción de excretas de aves (*Gallus gallus domesticus*). *Agronomía Mesoamericana* 33(1):1-19.



SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. 2021. Sector pecuario mexicano. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/sector-pecuario-mexicano-277315> [Consultado el 25 de junio del 2023].

Solera, del R. R., G. C. J. Álvarez, S. E. Aymerich, G. E. J. Bedmar, A. M. Caballa, P. L. Castrillón, *et al.* 2014. Introducción: etapas de la digestión anaerobia. pp 17-21. In: De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. Mundi-Prensa, Madrid, España.



PRESENCIA DE *Dirofilaria immitis* EN PERROS DE UNA CLÍNICA PRIVADA EN TUXPAN, VERACRUZ

Yaretzi De la Cruz Pacheco³⁷⁴, Javier Cruz Huerta Peña^{374*}, Daniel Sokani Sánchez Montes^{374,375}, Miguel Ángel Lammoglia Villagómez³⁷⁴, Jorge Luis Chagoya Fuentes³⁷⁴, José Alfredo Villagómez Cortés³⁷⁶ y Gabriela Romina Hernández Carbajal³⁷⁶

Resumen

Dirofilaria immitis es un nematodo que tiene como hospedero definitivo al perro, gato y como hospedero accidental al hombre y causa dirofilariasis canina o mejor conocida como “Gusano del corazón”. Por lo que, el objetivo de la investigación fue determinar la presencia de *Dirofilaria immitis* con pruebas cromatográficas y biología molecular en perros de la zona norte del estado de Veracruz. Se realizó un estudio a conveniencia en muestra de sangre de 40 perros, mayores de seis meses, sin distinción de raza o sexo, en el período comprendido de enero a marzo de 2023. Se utilizó para su diagnóstico la prueba SNAP 4XPlus IDEXX® y PCR punto final con la amplificación del gen 18S ARN a 600 pb con los iniciadores 18S 965 y 18S 1573R. La presencia se determinó con el programa en línea Vassarstats®, bajo la modalidad proporciones y para la asociación entre variables, se calculó con Razón de Momios con el programa WinEpiscope Ver. 2.0®. Los resultados para prueba rápida SNAP 4X Plus fue una presencia general de 12.5%, con una mayor proporción en hembras (13.6%), con un peso de 22-26 kg (28.5%) y en una edad de 7-9 años (42.8%), misma que resulto un factor asociado a la presencia del agente (13.5%; IC_{95%}: 1.09-165.9; p < 0.04). Al análisis de la prueba de PCR, se encontró que la mayor presencia fue en machos (11.1%), en una edad de 10 a 12 años (66.6%), en tallas medianas y grandes (7.1%). Se concluye que es necesario conocer el ciclo de infección del agente, para determinar la utilidad de las pruebas cromatográficas y el uso de PCR, la cuales resultan útiles para lograr un diagnóstico preciso.

Palabras clave: PCR, pruebas cromatográficas, zoonosis

³⁷⁴ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. * jhuerta@uv.mx

³⁷⁵ Centro de Medicina Tropical. Universidad Autónoma de México. UNAM. CDMX.

³⁷⁶ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana.



Introducción

La dirofilariosis, es una enfermedad de origen parasitario, ocasionada por un nematodo filarial, *Dirofilaria immitis*, también conocido como gusano del corazón del perro, el cual se aloja en el ventrículo derecho y en las arterias pulmonares del hospedero. Este parásito provoca infección en perros, gatos, cánidos salvajes, leones marinos y hurones. Dentro de sus hospederos incidentales se encuentran los caballos, osos y primates tanto humanos, como orangutanes; además, es una enfermedad con transmisión vectorial, donde los moscos de los géneros *Culex*, *Aedes*, *Anopheles* y *Ochlerotatus* son los vectores del parásito (Trancoso *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2011).

Los perros actúan como el hospedero definitivo de *D. immitis*, por lo cual la reproducción sexual sucede en sus arterias pulmonares, liberándose más microfilarias al sistema circulatorio. En comparación con los perros, los felinos domésticos tienen menor importancia, debido a que son hospederos menos adaptados a *D. immitis*, llegando a albergar de uno a tres gusanos, los cuales son de un tamaño más pequeño que los del perro y rara vez producen microfilarias, además no todos los nematodos en el gato llegan a alcanzar su vida adulta (Noack *et al.*, 2021; Smith *et al.*, 2022).

La dirofilariosis no solo es importante debido a las consecuencias que tiene en los animales de compañía, los cuales pueden permanecer asintomáticos; sino que, podría ser considerado como un problema de salud pública debido a que *D. immitis* tiene potencial zoonótico (Trancoso *et al.*, 2020).

Los humanos pueden infectarse accidentalmente con dirofilaria, el cual invade los vasos pulmonares y aunque suelen ser asintomáticos genera preocupación, debido a que los gusanos mueren y forman nódulos pulmonares, los cuales pueden ser confundidos con neoplasias en pulmón (Noack *et al.*, 2021).

La distribución del parásito se encuentra en regiones tropicales y templadas, la cual está relacionada con la biología y ecología de sus vectores. Además, la amplia prevalencia de la enfermedad en diferentes partes del mundo varía de acuerdo con la localización geográfica, el vector, las medidas preventivas en animales de compañía, la cantidad de perros microfilarémicos, técnicas de diagnóstico utilizadas, edad, características del pelaje de los perros y su estilo de vida (Noack *et al.*, 2021; Trancoso *et al.*, 2020).

Si bien los métodos de diagnóstico basados en inmunocromatografía para detectar los antígenos circulantes han sido utilizados desde la década de los años 80, estos no son infalibles ya que generan en un bajo nivel, reacciones cruzadas a los antígenos circulantes de algunos parásitos. En comparación, las técnicas de diagnóstico molecular, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), realizan la



amplificación y secuenciación del ADN, demostrando una alta especificidad para distinguir *D. immitis* siendo altamente sensible, específico y confiable (Smith *et al.*, 2022). En tanto, la prueba SNAP 4Dx Plus® (IDEXX Laboratorios, Inc) es un método de diagnóstico serológico, que identifica la presencia del antígeno de *D. immitis*, además de anticuerpos contra algunos patógenos transmitidos por garrapatas, como: *Borrelia burgdorferi*, *Anaplasma spp.* y *Ehrlichia spp.* además de contar con un alta sensibilidad y especificidad para la detección del antígeno de *D. immitis* en caninos domésticos (Kotwa *et al.*, 2020).

No obstante, en los últimos años, se ha visto una modificación en la prevalencia de la enfermedad en las diferentes partes del mundo, pues en lugares donde antes no estaba presente el parásito o no era tan común, el número de casos ha ido en aumento, mientras que en algunas zonas donde la población canina afectada era abundante se ha logrado una disminución, lo cual puede deberse a un control en las poblaciones de mosquitos o a implementaciones adecuadas de prevención en las mascotas (Noack *et al.*, 2021).

El desbalance ambiental, genera un mayor riesgo de infección en animales y la probabilidad de poner en riesgo la salud pública ante la posible presencia de un potencial zoonótico. Por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar la presencia de *D. immitis* y las técnicas para su diagnóstico confirmatorio en la zona norte del estado de Veracruz.

Material y Métodos

Localización

La toma de muestras biológicas se llevó a cabo en una clínica particular que recibe pacientes que viven en las zonas colindantes de las zonas suburbanas de Tuxpan, donde se consideraron pacientes mayores a seis meses, sin considerar, talla, raza o calendario de vacunación y/o desparasitación en la ciudad de Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, que se encuentra entre los paralelos 20° 44' y 21° 09' de latitud norte; los meridianos 97°13' y 97°36' de longitud oeste; altitud entre 10 y 200 msnm, colinda al norte con los municipios de: Álamo Temapache, Tamiahua y el Golfo de México; al este con el Golfo de México y el municipio de Cazonas de Herrera; al sur con los municipios de Cazonas de Herrera y Tihuatlán; al oeste con los municipios de Tihuatlán y Álamo Temapache. Presenta un clima tropical,



con una temperatura media anual de 24.1°C y con lluvias abundantes dado que su precipitación pluvial media anual es de 1,241 milímetros (SECTUR, 2023).

Diagnóstico serológico

Este estudio se realizó con 40 caninos que asistieron a la clínica con un cuadro sospechoso a dirofilaria, para el diagnóstico serológico se utilizó el kit tipo ELISA SNAP 4Dx[®] de IDEXX laboratorios, Inc., para detectar el antígeno de *D. immitis* en sangre total.

El procedimiento fue realizado siguiendo las recomendaciones del fabricante. Los resultados fueron analizados después de ocho minutos, tal y como lo indica la prueba. Se tomaron como resultados positivos cuando apareció color rojo en la muestra que corresponde a *D. immitis*.

Diagnóstico molecular

El ADN genómico se extrajo individualmente de 200 µl de las muestras de sangre de cada animal, colocando 500 µL de una solución al 10% de la resina Chelex-100 (García-González *et al.*, 2009). Para la detección de *Dirofilaria* se amplificó un fragmento del gen 18S rARN a 600 utilizando los oligonucleótidos 18S-965 (5'-GGCGATCAGATACCGCCCTAGTT-3') y 18S-1573R (5'-TACAAAGGGCAGGGACGTAAT-3') (Mullin *et al.*, 2005). La mezcla de reacción se preparó en un volumen final de 25 µL que contenía: 12,5 µL de GoTaq[®] Green Master Mix, 2X de Promega Corporation (Madison, WI, EE. UU.), 100 ng de cada oligonucleótido (2 µL), 6,5 µL de agua libre de nucleasas y 200-500 ng (4µL) de ADN de la muestra, con las siguientes condiciones térmicas; desnaturalización inicial a 95°C durante 5 min, 35 ciclos a 95°C durante 30 s, 58°C durante 30 s, y 72°C por 30seg y una extensión final de 72°C por 7min. Los productos de amplificación se analizaron por electroforesis en geles de agarosa al 2% teñidos con Smartglow.

Análisis estadístico

La presencia se determinó con la fórmula propuesta por Thursfield (2005), en donde se dividió el número de muestras positivas entre el número final de muestras, con el uso del programa en línea Vassarstats[®], bajo la modalidad de estimar proporciones. Asimismo, para estimar la asociación entre variables, se calculó la Razón de Momios con una tabla de contingencia 2x2 para análisis univariado con el programa Win Episcopo Ver. 2.0, en el que se consideraron los intervalos de confianza 95% para la interpretación de riesgo en aproximación logarítmica.



Resultados y Discusión

Del total de 40 muestras colectadas se reportó una presencia de *D. immitis* con 12.5% (IC_{95%}: 4.6-27.6) por prueba rápida y de 5.0% (IC_{95%}:0.8-18.21) por medio de PCR. En tanto los resultados que se obtuvieron mediante la prueba rápida de SNAP 4X Plus, se encontraron que las mayores presencias fueron en hembras (13.6%; IC_{95%}: 3.5-35.9), en el rango de edad de siete a nueve años (42.2%; IC_{95%}: 11.8-79.7), siendo un factor asociado a la presencia del parásito (13.5%; IC_{95%}:1.09-165.9; $p < 0.05$), y de talla grande (28.5%; IC_{95%}: 5.1-69.7) como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Presencia de *Dirofilaria immitis* identificada por prueba cromatográfica rápida (SNAP 4X Plus) en cánidos del municipio de Tuxpan.

Variable	n	Positivos	Negativos	Presencia (%)	IC _{95%}	RM	IC _{95%}	$p < 0.05$
Sexo								
Machos	18	2	16	11.1	1.9-36.1	1.0	0.11-5.45	-
Hembras	22	3	19	13.6	3.5-35.9	1.26	0.18-8.70	0.59
Edad (años)								
< 1 a 3	19	1	18	5.2	0.2-28.1	1.0	0.02-2.08	-
4 a 6	9	1	8	11.1	0.5-49.3	2.25	0.12-40.6	0.54
7 a 9*	7	3	4	42.8	11.8-79.7	13.5	1.09-165.9	0.04
>10	5	-	-	-	-	-	-	-
Talla								
Chica	12	1	11	83.0	0.4-40.0	0.54	0.04-6.88	0.55
Mediana	14	2	12	14.2	2.5-43.8	1.0	0.12-8.30	-
Grande	14	2	12	14.2	2.5-43.8	1.0	0.12-8.30	0.70

Asimismo, se realizó una segunda para verificar los resultados obtenidos por la prueba rápida, que se llevó a cabo por medio de un PCR convencional (Cuadro 2), donde se identificó que solo los machos resultaron positivos a *D. immitis* (11.1%; IC_{95%}:1.9-36.1) en una edad de 10 a 12 años (66.6%; IC_{95%}: 12.5-98.2), y presencia en tallas medianas y grandes (7.1%; IC_{95%}: 0.3-35.8).



Cuadro 2. Presencia de *Dirofilaria immitis* identificada por PCR convencional en cánidos del municipio de Tuxpan.

<i>Dirofilaria immitis</i>	n	Positivos	Negativos	Presencia (%)	IC _{95%}
General	40	2	10	5.0	0.8-18.21
Sexo					
Macho	18	2	16	11.1	1.9-36.1
Hembras	22	0	-	-	-
Edad (años)					
< 1 a 3	19	-	-	-	-
4 a 6	9	-	-	-	-
7 a 9	7	-	-	-	-
< 1 a 3	19	-	-	-	-
10 a 12	3	2	1	66.6	12.5-98.2
Talla					
Chica	12	-	-	-	-
Mediana	14	1	13	7.1	0.3-35.8
Grande	14	1	13	7.1	0.3-35.8

Algunas investigaciones han reportado la presencia de dirofilaria de 1.8% a 14.41% donde los autores mencionan que las variables climatológicas, como temperatura y humedad, en zonas como Brasil, Nicaragua, Perú y Malasia las cuales son áreas con alta presencia de mosquitos (Meera y Jan 2019; Labarthe *et al.*, 2003; Adrianzén *et al.*, 2003). La confirmación de la presencia de *D. immitis* en cánidos domésticos en el municipio de Tuxpan, localizado en la región norte de Veracruz, y que cuenta con características de una región tropical, lo que permite confirmar que factores como la temperatura ambiental son importantes para el desarrollo del parásito, debido a que existe una relación directa entre el desarrollo larvario de *D. immitis* en los vectores y las temperaturas de 18-34°C, indicando que la temperatura es el principal factor que limita la transmisión de este nematodo (Oh *et al.*, 2017).

Genchi y Kramer (2019) mencionan que, uno de los factores primordiales que ha favorecido la presencia de vectores es el cambio climático, que ha provocado un aumento en las poblaciones de los mosquitos, ha acortado el desarrollo extrínseco de los estadios infectivos y alargado la temporada de transmisión. Con este constante aumento en las temperaturas del planeta, lugares que antes no tenían



las condiciones óptimas para el desarrollo del vector, ahora permiten que el ambiente sea idóneo. Así mismo, sea ha mencionado que las enfermedades transmitidas por mosquitos se expandirán en paralelo con el cambio climático, debido a que los patrones climáticos influyen en la tasa y frecuencia de reproducción de los mosquitos, en el tiempo de su vida útil, patrones de alimentación de sangre y en periodos de incubación extrínsecos (Giesen *et al.*, 2020).

Los resultados de las pruebas utilizadas para esta investigación coinciden con lo reportado por Trancoso *et al.* (2020) en Brasil, donde el porcentaje de resultados positivos por PCR fue menor a las encontradas por técnicas parasitológicas microscópicas, los autores sugieren que eso puede deberse a diferentes factores como, a una baja cantidad de microfilarias en la circulación sanguínea, y por tanto una baja cantidad de ADN para poder ser detectado y la dificultad para amplificarlo. Liu *et al.* (2018) mencionan que la prueba SNAP 4Dx[®] Plus (IDEXX Laboratorios, Inc.) demuestra una mayor sensibilidad en lo que respecta a la detección de antígenos de *D. immitis*, la prueba cuenta con una sensibilidad del 94.1% y una especificidad del 100%; sin embargo, los autores no consideraron la posibilidad de una reacción cruzada entre los diferentes agentes patógenos que prueba. Los métodos de diagnóstico basados en inmunocromatografía para detectar los antígenos circulantes no son infalibles, debido a que, en un bajo nivel pueden generar reacciones cruzadas a los antígenos circulantes de algunos parásitos, por lo cual ambas pruebas pueden ser de gran utilidad para determinar si un paciente es verdaderamente positivo (Smith *et al.*, 2022).

Se identificó como factor asociado a la presencia de *D. immitis*, el grupo etario de siete a nueve años por medio de la prueba rápida, Trancoso *et al.* (2020) mencionan que puede ser una consecuencia a un mayor tiempo de exposición a los vectores lo que favorece la presencia del parásito y por ende la infección. También pueden deberse a las diferentes regiones de estudio, así como a las diferencias en las características de los caninos muestreados, el estilo de vida y el tipo de pelaje, los cuales son factores que influyen en la prevalencia de ciertos grupos etarios (Noack *et al.*, 2021). Así mismo, se menciona que las prevalencias altas pueden deberse a que la mayoría de las mascotas se encuentran fuera de casa, además de la interacción con otros animales y la mayor exposición a las picaduras de mosquitos, que son el hospedador intermediario del parásito (Romero-Rodríguez *et al.*, 2021).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que, el médico veterinario juega un papel de suma importancia en el control de enfermedades a través de la información, la somatización o la vacunación, además de generar diagnósticos certeros que ayuden a prevenir la diseminación de las zoonosis; por tanto, las enfermedades en los perros como la dirofilariasis deberían ser objeto de estudio, por su



importancia para la medicina veterinaria y la salud pública (Moraes-Filho *et al.*, 2011; Acha y Szyfres, 2003).

Conclusiones

Se demostró la presencia de *Dirofilaria immitis* por medio de las pruebas cromatográficas, y se identificó como un factor asociado a la presencia de *D. immitis* la edad de 7 a 9 años; sin embargo, la confirmación por PCR, demuestra la eficacia de la técnica para la identificación del agente. Es necesario, conocer el ciclo de infección del agente para determinar la utilidad de los métodos de diagnóstico, además que ambas pruebas pueden complementarse para lograr un diagnóstico preciso.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración del Centro de Medicina Tropical de la Universidad Nacional Autónoma de México, por el apoyo otorgado para el diagnóstico molecular para la detección de *Dirofilaria immitis*.

Literatura Citada

- Acha P. y B. Szyfres. 2001. Zoonosis y enfermedades transmisibles al hombre y a los animales. Organización Mundial de la Salud. Washington D.C.
- Adrianzén, J., A. Chávez V., E. Casas A. y O. Li. E. 2003. Seroprevalencia de la dirofilariosis y ehrlichiosis canina en tres distritos de lima. *Rev Int Vet Perú*. 14(1):43-48
- García-González, L.A., J.P. Rodrigo-Tapia, P. Sánchez-Lazo, S. Ramos y C. Suarez-Nieto. 2009. Extracción de ADN con resina chelex en el análisis de la amplificación oncogénica en carcinomas de cabeza y cuello. *Acta Otorrinolaringol. Esp*. 55:139–144.



- Giesen, C., J. Roche, L. Redondo-Bravo, C. Ruiz-Huerta, D. Gómez-Barroso, A. Benito and Z. Herrador. 2020. The impact of climate change on mosquito-borne diseases in Africa. *Pathog Glob Health*. 114(6): 287–301.
- Genchi, C., and L. H. Kramer. 2019. The prevalence of *Dirofilaria immitis* and *D. repens* in the Old World. *Veterinary Parasitology*. 280:108995.
- Kotwa, J. D., C. M. Jardine, D. L. Pearl, O. Berke, N. J. Mercer & A. S. Peregrine. 2020. Evaluation of the SNAP® 4Dx® plus test for the detection of *Dirofilaria immitis* antigen and characterization of exposure to tick-borne pathogens in wild canids in southern Ontario. *Vet Parasitol*. 283:109176.
- Labarthe, N., M.C., Pereira O. Barbarini, W. Mckee, C.A. Coimbra y J. Hoskins. 2003. Serologic prevalence of *Dirofilaria immitis*, *Ehrlichia canis*, and *Borrelia burgdorferi* infections in Brazil. *Vet Ther. Spring*. 4(1):67-75. PMID: 12756637
- Liu, J., J. Drexel, B. Andrews, M. Eberts, E. Breitschwerdt y R. Chandrashekar. 2018. Comparative Evaluation of 2 In-Clinic Assays for Vector-Borne Disease Testing in Dogs. *Top in Companion Anim Med*. 33(4):114–118.
- Meera, K.C. y J. Slapeta. 2019. The prevalence and trends of canine heartworm (*Dirofilaria immitis*) in Kuala Lumpur, Malaysia (1970–2018). *Vet Parasitol Reg Stud Reports*. 16: 100272.
- Moraes-Filho, J., A. Marcili, F.A. Nieri B., L.J., Richtzenhain y M.B. Labruna. 2011. Genetic analysis of ticks belonging to the *Rhipicephalus sanguineous* group in Latin America. *Acta Trop*. 117(1):51-55.
- Noack, S., J. Harrington, D.S. Carithers, R. Kaminsky y P.M. Selzer. 2021. Heartworm disease - Overview, intervention, and industry perspective. *Int J Parasitol Drugs Drug Resist*. 16: 65–89.



Oh, I.Y., K.T. Ki y H.J. Sung Molecular Detection of *Dirofilaria immitis* Specific Gene from Infected Dog Blood Sample Using Polymerase Chain Reaction. Iran J Parasitol. 2017. 12(3):433-440. PMID: 28979354; PMCID: PMC5623924.

Romero-Rodríguez, P., E. García G., C. Santos S., B. Pineda B., G. Olivar V., P. Hernández R., y J. Ponce C. 2019. Prevalencia de *Dirofilaria immitis* en caninos domésticos de dos municipios del trópico de Guerrero, México. Abanico Vet. 9:1-11.

Trancoso, T. A. L., N. D. C. Lima, A. Silva B., D. Leles, A. B. Monteiro F., N. Vollmer L., O. Machado P. B. y C.M. Antunes U. 2020. Detection of *Dirofilaria immitis* using microscopic, serological and molecular techniques among dogs in Cabo Frio, RJ, Brazil. Braz J Vet Parasitol. 29(1): E017219.

Thrusfield, M. 2005. Veterinary Epidemiology. Blackwell Science, Ames, Iowa, EUA. 177-190 p.

Sánchez, M.E.K., P.C. Robayo y C.A. Mutis B. 2011. *Dirofilaria immitis*: una zoonosis presente en el mundo. Rev. Med. Vet.22:57-68

SECTUR, Secretaría de Turismo y Cultura. 2023. Tuxpan. <https://veracruz.mx/destino.php?Municipio=189>

Smith, R., D. F. Barrantes M., K. Chenoweth, S. Barua, P. J Kelly, L. Starkey, B. Blagburn, T. Wood, & C. Wang. 2022. Nationwide molecular survey of *Dirofilaria immitis* and *Dirofilaria repens* in companion dogs and cats, United States of America. Parasites & Vectors, 15(1):367.

Zinsstag, J., L. Crump, E. Schelling, J. Hattendorf, Y. O. Maidane, K. O. Ali, *et al.* 2018. Climate change and One Health. FEMS Microbiology Letters. 365(11): 1-9.



TRANSFORMACIONES MEDIOAMBIENTALES Y SUPERFICIALES DEL SISTEMA DE LAGUNAS INTERDUNARIAS DE LA CIUDAD DE VERACRUZ

Cecilia Aurea Hernández Vidal³⁷⁷, Fabiola Lango Reynoso^{377*}, María del Refugio Castañeda Chávez³⁷⁷, Isabel Araceli Amaro Espejo³⁷⁷, Ángel Morán Silva³⁷⁸ y Mario Díaz González³⁷⁹

Resumen

El presente estudio surge de la necesidad de aportar mayores datos respecto a la transformación medioambiental y superficial que han tenido las lagunas que forman parte del Sistema de Lagunas Interdunarias de Veracruz (SLIV), respecto al crecimiento urbano en los últimos años. La Convención de Ramsar ha catalogado a las dieciocho lagunas de este sistema (Lagartos, Del Carmen, Tarimoya, Las Conchas, Laureles, La Colorada, Dos Caminos, Unidad habitacional de Marina, El Encanto, Ensueño, Ilusión, Viveros, D, Del Encierro, Caracol, El Coyol, Malibrán y Olmeca) como humedales de importancia internacional. La metodología consideró la obtención de información recabada de estudios realizados al SLIV donde se consideraron las características físicas (superficie, profundidad, perímetro y transparencia), fisicoquímicas (pH, NH₄-N, P, Saturación de oxígeno, Coliformes fecales e Índice de calidad de agua) y ambientales (tipo de vegetación, zonificación, tipo de humedal e impacto por residuos) para tener un antecedente de las características generales de las lagunas. Adicionalmente, se realizó un análisis espacial con la herramienta Google Earth Pro, obteniendo imágenes de las lagunas del año 2007 y el año 2022 para calcular el área del polígono de cada laguna y realizar un comparativo de la superficie entre ambos años. De acuerdo con los datos obtenidos, lagunas como La Colorada, Lagartos, Laureles, Encanto, Ilusión y El Coyol han sido las más afectadas en términos de calidad de agua e impacto por residuos. Además, las lagunas con los mayores porcentajes de variación superficial son: La Colorada (-61.02%), Ilusión (-35.34%), El Encanto (-30.78%) y Tarimoya (-27.98%). Se concluye que diversos factores socioeconómicos asociados a la urbanización, tales como las deficiencias en obras de infraestructura de drenaje, la acumulación de sedimentos y la contaminación son una amenaza para el SLIV. Se necesitan realizar estudios sobre la vulnerabilidad medioambiental y

³⁷⁷ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río. *fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx

³⁷⁸ Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

³⁷⁹ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Veracruz.



territorial del SLIV para proponer políticas públicas que permitan conservar estas áreas y así reducir los riesgos hacia la población por su pérdida.

Palabras clave: características fisicoquímicas, condiciones medioambientales, desarrollo urbano

Introducción

Las crisis que enfrenta actualmente nuestro país derivan de los distintos procesos que vive la sociedad ante la globalización económica, social, cultural y ambiental. Estos procesos han provocado un acelerado crecimiento del desarrollo urbano y propician que el ser humano habite zonas de riesgo o zonas no aptas para la vivienda, poniendo en riesgo su salud, seguridad y calidad de vida. Estas condiciones aunadas a los efectos del cambio climático global que se observan con mayor intensidad en cada uno de los estados que conforman la República Mexicana, han afectado diversos recursos naturales, entre los cuales podemos incluir a los recursos hídricos. Nuestros recursos hídricos son fundamentales para la salud pública, para conservar la biodiversidad en los ecosistemas y para la producción de alimentos (Sandoval *et al.*, 2020). El agua es el elemento crítico del cual depende toda la vida terrestre siendo los humedales los que captan, almacenan y transportan el agua para todos.

Existen humedales en varias partes del mundo, desde la tundra hasta el trópico, y se sabe que aproximadamente el 6% de la superficie terrestre se compone de estos, ocupando 1,200 millones de hectáreas a escala mundial. Sin embargo, estos están sufriendo un rápido deterioro, con una pérdida del 35% de los humedales naturales desde el año 1970. La calidad de los humedales se está viendo afectada por factores como el drenaje, la contaminación, las especies invasoras, el uso insostenible, la alteración de los regímenes de flujos y el cambio climático (Convención sobre los humedales, 2021), los cuales están asociados principalmente a actividades antropogénicas. La tendencia hacia la urbanización está produciendo una mayor ocupación por asentamientos humanos regulares e irregulares, provocando una mayor generación de aguas residuales. En algunas ocasiones hay sistemas de drenaje y plantas de tratamiento para recibir las, pero en la mayoría de los casos son vertidas a cuerpos de agua, incluyendo a los humedales (SEMARNAT, 2012).

Particularmente, las lagunas son ambientes altamente amenazados a nivel mundial debido principalmente a las acciones del ser humano que se relacionan con la extracción del agua, el



crecimiento urbano, el relleno de estos espacios para transformarlos en terrenos habitacionales o en muchos casos, por su uso como sumideros de basura. Además, la falta de información y la escasa conciencia sobre la importancia de estos ambientes hace aún más difícil su protección. Las lagunas interdunarias de la ciudad de Veracruz son humedales inmersos en la ciudad, cuyo funcionamiento se mantiene debido a las características hidráulicas particulares que le dan vida. Son cuerpos de agua de agua dulce permanente, someros, que se establecen debido al afloramiento del manto freático (Ficha informativa de humedales Ramsar, 2004). Brindan múltiples bienes y servicios ambientales a la población funcionando como reguladores del ciclo hidrológico local, de carga y recarga de acuíferos, funcionando como hábitat para una amplia diversidad de flora y fauna local y como sitios de refugio y anidación de aves migratorias, además de proteger a las zonas urbanas de inundaciones sirviendo como áreas de amortiguamiento, evitando o mitigando consecuencias negativas para varias colonias de la ciudad de Veracruz como las inundaciones durante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos; tienen influencia en las condiciones micro climáticas de la zona y por ende de la región y contribuyen a mitigar los efectos de cambio climático. Además, ayudan a depurar el agua por el flujo subterráneo de agua, mantienen la diversidad biológica y calidad estética; sirviendo, además para diferentes actividades humanas como pesca de autoconsumo, recreación y mejoramiento de la calidad de vida (Gaceta oficial de Veracruz CXCIV, 2016).

Considerando que, el SLIV cumplía con dos de los criterios de sitios Ramsar para que estos humedales fueran identificados con importancia internacional, el día 2 de febrero del año 2005 fue registrado en la convención Ramsar con el número 1450, considerando 18 cuerpos de agua ubicados en la ciudad de Veracruz. Adicionalmente, ante la necesidad de proteger y conservar las lagunas interdunarias de la ciudad de Veracruz, en el año 2016, el Gobierno del Estado decretó 33 lagunas, incluidas 17 de las lagunas que conforman el sitio Ramsar 1450, como una reserva natural que incluye también algunas lagunas rurales, con una superficie de 944.26 ha (Peralta-Pelaéz y Moreno-Casasola, 2019). Actualmente, las lagunas de la ciudad de Veracruz se encuentran expuestas a múltiples factores de riesgo, a pesar de que han sido catalogadas como humedales de importancia internacional y a que se encuentran protegidas por un decreto estatal. Dichos factores involucran aspectos sociales, culturales, políticos, económicos, ambientales y climáticos. Aunque hoy en día existe información disponible al respecto, es necesario analizar los datos físicos, químicos y medioambientales, así como la transformación superficial que han tenido las lagunas que conforman este sistema de humedales en distintas temporadas espaciales. Bajo este tenor, en este trabajo se ha realizado una búsqueda de



información de las características medioambientales de dicho sistema lagunar, y se han utilizado herramientas disponibles de análisis espacial y procesamiento de datos, con el objetivo de generar información a través de imágenes satelitales, estimando la variación perimetral y superficial durante el mes de junio de los años 2007 y 2022.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz (SLIV), el cual está conformado por 18 lagunas (Laguna Lagartos, Laguna Del Carmen, Laguna Tarimoya, Laguna Las Conchas, Laguna Laureles, Laguna La Colorada, Laguna Dos Caminos, Laguna Unidad habitacional de Marina, Laguna El encanto, Laguna Ensueño, Laguna Ilusión, Laguna Viveros, Laguna D, Laguna del encierro, Laguna Caracol, Laguna El Coyol, Laguna Malibrán y Laguna Olmeca). Se realizó una búsqueda y recopilación de estudios previos, usando como bases de datos *Redalyc*, *Google Scholar* y *Scielo* para llevar a cabo la revisión documental, de Decretos Estatales de áreas naturales protegidas (ANP), planes de manejo de ANP, artículos científicos, tesis de grado y fichas informativas Ramsar. Una vez obtenidos los datos de los documentos, se computaron empleando el procesador de datos Microsoft Excel, y se generaron tablas de identificación de los aspectos físicos, fisicoquímicos y ambientales de las lagunas del SLIV. Adicionalmente, se utilizó el software Google Earth Pro (Google, 2023) tomando la imagen satelital de cada laguna en el mes de junio de los años 2007 y 2023, para trazar su polígono con las herramientas de dicho software, obteniendo los perímetros y áreas (del espejo de agua) de cada una para estimar sus variaciones haciendo un análisis comparativo de las imágenes y los datos obtenidos procesados mediante Microsoft Excel (Rivas-Rodríguez y Alcaide-Orpí, 2017; Paredes-Lizama, 2019).

Resultados y Discusión

A partir de los datos obtenidos de los diferentes estudios realizados a las lagunas del SLIV, se han organizado los datos relevantes que pueden dar un indicativo de sus condiciones medioambientales. En el Cuadro 1, se muestran los valores de las características físicas de las lagunas obtenidos por Sarabia-



Bueno (2004), considerando la superficie, profundidad, perímetro y transparencia; de estos datos podemos destacar que el tamaño de las lagunas es muy disperso, siendo la más grande de 602,100 m² (Laguna Olmeca) y la más pequeña de 800 m² (Laguna Unidad habitacional Marina); en cuanto a la profundidad podemos notar que la laguna más profunda es la Laguna La Colorada con 1.95 m a comparación de la laguna Tarimoya con solo 0.55 m de profundidad. Por otra parte, la transparencia del agua es un indicador de la calidad de este recurso, de manera que podemos clasificar a las lagunas Laureles, La Colorada, D, El Coyol y Olmeca, con transparencias menores a 0.33 m, como cuerpos hipereutróficos (muy ricos en nutrientes con frecuentes y graves proliferaciones de algas molestas y poca transparencia), a las lagunas Tarimoya, Dos Caminos, El Encanto, Ilusión, Caracol y Malibrán, con transparencias entre 0.34 y 0.9 m, como eutróficos, y a las lagunas Las Conchas y Ensueño, con transparencias de 1 a 1.9 m, como mesotróficos (aguas más claras) (Moncayo-Eraso, 2017).

Cuadro 1. Análisis de las características físicas de las lagunas pertenecientes al SLIV.

Laguna	Característica			
	Superficie (m ²)	Profundidad (m)	Perímetro (m)	Transparencia (m)
Lagartos	185 900	Nd	1.767	Nd
Del Carmen	13 400	Nd	2.051	Nd
Tarimoya	90 300	0.7	1.998	0.37
Las conchas	86 400	1.54	1.962	1.32
Laureles	11 300	1.14	646	0.272
La colorada	8 400	1.95	452	0.228
Dos caminos	63 500	1.97	1.323	0.441
U.H. de marina	800	Nd	347	Nd
El encanto	12 900	1.38	563	0.378
Ensueño	16 200	2	459	1.53
Ilusión	15 500	1.48	490	0.366
Viveros	5 200	Nd	276	Nd
D	32 500	1.38	1034	0.185
Del encierro	1 900	Nd	728	Nd



Laguna	Característica			
	Superficie (m ²)	Profundidad (m)	Perímetro (m)	Transparencia (m)
Caracol	11 700	2	490	0.764
El coyol	71 200	1.75	1418	0.226
Malibrán	32 200	0.55	722	0.55
Olmeca	602 100	1.23	Nd	0.222

En el Cuadro 2 se muestran las características fisicoquímicas de las lagunas del SLIV, como pH, nitrógeno amoniacal, saturación de oxígeno, coliformes fecales e índice de calidad de agua, así como un valor de Clasificación por Cantidad de Contaminación (CCC). De estos datos podemos destacar que la laguna que muestra una mayor cantidad de contaminación de acuerdo con la clasificación desarrollada por Sarabia-Bueno (2004), es la laguna La Colorada, donde en ese mismo año se obtuvo que se encontró excesivamente contaminada con un Índice de Calidad de Agua de 39.75%, siendo la única de las 18 lagunas con esta clasificación. De acuerdo con los aportes de Sarabia-Bueno, esto se debió principalmente a que no se contaba con servicio de drenaje para las viviendas aledañas a la laguna, por lo que se requieren estudios actuales que confirmen el estado fisicoquímico de esta y las demás lagunas del SLIV después de casi dos décadas, ya que han existido importantes cambios en el desarrollo urbano de la ciudad de Veracruz.

Cuadro 2. Análisis de las características fisicoquímicas de las lagunas pertenecientes al SLIV.

Laguna	Característica						
	pH	NH ₄ -N (mgL ⁻¹)	P (mgL ⁻¹)	Sat. O ₂ (%)	Col. Fecales (Col.Form./100mL)	ICA %	CCC
Lagartos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Del Carmen	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tarimoya	7.88	1.31	7.91	235	640	53.7	C
Las conchas	7.77	0.21	13.26	209	340	53.7	C
Laureles	8.48	1.83	13.26	235	2100	49.6	FC
La colorada	8.68	0.51	28.24	250	1990	39.75	EC
Dos caminos	9.29	1.44	11.93	250	2900	44	FC



Laguna	Característica						
	pH	NH ₄ -N (mgL ⁻¹)	P (mgL ⁻¹)	Sat. O ₂ (%)	Col. Fecales (Col.Form./100mL)	ICA %	CCC
U.H. de marina	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
El encanto	8.41	1.35	13.29	235	2600	48.85	FC
Ensueño	7.6	0.31	18.27	217	650	52.3	C
Ilusión	9.16	0.16	10.15	250	340	47.3	FC
Viveros	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
D	8.64	6.45	149.33	234	430	45.25	FC
Del encierro	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Caracol	7.8	0.21	13.17	230	800	48.55	FC
El coyol	8.33	2.25	11.29	170	420	52.65	C
Malibrán	8.95	1.43	3.81	250	460	50.9	C
Olmeca	10.39	1.73	91.52	250	200	41.05	FC

CCC: Clasificación por Cantidad de Contaminación; ND: No disponible; C: Contaminada; FC: Fuertemente contaminada; EC: Excesivamente contaminada.

En el Cuadro 3 se muestran los datos de las características ambientales de las lagunas del SLIV. La información para la elaboración de este cuadro se obtuvo de los Decretos Estatales de las Áreas Naturales Protegidas “Corredor Biológico Multifuncional en la categoría de Archipiélago de lagunas de los municipios de Veracruz y la Antigua Veracruz” y “Reserva Ecológica Tembladeras – Laguna Olmeca, Veracruz” y sus planes de manejo, además de la clasificación de los humedales de acuerdo a los criterios de la convención Ramsar y los datos aportados en materia de residuos de acuerdo a una análisis espacial realizado en las 18 lagunas. Con base en los datos analizados se identificó que para determinar la zonificación se tomó como criterio la conservación y características naturales de cada laguna, así como la cercanía a asentamientos humanos, notando que las lagunas urbanas zonificadas como restauración presentan más variación en los tipos de vegetación identificados. De acuerdo con el tipo de laguna, podemos hacer notar que esto está estrechamente relacionado al impacto por residuos, siendo que las lagunas que presentan mayor impacto son Lagartos, Laureles, Encanto, Ilusión y El Coyol, todas consideradas como de tipo urbana; este impacto es atribuible a que se encuentran rodeadas de colonias populares de la ciudad de Veracruz y a que algunas de ellas como es el caso de Lagartos y Encanto, poseen pista perimetral y es muy frecuentada por deportistas y familias.



Cuadro 3. Análisis de las características ambientales de las lagunas pertenecientes al SLIV.

Laguna	Característica			
	Vegetación	Tipo de laguna	Zonificación	Impacto por residuos
Lagartos	P, T, VF, VSeI	Urbana	Restauración	Alto
Del Carmen	P, VF, SBI	Urbana	Restauración	Bajo
Tarimoya	T, VF	Urbana	Restauración	Bajo
Las conchas	P, T	Semiurbana	Conservación	Moderado
Laureles	T, VF, VSeI	Urbana	Restauración	Alto
La colorada	VR	Urbana	Restauración	Moderado
Dos caminos	T, VR	Urbana	Restauración	Moderado
U.H. de marina	VF, VSeI	Urbana	Restauración	Bajo
El encanto	VF, VSeI	Urbana	Restauración	Alto
Ensueño	VF, VSeI	Urbana	Restauración	Moderado
Ilusión	VF, VR	Urbana	Restauración	Alto
Viveros	VF, VSeI	Urbana	Restauración	Bajo
D	BTC	Urbana	Restauración	Bajo
Del encierro	T, C, VF, BTC	Urbana	Restauración	Bajo
Caracol	T, VR, VSeI	Urbana	Restauración	Bajo
El coyol	T	Urbana	Restauración	Alto
Malibrán	T, VR, VSeI	Urbana	Restauración	Bajo
Olmecca	P, T, VF, VSeI, VR, BTC, Pa, PI	Urbana	SAARN	Bajo

P: Popal; T: Tular; VF: Vegetación flotante; VSeI: Vegetación secundaria e introducida; SBI: Selva baja inundable; VR: Vegetación riparia; BTC: Bosque tropical caducifolio; C: Carrizal; Pa: Palmares; PI: Pastizal inducido; ND: No disponible; SAARN: Subzona de aprovechamiento sustentable de recursos naturales.

El análisis de la variación perimetral y superficial de los años 2007 y 2023 de las lagunas se ilustra en el Cuadro 4, donde se destaca prácticamente que todas las lagunas han sufrido variación en su perímetro y áreas. Dentro de las lagunas que presentan una drástica variación en el porcentaje de su área, podemos mencionar a La Colorada con -61.02%, Laguna Ilusión con un -35.34%, Laguna El Encanto con -30.78% y la Laguna Tarimoya con -27.98%.



Cuadro 4. Variación perimetral y superficial de las lagunas pertenecientes al SLIV.

Laguna	Perímetro (m)		Área (m ²)		Variación del perímetro (%)	Variación del área (%)
	2007	2023	2007	2023		
Lagartos	1,617	1,614	122,117	107,153	-0.19	-12.25
Del Carmen	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tarimoya	1,883	1,413	73,847	53,182	-24.96	-27.98
Las conchas	1,864	1,818	84,780	75,883	-2.47	-10.49
Laureles	611	548	8,686	6,718	-10.31	-22.66
La colorada	552	490	9,304	3,627	-11.23	-61.02
Dos caminos	2,158	1,979	71,175	51,740	-8.29	-27.31
U.H. de marina	506	423	9,327	9,103	-16.40	-2.40
El encanto	700	600	19,571	13,547	-14.29	-30.78
Ensueño	570	550	21,078	16,333	-3.51	-22.51
Ilusión	501	460	14,806	9,574	-8.18	-35.34
Viveros	255	215	2,438	2,243	-15.69	-8.00
D	1,231	1,230	35,040	35,038	-0.08	-0.01
Del encierro	725	639	17,016	15,540	-11.86	-8.67
Caracol	585	514	13,954	12,384	-12.14	-11.25
El coyol	1,442	1,298	70,792	61,706	-9.99	-12.83
Malibrán	662	658	27,814	25,970	-0.60	-6.63
Olmecca	3,866	3,501	591,932	485,055	-9.44	-18.06

De acuerdo con estos porcentajes se puede considerar que ha habido una notable variación en el área que ocupa el espejo de agua para estas lagunas, atribuyendo esto, para el caso de las lagunas La Colorada (con porcentaje más alto de reducción) (Figura 1), a que se construyó el puente vehicular El Vergel en el año 2013 sobre esta laguna, lo que provocó, que sedimentos se acumularan debajo del puente y limitará la capacidad de la laguna para captar agua, aunado a la proliferación de vegetación acuática invasora como la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*). Para la laguna de Tarimoya (Figura 1), El Encanto e Ilusión (Figura 2), se considera, con base en las mediciones de las imágenes obtenidas, que la variación se debe principalmente a una acumulación de sedimentos (azolvamiento), atribuible principalmente al desarrollo urbano aledaño a estas lagunas.



Figura 1. Imágenes satelitales de las lagunas La Colorada (A: 2007; B: 2023) y Tarimoya (C: 2007; D: 2023).



Figura 2. Imágenes satelitales de las lagunas El Encanto (A: 2007; B: 2023) e Ilusión (C: 2007; D: 2023).



Conclusiones

- 1) Para el año 2004 la laguna La Colorada se clasificó como excesivamente contaminada con un Índice de Calidad del Agua de 39.75%.
- 2) El mayor impacto por residuos se registró en las lagunas Lagartos, Laureles, Encanto, Ilusión y El Coyol atribuyéndose a que estas lagunas estas catalogadas como urbanas, encontrándose rodeadas por colonias populares de la Ciudad de Veracruz.
- 3). De todas las lagunas del SLIV, cuatro fueron las que presentaron mayores porcentajes de variación de área del espejo de agua, siendo: La colorada (-61.02%), Ilusión (-35.34%), El Encanto (-30.78%) y Tarimoya (-27.98%), para el año 2023 con respecto al año 2007. 4) Las variaciones del área de las lagunas se pueden atribuir principalmente a la urbanización y acumulación de sedimentos y las condiciones de contaminación son atribuibles principalmente a las deficiencias en obras de infraestructura de drenaje. Se necesitan realizar más estudios sobre la vulnerabilidad territorial del SLIV que incluyan factores sociales y económicos para proponer políticas públicas que permitan conservar estas áreas y así reducir los riesgos hacia la población por su pérdida.

Literatura Citada

Convención sobre los Humedales. 2021. Perspectiva mundial sobre los humedales: Edición especial de 2021. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención sobre los Humedales.

Gaceta Oficial de Veracruz CXCIV. 2016. Núm. Extraordinario 444, Folio 1289 Decreto para el establecimiento del Área Natural Protegida, en la categoría de Corredor Biológico Multifuncional Denominada Archipiélago de Lagunas Interdunarias de la Zona Conurbada de los Municipios de Veracruz y La Antigua, Ver. Publicada el 7 de noviembre de 2016.

Moncayo-Eraso, R. J. 2017. Mapeo de la dinámica regional de la transparencia en aguas continentales usando productos de reflectancia MOD09GA. Entramado 13(2):270-276.



- Paredes-Lizama D.E. 2019. Caracterización de residuos y su impacto en el Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz implementando el análisis espacial. Tesis de Maestría. Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río, Veracruz, México. 84p.
- Peralta-Peláez L.A. y P. Moreno-Casasola 2009. Management and restoration of dune lakes in Veracruz, Gulf of Mexico. Springer Nature B.V.
- Ramsar. 2004. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Sistema de Lagunas Interdunarias de la Ciudad de Veracruz [en línea]. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1336RIS.pdf10/12/2020>
- Rivas-Rodríguez, L. y J. F. Alcaide-Orpí, 2017. Transformations of sand surfaces and mangrove swamp vegetation in La Puntilla Beach and Salada lagoon, Santa Fe, Havana, Cuba. Serie Oceanológica (16).
- Sandoval, S., J. G. Escobar-Flores & E. Sánchez-Ortíz. 2020. Inventario de cuerpos de agua de la Sierra Madre Occidental (México) usando SIG y percepción remota. Investigaciones geográficas (102).
- Sarabia-Bueno C. C. 2004. Sistema Lagunar de la Ciudad de Veracruz, México: propuesta de manejo bajo la visión de proyectación y gestión ambiental. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Veracruz, México, 325 p.
- SEMARNAT. 2012. Los Humedales en México. Oportunidades para la sociedad. Cuadernos de divulgación ambiental. Investigación y textos: Patricia Moreno-Casasola Barceló. ISBN.978-607-8246-17-5.



DIAGNÓSTICO SOBRE CONOCIMIENTOS DE HUMEDALES NATURALES, SUS SERVICIOS AMBIENTALES Y USO DE REDES SOCIALES PARA IMPLEMENTAR EDUCACIÓN AMBIENTAL

Aarón López Roldán^{380*}, José Luis Marín Muñiz³⁸⁰ y María Elizabeth Hernández Alarcón³⁸¹

Resumen

Los humedales urbanos son ecosistemas que mitigan los efectos del cambio climático entre otros múltiples servicios ambientales (SA), sin embargo, estos son vulnerables al crecimiento poblacional y a su no integración en la planificación urbana. En Xalapa, Veracruz existen diferentes humedales urbanos, como “el humedal de la Barrera” (HB), en la colonia Homex, el cual actualmente presenta deterioro y alteraciones de flora y fauna. El ecosistema es utilizado para pastoreo, y en menor dimensión para agricultura o hasta como área de relleno o tiradero. Para conocer como la población aledaña identifica o conoce el humedal, este estudio tuvo como objetivo indagar el conocimiento que tienen los habitantes aledaños al HB de Xalapa, Veracruz, México., sobre el ecosistema, sus SA y el uso de redes sociales (RS), estas últimas para identificar si pueden ser un medio adecuado para sensibilizar sobre humedales. Se recolectó información en la Colonia Homex casa por casa aleatoriamente, realizando 40 entrevistas cara a cara (73% mujeres, 27% hombres), de estos, 70% argumentaron desconocer sobre los humedales naturales y 95% desconocer sobre SA, a pesar de que tienen un ecosistema al lado de sus viviendas. Cuando se mostraron las fotos, algunos beneficios como mejor calidad del aire fueron identificados como resultado del HB. Por otro lado, también se detectó que el 97% de entrevistados usan RS y 90% de la población está interesada en participar en un proceso educativo a través de estas. Con el diagnóstico generado se propone la realización de cápsulas educativas (CE), difundidas por RS, para que los habitantes conozcan más sobre el ecosistema. Se resalta que la presencia de moscos o malos olores en el HB, mencionadas como situaciones negativas, en gran medida podrían ser resultado de la ausencia de conocimiento del ecosistema y sus SA. Por lo que, realizar un proceso de educación ambiental tras el diagnóstico resulta pertinente.

³⁸⁰ El Colegio de Veracruz. *aaron.rollescolar@gmail.com

³⁸¹ Instituto de Ecología A.C.



Palabras clave: proceso educativo, concientización ambiental, áreas naturales, áreas verdes

Introducción

Los humedales naturales son ecosistemas de transición, sus condiciones acuáticas y terrestres varían y pueden estar en inundación periódica o permanente. Su estructura ecosistémica se configura por tres zonas: zona acuática (cuerpo de agua permanente o periódica), zona de transición (franja que varía en extensión dada la inundación, aquí se conecta el área acuática y el área terrestre), y la zona terrestre (puede ser continua o discontinua) (Pizón *et al.*, 2012).

Hay humedales naturales que han quedado dentro de la mancha urbana derivado del crecimiento poblacional, propiciando reducción de su territorio (Cortés, 2018), disminuyendo su espacio y especies tanto de flora como fauna. Estos sitios son muy importantes, debido a los SA que proporcionan, por ejemplo, limpian la calidad del aire y el agua, son hábitat de especies que pueden ser fuente de alimento e ingreso de capital, funcionan como almacenadores de agua y carbono coadyuvando a mitigar el calentamiento global, favorecen el ciclo hidrológico, la vegetación evita la erosión del suelo, entre otros (Marín-Muñiz, 2018; Zamora *et al.*, 2020). Sin embargo, algunas tales SA son desvalorizados porque se tienen otras percepciones negativas de tales ambientes (Junca *et al.*, 2022).

Los humedales naturales que se encuentran en zonas urbanas son percibidos de manera negativa, por lo tanto, se ve comprometida la conservación de estos ecosistemas debido a que no hay interés en la restauración y conservación del lugar (Parada *et al.*, 2023). Como se menciona anteriormente, esta es una problemática grave. Las zonas aledañas a humedales perciben a estos ecosistemas como zonas de peligro, malos olores con aguas contaminadas y pueden ser sitios destinados para vertimiento de basura y escombros (Junca *et al.*, 2022), estas características son claramente resultado de actividades antropogénicas y derivadas de desconocimiento sobre la importancia de los humedales.

El vertimiento de basura y escombros dañan de manera considerable el ecosistema alterando sus funciones naturales como la absorción del agua por el suelo. La basura provoca que haya malos olores y generan moscos, sin embargo, la población piensa que la presencia de moscos y mal olor es propio o natural de un humedal. Sumado a lo anterior, tampoco se logra la filtración adecuada por el humedal al tener escombros y estos impedir el proceso de absorción y retención de agua.



Por todo lo anterior, es necesario que se realicen procesos educativos para informar a la población sobre tópicos ambientales, ya que de esta manera se pueden evitar acciones negativas por la población hacia estos ambientes (Severiche-Sierra *et al.*, 2016), modificando no únicamente comportamientos, sino sensibilizando a la población, es aquí cuando es necesaria la educación ambiental (EA).

La EA puede ser un abanico de oportunidades para hacer llegar mensajes a la ciudadanía y lograr que contribuyan a la conservación del medio ambiente (Mitrani, 2022). Igualmente, Mercado (2016) menciona que la EA es un proceso que necesita ser constante y busca integrar a la sociedad para mejorar el planeta, haciendo conciencia de que dañar el ambiente ocasiona peligro de supervivencia. La EA es requerida para ser capaces de hacer cambios y modificar valores, conductas, estilos de vida y conocimiento que coadyuve a mitigar problemas existentes y futuros (Severiche-Sierra *et al.*, 2016).

Para lograr informar a la sociedad sobre el tema descrito, una solución eficiente podría ser a través de las redes sociales (Badillo, 2012; Zambrano y Cuenca, 2019), los cuales son definidos como lugares virtuales en internet, en donde las personas pueden interactuar fácilmente mediante publicaciones (González, 2011; Hutt, 2012). Las tecnologías de información y comunicación actualmente son muy usadas por las personas, es un medio fácil y rápido para difundir información.

López *et al.*, (2021) mencionan que los videos o CE pueden diseñarse con diversas características de audio, imagen y color y en formatos idóneos para favorecer llamar la atención del espectador, por lo que, informar sobre los humedales naturales y los SA que brindan, podría ser una excelente opción.

Pero antes de determinar la forma de generar EA, es importante detectar primero como la población conoce a tales ecosistemas y su interacción con ellos. En este sentido, el objetivo de la investigación es identificar los conocimientos sobre humedales y SA que tienen los pobladores de la colonia Homex, Xalapa, por ser un sitio contiguo al HB de Xalapa, Veracruz, México como un primer paso para posteriormente un proceso de educación ambiental a través de redes sociales.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Este estudio se realizó en Xalapa, Veracruz. El HB se encuentra con un área aproximada de 2.5 ha y se ubica en el Bulevar Lomas de Santa Fe del municipio de Xalapa-Enríquez, a 19 ° 56´ de latitud N y 96 ° 88´ de longitud W (Figura 1a). Este humedal presenta un estado de conservación bajo, por



desconocimiento de la población aledaña y por la falta de atención por parte de las autoridades competentes, aunado a esto, se encuentra perturbado por la constante ampliación urbana y vertimientos de aguas residuales, pastoreo de vacas, vertimiento de escombros para rellenar, y utilización del espacio para cultivos, lo que genera una transformación en el paisaje, afectando directamente la biodiversidad endémica y migratoria de la zona (Junca, 2022).

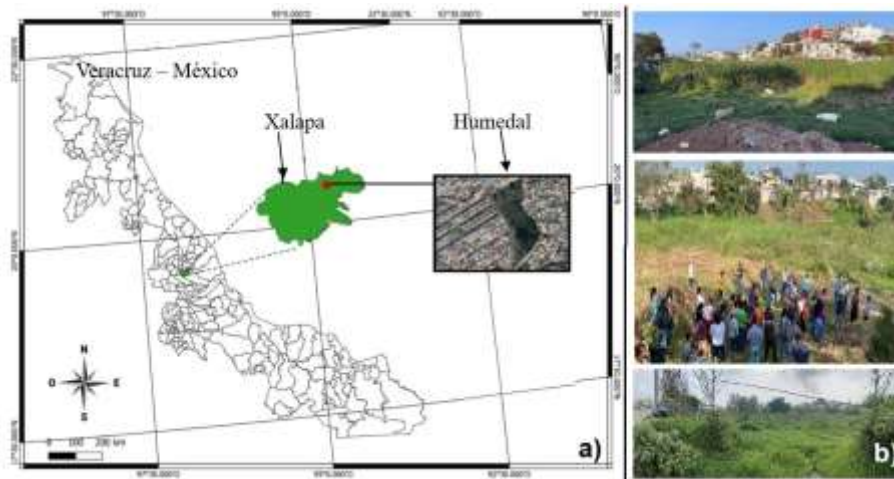


Figura 1. Ubicación de área de estudio. a) Ubicación geográfica, b) fotografías del sitio en su condición actual. Fuente, Modificado de Junca (2022).

Diseño y aplicación de entrevistas

Esta investigación fue realizada con una metodología mixta, donde se aplicó lo cualitativo y cuantitativo. En la primera etapa se realizó una entrevista estructurada en Google Forms, posteriormente se aplicó a los pobladores aledaños al HB, específicamente en la colonia Homex. La entrevista se diseñó con los siguientes apartados: (A) Información personal del entrevistado, (B) Conocimientos sobre humedales urbanos naturales, es importante mencionar que en esta sección se les mostró a los pobladores una imagen (Figura 1b) del humedal con el fin de que ellos supieran de que sitio exactamente se estaba hablando, ya que, a pesar de tenerlo cerca puede pasar desapercibido o ser conocido de diferente forma por la sociedad, (C) Conocimientos sobre SA o ecosistémicos de los humedales, y finalmente apartado (D) sobre uso de redes sociales.

Para el número de entrevistas a aplicar se consideró la metodología propuesta por Rojas *et al.* (2014), en donde la determinación de la población y el tamaño muestra (N), se definió como los habitantes aledaños al humedal, mayores a 17 años debido al uso del celular, por el tema de las RS, sin importar el



género. Mediante INEGI (2020) se revisó la cantidad de hogares para delimitar la zona y obtener el muestreo significativo necesario para las entrevistas. El tamaño de la muestra ($n= 32$) se calculó con la ecuación 1 para obtener poblaciones finitas. Para obtener las 32 personas que accedieran a participar en un posterior proceso educativo por RS, se tuvieron que realizar 40 entrevistas.

$$n \geq \frac{Nz^2_{1-\alpha/2}PQ}{z^2_{1-\alpha/2}PQ + d^2(N - 1)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde n : representa el tamaño de la muestra, N : colonias alrededor (4-5 manzanas alrededor del humedal), Z : es el valor de distribución normal (95%), P : es la proporción de población estimada (70%), d : es la precisión (5%), Q : proporción de resultados desfavorables en la población ($q = 1 - p$).

Los valores mencionados anteriormente son establecidos por la propia ecuación. Las entrevistas se desarrollaron con la técnica cara a cara (Galán *et al.*, 2004), se realizaron de forma aleatoria durante la primera semana de julio 2023 en un horario de 09:00 am a 03:00 pm, con la población aledaña al humedal de la colonia Homex de Xalapa. Los datos se respaldaron en archivo Excel. La información de la sección C, respecto al porcentaje de respuestas fueron analizados con la prueba estadística chi cuadrada (χ^2) con el programa IBM SPSS versión 22 para Windows.

Resultados y Discusión

El hecho de haber detectado que la mayoría de la población entrevistada fueron mujeres (73%) y solo el 27% hombres, pudo deberse al horario en el que se realizó el trabajo de campo, normalmente los hombres se encuentran desarrollando sus actividades laborales en estos horarios, mientras que la mujer asume la mayor parte del cuidado de los niños, familia y el hogar (Clancy, 2007), por lo tanto, al tocar puertas en la Colonia, se encontró mayormente a mujeres en sus hogares, cabe señalar que diversas mujeres externaban tener poco tiempo para la entrevista por las labores del hogar.

La mayoría de la población entrevistada (40%) cuenta con preparatoria cursada, 25% son universitarios, 17% tiene estudios de secundaria, 15% de primaria y el 3% mencionaron que no tenían estudios, tomando esto en cuenta, podría considerarse que, si hubiera conocimientos sobre el ecosistema o conocieran algunas características de los humedales, ya que estos temas se encuentran dentro de los libros de educación básica. Pérez, (2017) menciona que las ciencias naturales vistas en



nivel secundaria integran asignaturas que en conjunto estudian objetivos, fenómenos y procesos de la naturaleza. Por otro lado, Jaimes, (2022) menciona que en México a lo largo de los años se han incluido diversos contenidos para explicar el mundo en donde vivimos en los programas y planes de estudios de educación básica. Entre los diversos tópicos, se encuentran temáticas sobre humedales naturales.

En cuanto a la ocupación de los entrevistados (Figura 2) se observó que el 37.5% de la población entrevistada es ama de casa, es la población con el mayor porcentaje de ocupación. El 22.5% fueron estudiantes, en las entrevistas mencionaron que se encuentran en alguna licenciatura. El 17.5% es empleado de algún trabajo no formal, es decir, no siempre tiene alguna actividad por desarrollar. El 15% es comerciante, generalmente de tiendas o puestos alrededor del humedal.

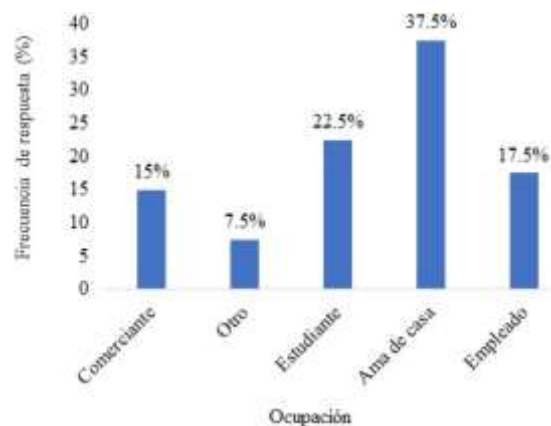


Figura 2. Datos de respuesta sobre la ocupación principal de los entrevistados.

Cuando a los entrevistados se les cuestionó si es que visitaban el humedal, se detectó que un 75% de la población no visita al sitio, únicamente pasa por ahí porque les queda de camino, las personas mencionan que no es importante para ellos el sitio, ya que, “*solo es un lugar con mucho pasto y generalmente hay moscos*” (entrevistado). Cabe recalcar que el pasto es una especie que posiblemente fue sometida para quienes tienen ganado vacuno, ya que con frecuencia se observan cavas en el terreno (Figura 1b), lo cual ha favorecido la invasión de este por varias áreas del humedal, y que si no se controla puede saturar el área impidiendo el crecimiento de especies típicas de humedales. En el caso de los moscos, puede ser resultado de basura y descargas de aguas residuales que llegan hasta el ecosistema, pero que actualmente la población no identifica como algo ajeno a los humedales, resultado de sus propias malas acciones, sino como algo común del humedal.



Es necesario que la sociedad conozca más sobre el ecosistema, lo desvalorizan y no lo consideran importante, sin embargo, los humedales que se encuentran en zonas urbanas o periurbanas también son muy importantes en la mejora de la calidad del aire (Parada *et al.*, 2023) y agua, control de inundaciones, reposición de aguas subterráneas, recreación y turismo, mitigación del cambio climático (Florez, 2015), etc. Sin embargo, estos aspectos no son identificados aún por la población.

El 5% de la población que mencionó visitar el sitio, mencionan que lo hacen porque les gusta estar entre la naturaleza y les gustaría que se realizaran acciones para mejorar la apariencia y regresar a las condiciones que tenía el ecosistema hace algunos años, cuando aún había diversidad de animales y plantas. El 20% mencionaron nunca haber visitado el humedal.

Cuando se abordó el cuestionamiento sobre si resulta benéfico tener el humedal en su colonia, se encontró que el 80% de los entrevistados si considera que es benéfico (Figura 3a), mencionan que en el humedal hay árboles y que estos proveen sombra y hacen el lugar fresco. También que en este ecosistema se capta agua cuando llueve, los pobladores observan que hay vegetación y esta es muy importante para los seres humanos. Por otro lado, otras personas contestaron que es benéfico siempre y cuando se limpie el lugar, ya que, actualmente no presenta buenas condiciones. Algunos entrevistados mencionan que el humedal es bueno porque proporciona alimento para el ganado, muchos humedales son utilizados como áreas de pastoreo de ganado (Parada *et al.*, 2023), pero no es lo óptimo.

El 20% de la población (Figura 3a) mencionaron que no es benéfica la presencia del humedal porque el ecosistema es muy húmedo y atrae muchas enfermedades, porque hay niños en casa y es peligroso el sitio y hay insectos, también mencionan que está descuidado, abandonado y feo.

En la Figura 3b se puede observar que un 45% de los entrevistados han observado cambios en el humedal, derivado de actividades antropogénicas hay extinción de especies de flora y fauna, con el tiempo cambia la calidad del agua, está contaminada (Junca *et al.*, 2022). Los habitantes mencionan que antes el humedal era más grande, con la urbanización el territorio ha disminuido, actualmente algunas personas lo utilizan como basurero (tiran desechos y animales muertos), había tortugas y ahora no, comentan que algunas personas lo quieren rellenar, ya casi no tiene agua el sitio y finalmente comentaron que hay mucho crecimiento de hierba. El 55% (Figura 3b) mencionaron que no han observado cambios en el humedal, se observa una falta de interés por parte de la población aledaña, es importante recordar que estos ecosistemas anteriormente en diferentes grupos o civilizaciones eran considerados parte de su cultura (Florez, 2015), sin embargo, actualmente estas características



socioculturales se han modificado por diversos factores, principalmente por el desconocimiento de los humedales y el beneficio que proveen en sus SA.

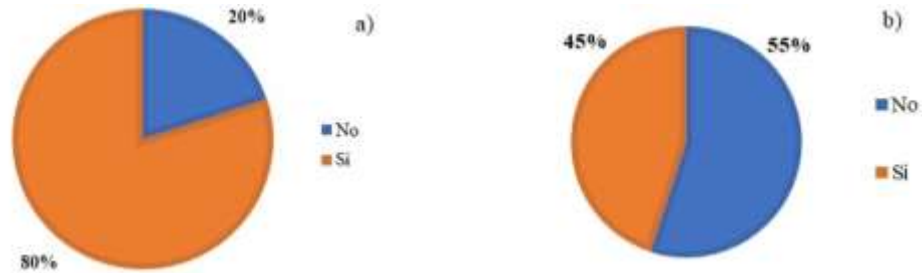


Figura 3. Datos de respuesta sobre si los entrevistados consideran benéfico la presencia del humedal en su zona (a), y sobre si estos han notado cambios en el humedal (b).

A los pobladores aledaños al humedal se les cuestionó sobre que animales habían visto en el humedal, (Figura 4a) se detectó que hay fauna que no debería estar en el ecosistema como vacas, perros, chivas y caballos. Derivado de la ganadería se observa una fuerte desecación en los humedales, emigran algunas especies y hay una fuerte modificación de hidro-periodos, sin olvidar la pérdida del ecosistema (Florez, 2015). Por otro lado, la mayoría comenta que no hay ningún animal habitando en el humedal. En la Figura 4b se representa la flora que los habitantes han observado en el humedal, gran parte menciona únicamente el pasto, ya que, este lo utilizan para el ganado. Muchos mencionan que no saben porque no han observado el humedal.



Figura 4. Nube de palabras en forma de gotas sobre fauna (a) y flora (b) observada en el humedal.

Los habitantes mencionan que hay una parte en el ecosistema donde hay árboles, sin embargo, estos con el tiempo han sido talados, actualmente ya quedan pocos. Una parte del humedal la utilizan como



zona de agricultura. Es muy poca el área con Tule (*Typha* spp.) y mencionan que hay unas plantas conocidas como colas de caballo (*Equisetum* spp.). La vegetación nativa del humedal es importante, retiene sedimentos y nutrientes que son trasladados principalmente por escorrentía, la vegetación extrae los nutrientes (Marín-Muñiz, 2018), pero es desconocido.

Por otro lado, y con la intención de conocer más a detalle el conocimiento sobre humedales y sus SA por la población, se realizaron algunas preguntas para detectarlo (Cuadro 1), las primeras 8 preguntas fueron respondidas con porcentajes de respuestas negativas significativamente mayores ($p \leq 0.05$) al porcentaje de respuestas positivas, demostrando el desconocimiento de los SA de los humedales.

Cuadro 1. Conocimiento sobre humedales y sus SA o ecosistémicos.

Cuestionamiento	Respuestas (%)			p (χ^2)
	“sí”	“no”	no sé	
¿Ha escuchado hablar sobre los humedales?	30 ^b	70 ^a	---	0.003
¿Sabe que es un SA o ecosistémico?	5 ^b	95 ^a	---	0.005
¿Los humedales proporcionan SA?	5 ^b	2 ^c	93 ^a	0.001
¿Cree que hay relación entre humedales y calentamiento global?	15 ^b	7 ^c	78 ^a	0.001
¿Sabe si los humedales almacenan carbono?	13 ^b	2 ^c	85 ^a	0.004
¿Cree que los humedales evitan problemas de inundación?	30 ^b	12 ^c	58 ^a	0.003
¿Cree que los humedales mejoran la calidad del agua?	33 ^b	2 ^c	65 ^a	0.003
¿Cree que los humedales naturales son proveedores de vegetación aprovechable para crear artesanías?	23 ^b	12 ^c	65 ^a	0.001
¿Cree que los humedales mejoran la calidad del aire?	70 ^a	2 ^c	28 ^b	0.001
¿Cree que en los humedales deben descargarse aguas negras?	10 ^b	85 ^a	5 ^c	0.002
¿Cree que los humedales funcionan como sitios recreativos?	68 ^a	22 ^b	10 ^c	0.001
¿Cree que los humedales captan y retienen agua?	50 ^a	---	50 ^a	0.485

El 70% de la población no ha escuchado hablar sobre los humedales, por lo tanto, no hay importancia en su conservación. Así mismo, el 95% mencionó que no sabe que es un SA, o si los humedales proveen de SA (93%). Los conocimientos que tiene la población sobre los humedales son un factor clave para su preservación (Jaimes, 2022), y en este caso, claramente hay un desconocimiento total del tema. Marín-Muñiz *et al.* (2016), encontraron que pobladores aledaños a un humedal en Monte Gordo,



Veracruz tampoco identificaban los SA, sin embargo, resaltaron que el humedal les provee recursos como agua, peces, plantas para diversos usos, etc., significando que los pobladores hacen uso de SA, aún desconociendo el término o no lo han ligado a la presencia del ecosistema. El problema en el HB, es que la población no interactúa con el ecosistema y desconoce su importancia local, regional y mundial.

Lo anterior se suma a que también se detectó que el 78% de los entrevistados piensan que el humedal no tiene ninguna relación con el calentamiento global, sin embargo, los humedales contribuyen notablemente a su mitigación (Florez, 2015). Se detectó que el 85% de la población no sabe si los humedales almacenan carbono en su vegetación y suelo. Estos sitios contienen grandes cantidades de carbono (Zamora *et al.*, 2020). Se detectó que un 58% no sabe si los humedales evitan problemas de inundación, y un 12% menciona que no, sin embargo, los suelos de humedales sanos, por sus condiciones físicas logran la acumulación de agua de manera temporal o permanente (Vilardy *et al.*, 2014), dependiendo la temporada.

Así mismo, 65% de la población no sabe si los humedales mejoran la calidad del agua, siendo que la depuración del agua se logra mediante la fitorremediación, y microorganismos del suelo y plantas que retienen nutrientes (Florez, 2015). El 65% desconoce si los humedales son proveedores de vegetación aprovechable para crear artesanías, al no haber información y el escaso acceso a ella son motivos del desconocimiento (Parada *et al.*, 2023) de diversos tópicos ante los humedales y sus SA.

Los SA reconocidos por los entrevistados al observarse porcentajes de respuesta positivos significativamente mayores respecto a los porcentajes de respuesta negativos fueron cuando se observó que un 70% de los entrevistados si perciben y saben que los humedales mejoran la calidad del aire ($p=0.001$). También se detectó que el 85% de los entrevistados mencionan que los humedales son sitios donde no se deben descargar las aguas negras ($p=0.05$), sin embargo, son los ecosistemas más amenazados, afectando significativamente la integridad de estos espacios (Cortés, 2018; Parada *et al.*, 2023). De igual manera se reconoció en un 68% de los entrevistados qué si creen que los humedales son espacios para realizar actividades recreativas, sin embargo, en Xalapa no las realizan los habitantes aledaños por la mala condición del ecosistema. Debido a la biodiversidad algunos países le apuestan al turismo sostenible haciendo grandes inversiones en parques de humedales, Australia es un ejemplo (Florez, 2015).

Por otro lado, no hubo diferencias estadísticas ($p=0.485$) entre respuestas positivas (50%) y negativas (50%) respecto a si los humedales captan y retienen agua, indicando la importancia de que aprendan



sobre ello. Anteriormente, los humedales eran sitios usados para extraer agua (Cortés, 2018), de hecho, los humedales tienen una relación con el nivel freático, las aguas subterráneas y los acuíferos, desempeñan un papel esencial al regular el nivel hídrico subterráneo en épocas de escasez (Marín-Muñiz, 2018).

Por otro lado, al indagar en el uso de redes sociales, se encontró que el 97.5 utiliza WhatsApp, el 75% utiliza Facebook, el 55% ve videos en YouTube, únicamente el 10% de la población utiliza Twitter. El 35% utiliza TikTok y finalmente 17.5% tiene Instagram. Por lo anterior, se considera que la red social que se utilizaría como medio de comunicación para compartir videos sería WhatsApp. La accesibilidad a la información en RS puede ser rápida y fácil (Guzmán y López, 2019), por lo que utilizar las nuevas tecnologías resulta viable para difundir información.

Respecto al interés de aprender sobre los humedales, se detectó que al 93% de la población si le gustaría hacerlo (Figura 5a), a pesar de que comúnmente los ecosistemas en zonas urbanas son percibidos de manera negativa (Parada *et al.*, 2023), como también se detectó en este estudio.

Se encontró también que 42% de las personas les gustaría ver videos con un tiempo máximo de 3 minutos, sobre todo si este es muy interactivo y les llama mucho la atención. Es importante que la CE sea interactiva y didáctica (Guzmán y López, 2019) para retener al espectador (Figura 5b). Por otro lado, se encontró que 82% prefiere ver un video tipo blog, es decir, con una persona explicando en el ecosistema diversos tópicos, Jaimes, (2022) expresa que es necesario que la sociedad desarrolle habilidades para comprender y analizar los problemas socioambientales que se suscitan, sin embargo, se piensa que es necesario concientizar e informar a la población para lograr algún cambio ante los problemas socioambientales (Figura 5c).

En la Figura 5d se muestra que se detectó que el 97% de los entrevistados si seguiría una RS para ver contenido relacionado con los humedales, es importante que las personas sean analíticas, críticas, responsables, aprendan y reflexionen sobre el impacto que tienen sus acciones en la naturaleza (Jaimes, 2022), ya que, el HB se encuentra en un estado deteriorado, por la falta de interés y conocimiento de la población en general. La recuperación y conservación de los humedales urbanos naturales permitiría contar con espacios idóneos para desarrollar actividades recreativas y pasar tiempo en familia.

El 90% de los entrevistados proporcionó su número para poder crear un grupo de WhatsApp y llevar un seguimiento de CE para conocer diversos tópicos de humedales naturales, lo cual confirma su interés. Mencionan también que están interesados en recuperar y conservar el ecosistema. Parada *et al.*, (2023)



indican que la sociedad es muy importante ante la conservación de estos ecosistemas, porque su conocimiento y percepción influye en la toma de decisiones.

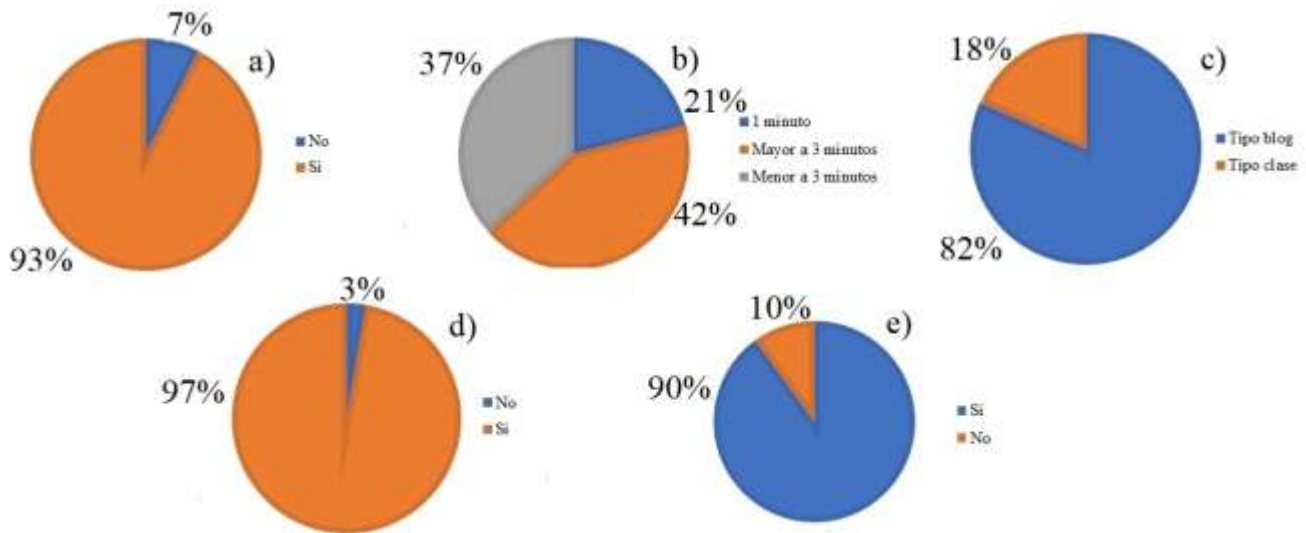


Figura 6. Frecuencia de respuestas sobre la estrategia de EA con RS (%). Les gustaría ver videos sobre la importancia del HB (a), con qué duración prefiere ver los videos (b), qué tipo de video prefiere (c), seguiría una RS para ver contenido de humedales (d) y cantidad de entrevistados que proporcionó número para crear grupo de WhatsApp (e).

Conclusiones

1. Se identificó escaso conocimiento sobre lo que es un humedal y sus SA entre los pobladores aledaños al humedal de la colonia Homex de Xalapa, Veracruz.
2. Aunque se desconoce el término SA, la limpieza del aire, frescor de las plantas y retención de agua fueron algunos SA identificados.
3. Los entrevistados si utilizan diversas RS, preferentemente WhatsApp, el cual podría ser un medio adecuado para proveer de CE en pro del ecosistema.
4. La población mostró interés en participar en un proceso educativo en relación con el HB y accedieron en proporcionar su número celular para posteriormente realizar el proceso educativo, lo cual es un indicativo del interés.
5. Los habitantes prefieren que una persona en el ecosistema les explique en las CE los diversos tópicos.



6. Con el diagnóstico realizado, se puede empezar a planificar el proceso educativo a través de RS sobre humedales naturales urbanos.

Literatura Citada

Badillo, M. E. 2012. Propuesta de comunicación y educación ambiental a través del Facebook y el uso de narrativas digitales. *Entramado* 8(1):128-139.

Clancy, S. 2007. ¿Por qué no hay más mujeres en la cima de la escala corporativa: debido a estereotipos a diferencias biológicas o a escogencias personales? *Revista Latinoamericana de administración* 38:1-8.

Cortés, L. A. 2018. Aproximación al paisaje de los humedales urbanos de Bogotá dentro de la estructura ecológica principal de la ciudad. *Cuadernos de geografía: revista colombiana de geografía* 27(1):118-130.

Galán, I., F. Rodríguez-Artalejo y B. Zorrilla. 2004. Comparación entre encuestas telefónicas y encuestas cara a cara domiciliarias en la estimación de hábitos de salud y prácticas preventivas. *Gac Sanit* 18(6):440-450.

González, R. 2011. Reseña de “La empresa en la Web 2.0” de J. CELAYA. *Revista galega de economía* 20(1):1-3.

Guzmán, B. J. y E. L. López. 2019. Redes sociales y su utilidad en la educación ambiental promoción y divulgación informal. *Horizontes* 12(3):249-266.

Florez, G. Y. 2015. Servicios ecosistémicos y variables socioambientales determinantes en ecosistemas de humedales altoandinos. Sector el ocho y paramo de letras Manizales Colombia. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas* 1:173-179.



Hutt, H. 2012. Las redes sociales: una nueva herramienta de difusión. *Reflexiones* 91(2):121-128.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2020. Censo de población y vivienda.

Jaimes, K. L. 2022. La educación Ambiental en el nivel primaria: plan y programas de estudio, acciones y Covid-19. *Diálogos sobre educación* 24:2-18.

Junca, D. A. 2022. Diagnóstico y gestión socioambiental de tres humedales urbanos para su conservación y obtención de servicios ambientales en el municipio de Xalapa, Veracruz, México. Tesis de Maestría. El Colegio de Veracruz, Xalapa Veracruz, México. 169 p.

Junca, D. A., M. E. Hernández y J. L. Marín. 2022. Percepciones sobre la importancia de los servicios ambientales del humedal urbano molinos de San Roque de Xalapa, Veracruz, México. *J. Bas. Sci.* 8(23):154-161.

López, A., J. L. Marín y S. A. Zamora. 2021. Aspectos ingeniantes para lograr divulgación científica mediante redes sociales. *Revista Ingeniantes* 2(2):11-17.

Mercado, R. 2016. El cuidado del medio ambiente, una cuestión ética. *Sincronía* 69:20-31.

Marín-Muñiz, J. L., M. E. Hernández, E. Silva y P. Moreno-Casasola. 2016. Percepciones sobre servicios ambientales y pérdida de humedales arbóreos en la comunidad de Monte Gordo, Veracruz. *Madera y Bosques* 22(1):53-69.

Marín-Muñiz, J. L. 2018. Humedales, Riñones del Planeta y Hábitat de Múltiples Especies, Xalapa, Ver; México, Editora de Gobierno del Estado de Veracruz. 96 p.

Mitrani, N. 2022. TikTok como medio de comunicación ambiental del ministerio del ambiente del Perú para llegar al público joven limeño. Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima. 46 p.



- Parada, M., B. I. Montes, J. Jiménez, J. Cervantes, P. C. Parada y V. Torres. 2023. El humedal como depurador de agua y percepciones sociales: caso parque Molino de San Roque, Xalapa. *Universita Ciencia* 30:163-176.
- Pérez, M. E. 2017. El proceso de enseñanza – aprendizaje de las ciencias naturales en la secundaria básica. *VARONA*, revista científico – metodológica 65:1-7.
- Rojas, O., K. Sáez, C. Martínez, y E. Jaque. 2014. Post-catastrophe social-environmental effects in vulnerable coastal areas affected by the tsunami of 27-F 2010 in Chile. *Interciencia* 39(6):383–390.
- Severiche-Sierra, C., E. Gómez-Bustamante y J. Jaimes-Morales. 2016. La educación ambiental como base cultural y estrategia para el desarrollo sostenible. *Telos* 18(2): 266-281.
- Vilardy, S. P., Ú. Jaramillo, C. Flórez, J. Cortés-Duque, L. Estupiñán, J. Rodríguez, *et al.* 2014. Principios y criterios para la delimitación de humedales continentales: una herramienta para fortalecer la resiliencia y la adaptación al cambio climático en Colombia. Editorial instituto de investigación de recursos biológicos Alexander von Humboldt. 86 p.
- Zambrano, A. R. y M. M. Cuenca. 2019. Influencia de las redes sociales en los jóvenes del bachillerato de la concordia. *Revista Científica Mikarimin* 4(1):107-119.
- Zamora, S., L. C. Sandoval-Herazo, G. Ballut-Dajud, O. A. Angel-Coronel, E. A. Betanzo-Torres y J. L. Marín-Muñiz. 2020. Carbon fluxes and stocks by mexican tropical forested wetland soils: a critical review of its role for climate change mitigation. *Int. J. Environ Res. Pub. Health*. 17:1-13.



CLÚSTER ESTRATÉGICO, AGROPECUARIO E INDUSTRIAL CENTRO – VERACRUZ

Edgar Nicolás Tivo Fernández^{382*} y Federico Gabriel López Medel³⁸²

Resumen

El objetivo de este trabajo es la conformación de un Clúster Estratégico que, aprovechando la infraestructura de los sectores económicos, así como las demandas de análisis de factibilidad que se han realizado por esta empresa en los últimos años, posibiliten consolidarlo, como los ejemplos que se han implementado en zonas desarrolladas del país con clústeres de: tecnología de información, aeroespaciales, automotrices, construcción e inmobiliaria, dispositivos médicos, electrodomésticos, servicios financieros, telecomunicaciones y otros. Norteamérica, es el mercado más grande del mundo (Canadá, EE. UU. y México), según análisis de referencias y tendencias tecnológicas y económicas, que se han presentado por la pandemia del COVID, el Nearshoring (Relocalización de empresas como fuente de suministros), es ya una realidad. La zona Centro de Veracruz, por el momento carece de infraestructura Industrial, la cual en su conformación demandará espacios adecuados, además de servicios y bienes de consumo, que en su implementación se requerirán para conformar un corredor industrial adecuado.

Un clúster es un grupo integrado de empresas en su ramo geográficamente aproximadas, apoyadas por Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior y Técnica que les proveen productos y servicios, que con base en su integración generan ventajas competitivas. La base es la Prospectiva Estratégica, que es un proceso sistémico que analiza el estado actual y las perspectivas de progreso científico y tecnológico para identificar áreas estratégicas de crecimiento económico en zonas específicas, según las características del entorno y su oferta empresarial. Entre los Análisis Factibilidad realizados para identificar las áreas estratégicas de crecimiento en el Centro de Veracruz se encuentran: a) Recolección y potabilización de agua de lluvias, b) Sistema de preclasificación e industrialización de basura, c) Producción de combustibles líquidos con plásticos (por pirólisis), d) Sistemas de tratamiento de aguas residuales y basura orgánica por Biodigestión, e) Industrialización de Pollinaza (excretas

³⁸² PROCAZUCAR, S.A. DE C.V., *ntivo@procazucar.com.mx



avícolas), para producción de alimento ganado, fertilizantes y cogeneración eléctrica, f) Producción Aceite esencial y Jugo concentrado de Limón Persa, g) Producción de Ácido Láctico de Caña de Azúcar, y h) Agro-desarrollo - industrialización-producción de CBD de Cannabis (aceites y pasta de cannabis).

Palabras clave: clúster, diversificación, prospectiva estratégica

Introducción

El Centro del Estado de Veracruz, se caracteriza por sus sectores productivos. En el sector primario es el primer productor a nivel nacional en diversos productos tales como caña de azúcar, con 11 ingenios que producen 13 millones de toneladas de Caña de Azúcar (24% de la producción nacional); carne de pollo (11% de la producción nacional), y limón persa; Veracruz es el segundo estado productor de Café (25% de la producción nacional) y aproximadamente el 80% de ese café se produce en la zona centro del Estado. En el sector secundario es el primer productor a nivel nacional de productos como la azúcar y melazas: 1.43 Millones de toneladas de Azúcar (24% de la producción nacional) y 500 mil toneladas de melaza; alcohol con 5 destilerías que producen 250 MM litros; y panela; Además de las industrias productora de café (grano y polvo), café soluble, acero –fundiciones, laminado y perfiles-, maquinaria y equipos industriales, cemento, cal, plásticos, cerveza, bebidas – alimentos, alimentos para animales, etc. En el sector terciario, la zona mantiene una de las principales flotas de transporte de carga a nivel nacional y centros de distribución mayorista en comercio agroindustrial; así como empresas especiales de construcción, implementación de proyectos de inversión, comercio, educación, centros de investigación, centros de entretenimiento, diversión, hospedaje y una amplio y tradicional desarrollo de oferta de alimentos (restaurantera y centros de producción). Resaltando la infraestructura deportiva, hotelera y de hospedaje. Así como servicios soporte como despachos jurídicos, contables, de servicios especializados y de capacitación y oferta tecnológica.

La herramienta que empresarialmente adoptamos para establecer las perspectivas de crecimiento es el análisis de prospectiva estratégica, el cual analiza el estado actual y las perspectivas de progreso científico y tecnológico para identificar áreas estratégicas de crecimiento económico en zonas



específicas, según las características del entorno y su oferta empresarial actual y las posibilidades de adición de valor mediante la diversificación.

Todo esto sustentado en las principales aportaciones de Robert Solow (Nobel 87), donde establece que “el crecimiento de una economía se debería basar en la gestión de la oferta, la productividad y la inversión, y no en el resultado exclusivo de la demanda” y que “la variable económica trascendente en el crecimiento de las economías desarrolladas es la tecnología”.

Considerando que el agro-sector de mayor trascendencia económica en la zona es el azucarero; que los últimos 6 años el consumo per cápita de azúcar ha disminuido notablemente; que Veracruz es el estado de mayor producción de Azúcar a nivel nacional (38%) y que la zona centro del estado concentra el 24% de la producción (Cuadro 1). El enfoque de diversificación contempla en la producción de azúcar de caña y también en la diversificación de cultivos alternativos y otros proyectos laterales.

Cuadro 1. Evolución del Consumo Per Cápita de Azúcar de 2016 a 2022 (Total edulcorantes, Calóricos, Azúcar, Jarabe de maíz alta fructosa, Edulcorantes Alta Intensidad).





Origen de la Prospectiva Estratégica

Dentro de este marco, surge la teoría de Berger (2010), quien define la prospectiva estratégica como “la ciencia que analiza el futuro para entenderlo e influir en él”. Es decir, que la propuesta de Berger establece sus bases en la transformación del presente.

Berger planteó la prospectiva como estudio de los porvenires posibles y verificables, como disciplina de la comprensión anticipada y la imaginación creativa, no sólo como deducción del futuro a partir de las tendencias presentadas en el pasado y de sus respectivas progresiones. Asociada a la acción directa, su interés principal es el diseño de estrategias de intervención que hagan frente a las amenazas y optimicen el aprovechamiento de las oportunidades surgidas.

Sus bases fundamentales son: a) Identificar y proyectar tendencias, b) La competencia y c) La innovación tecnológica; en tanto que sus conceptos clave para entender y establecer la prospectiva estratégica son: a) Prospectiva, b) Previsión, c) Identificar y proyectar tendencias, d) La competencia, e) La innovación tecnológica, f) Impacto económico, g) Planificación, y h) Estrategia.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en Córdoba durante los meses de enero y febrero del 2022, con base en una invitación del FIVER (Fondo de Inversión Veracruz), a un análisis realizado por la FUMEC (Fundación México, Estados Unidos para la Ciencia), sobre las posibilidades de inversión y desarrollo en el Centro del Estado. Este estudio, fue solicitado por el Gobierno del Estado de Veracruz y mantuvieron participación, organismos empresariales de la zona y del estado. Con apoyo de los participantes en información sobre las condiciones económicas de los sectores en la zona, se concluyó que la principal agroindustria en la economía era la de la Caña de Azúcar, sobre la del Café, avícola y otras.

La presentación final, solo contempló las condiciones de operación de esta agroindustria, así como la del café, avícola, limón mango y fertilizantes, metalmecánica y otras, sin observar alternativas ni proponer perspectivas estratégicas.

En razón, al final de la presentación del impacto económico de cada una las actividades económicas de la zona, nuestra propuesta fue la creación de un Clúster estratégico.



Se nos dio tiempo de preparar la visión y a finales de marzo del 2022, lo presentamos públicamente en el teatro Pedro Díaz, a organismos empresariales, centros de investigación y centros de educación técnica y superior, de manera simple, sucinta y proponiendo una serie de proyectos que hemos evaluado como empresa en los últimos 7 años.

PROCAZUCAR, es una empresa con 28 años de operación que oferta innovación, ingeniería y tecnologías en proyectos de inversión, desde la parte conceptual, el reporte estudio de factibilidad (que contempla el análisis del mercado y sus tendencias), ingeniería conceptual, básica y detalle, hasta el arranque del proceso -proyectos llave en mano- (Turn-key projects). Entre nuestros clientes se encuentran los principales grupos azucareros del país, Centro y Sudamérica, además de Coca-Cola, Monsanto, Cargill, Ajegroup (embotelladores peruanos) y otros.

Mantenemos convenios de vinculación con el COLPOS Córdoba, UTCV, Universidad Anáhuac, ITESM Monterrey, CICY, Facultad de Química de la UNAM, el Centro Mario Molina, El consejo regulador del Tequila. Participamos en una investigación subvencionada por la Comisión Europea durante 4 años sobre etanol lignocelulósico (acrónimo Babethanol), con 11 países de Europa y América Latina de mayo del 2009 a abril de 2013.

Resultados y Discusión

A la fecha y en función de esto, tuvimos una oferta del FIVER para asociarnos, pero el consejo directivo de la empresa no lo consideró adecuado, estableció que se contemplara realizarlo digitalmente.

Por otro lado, en función de la presentación, en abril de 2022 se propuso un plan piloto al ayuntamiento de Córdoba para captación de agua de lluvia en la Arena Córdoba, así como en una zona de la ciudad para separar drenajes y pre-clasificar basura orgánica para tratarlos con biodigestión, para obtener biometano y biofertilizante, pero no ha habido respuesta. Sin embargo, en el estado de Puebla, Municipio de Coxcatlán tal vez en este año iniciemos con lo comentado.

Hay interés de 3 grupos azucareros del país, de Cargill y de inversionistas de Nuevo León, pero plantean hacerlo en San Luis Potosí y/o en Nuevo León.



Conclusiones

La viabilidad de los proyectos contemplados sobre tratamiento de agua residual y preclasificación de basura, para producir: Bio-gas, Biofertilizante, composta, Diesel (del Pet), mantiene excelentes perspectivas de implementación a nivel nacional.

Por otro lado, los proyectos de industrialización del limón, tratamiento de pollinaza, producción de ácido láctico (como medio de diversificación en la industria azucarera), son altamente rentables y ya hemos desarrollado los reportes estudios de factibilidad para inversionistas nacionales y de EE. UU.

Agradecimientos

Al personal del COLPOS Córdoba, por su apoyo en análisis de materiales y por la disposición para vincularnos en cooperación. Al personal de PROCAZUCAR, por su entrega y dedicación y visión de futuro, lo cual refuerza nuestra fe en el principal recurso de México, que somos los mexicanos.

Literatura Citada

Base de datos PROCAZUCAR 2022-2023 Data analytics.

Berger, 2022. Importancia de las prospectivas estratégicas en las organizaciones para la toma de las decisiones gerenciales. Biblioteca de la CEPAL, Comisión económica para América Latina, prospectiva y desarrollo 2023.

Barnes, L. & G. Lea-Greenwood. (2006). Fast fashioning the supply chain: shaping the research agenda. *Journal of Fashion Marketing and Management* 10 (3) 259:271.

Campaniaris, C., S. Hayes, M. Jeffrey & R. Murray. 2011. The applicability of cluster theory to Canada's small and medium-sized apparel companies. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 15, (1), 8 – 26.



Drucker, P. 1985. Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles. New York, U.S.A.: HarperCollins.

Hauknes, J. 1999. Norwegian input-output clusters and innovation patterns. En OECD, Boosting innovation: The cluster approach (61 – 90). Paris: Autor.

Hernández, C. y R. Montalvo, R. 2012. Clusters empresariales en China y México: Implicaciones para la Competitividad. Revista Globalización, Competitividad y Gobernabilidad 6 (1):55 – 90.

Ibarra, Z. 2012. Modelo de crecimiento económico Solow-swan, resumen e introducción. Revista mexicana de ciencias forestales

Lee, J. & E. Karpova. 2011. The US and Japanese apparel demand conditions: implications for industry competitiveness. Journal of Fashion Marketing and Management 15 (1) 76:90.



DIVERSIDAD ARBÓREA DEL CERRO MACUILTÉPETL EN XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO

Angélica Patricia Figueroa Solís^{383*}, Samaria Armenta Montero³⁸⁴, César I. Carvajal Hernández³⁸⁵,
Ofelia Andrea Valdés Rodríguez³⁸³ y María de los Ángeles Piñar Álvarez³⁸³

Resumen

El Estado de Veracruz es considerado uno de los tres con mayor diversidad en la República Mexicana, por lo tanto, cuenta con gran cantidad de especies a lo largo de su territorio. En la ciudad de Xalapa, se ubica El Cerro Macuiltépetl, un área verde urbana que cuenta con diferentes especies vegetales en un espacio de 31 hectáreas, del que se requiere conocer su diversidad arbórea y la riqueza de estas. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la diversidad y riqueza arbórea, así como la procedencia de las especies de El Cerro Macuiltépetl de la ciudad de Xalapa, Veracruz, utilizando como metodología 10 parcelas de 20 x 20 m que fueron distribuidas alrededor del Cerro, se tomaron en consideración para el trabajo de investigación solamente aquellas especies que tenían como característica un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor a \geq a 5 cm, registrando altura, especie, género y familia; esto para conocer la riqueza del lugar, así como su diversidad. Dentro de los resultados se encontró un total de 335 individuos \geq a 5 cm de DAP, dentro de las que destacan *Clethra mexicana* con 28 individuos, *Piper amalago* con 45 individuos y *Meliosma alba*. Con un 96% en riqueza estimada, de la cual el 4% se encuentra conformado por las especies endémicas como la *Piper melastomoides*, *Ocotea psychotrioides*, 81% en especies nativa, dentro de las cuales destacan *Clethra mexicana*, *Piper amalago*, *Meliosma alba* y 15% en especies exóticas, las cuales ofrecen servicios ecosistémicos para la ciudad de Xalapa, el que se haya encontrado casi el 80% en especies nativas de la región, determina el grado de importancia para llevar a cabo estrategias de conservación, que permitan mantener estas especies a lo largo del tiempo.

Palabras clave: área verde urbana, árboles, especies nativas

³⁸³ El Colegio de Veracruz. *apfigueroas.ddrs22@colver.info

³⁸⁴ El Centro de Investigaciones Tropicales, Universidad Veracruzana.

³⁸⁵ Instituto de Investigaciones Biológicas Universidad Veracruzana.



Introducción

La Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, 2019) menciona que, la diversidad biológica, está disminuyendo muy rápidamente. Esto debido a que en los últimos años las afectaciones antropogénicas han incrementado y afectado no sólo los espacios naturales sino los servicios ecosistémicos (SE) que estos proveen, de acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2022; Pujol-Lereis, 2007). De ahí que, la problemática ambiental sea un tema cada vez más recurrente vinculado a cualquier contexto territorial (Alva-Fuentes, 2018).

En México, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) afirma que el país se encuentra dentro del grupo de los 12 llamados “megadiversos”, los cuales ocupan en extensión el 32 por ciento de la superficie mundial y albergan en conjunto cerca del 70 por ciento del total de especies existentes en el planeta, ocupando el quinto lugar en variedad de plantas y anfibios, el tercero en mamíferos y el segundo en reptiles de todo planeta, convirtiéndose en el quinto país con mayor diversidad (CONANP, 2018; SEMARNAT-CONANP, 2018). Para Burneo (2009) la mega diversidad se refiere al número de especies de distintos grupos taxonómicos como plantas angiospermas, anfibios, reptiles, aves, mamíferos y mariposas.

La biodiversidad que generan los árboles en las regiones proporcionan servicios ecosistémicos como la regulación de la calidad del aire, la mitigación climática, mediante el intercambio de gases, pueden extraer productos químicos de la atmosfera, además de interceptar hasta el 90% de la radiación solar, favorecen la recarga de los mantos acuíferos, disminuye el arrastre de sedimentos y regula la velocidad del flujo del agua, reduciendo las inundaciones y participando en los procesos de purificación de agua, la dispersión de semillas, polinización, control de vectores de enfermedades y plagas, servicios de gran importancia para el Estado de Veracruz (Benítez-Badillo y Welsh-Rodríguez, 2010).

En México, Veracruz es el tercer estado con mayor biodiversidad solo por debajo de Oaxaca y Chiapas (Benítez-Badillo y Welsh-Rodríguez, 2010). Predominan a lo largo del territorio los bosques de coníferas, encinos y los bosques húmedos de montaña, bosque mesófilo de montaña (BMM), así como selvas húmedas, secas y pastizales (INEGI, 2020). De acuerdo con Benítez-Badillo y Welsh, la heterogeneidad topográfica hace que tenga una variedad de suelos y climas que dan como resultado diversas condiciones ambientales y micro ambientales en el territorio veracruzano.



Sin embargo, de acuerdo con Gómez-Pompa *et al.*, (2010) el 70-85% de la vegetación natural del estado de Veracruz se había transformado a suelo para uso agropecuario, convirtiéndose en el estado número uno en pérdida de vegetación natural. En ese mismo tenor la Secretaría de Medio Ambiente del Estado de Veracruz refiere que los cambios de uso de suelo y el crecimiento de la mancha urbana, son algunos de los principales factores que contribuyen a la destrucción y fragmentación de hábitats, afectando de manera irreversible los procesos ecosistémicos de la biodiversidad veracruzana en la actualidad (SEDEMA, 2017).

En la ciudad de Xalapa Capital de Veracruz se ubica un área verde urbana conocida como el Cerro Macuiltépetl, dentro del cual se pueden encontrar remanentes de BMM. La diversidad y riqueza este sitio es importante, porque de acuerdo con Gómez-Pompa, *et al* (2010) se puede localizar diversidad ecológica, biológica y genética que resguarda este espacio natural, garantizando un bienestar y equilibrio en la biosfera.

Autores como Pujol-Lereis (2007) mencionan que la diversidad es un medio a través del cual la humanidad se beneficia, además de que proporciona una estabilidad entre los ecosistemas, que son esenciales para el desarrollo de la humanidad. El Cerro Macuiltépetl al estar inmerso en la ciudad se encuentra aislado y prácticamente fragmentado. Por lo tanto, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018) hace mención que debido a esa alteración antropogénica que tienen algunas zonas, se tienden a perder especies nativas de la región, de ahí la importancia de su conservación. En relación con el Cerro no se conoce la biodiversidad arbórea existente dentro del mismo, por lo que una clasificación y evaluación de la riqueza de esta permitirá determinar su contribución a la biodiversidad de la región. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la diversidad y riqueza arbórea, así como la procedencia de las especies de El Cerro Macuiltépetl de la ciudad de Xalapa, Veracruz.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

La zona de estudio se ubica en el Cerro Macuiltépetl (Figura 1), mismo que se localiza en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Cuenta con 31 hectáreas y fue declarado como Área verde reservada para la recreación y educación ecológica en 1978 (Decreto No. 336 área verde reservada para la recreación y educación ecológica, 1978).

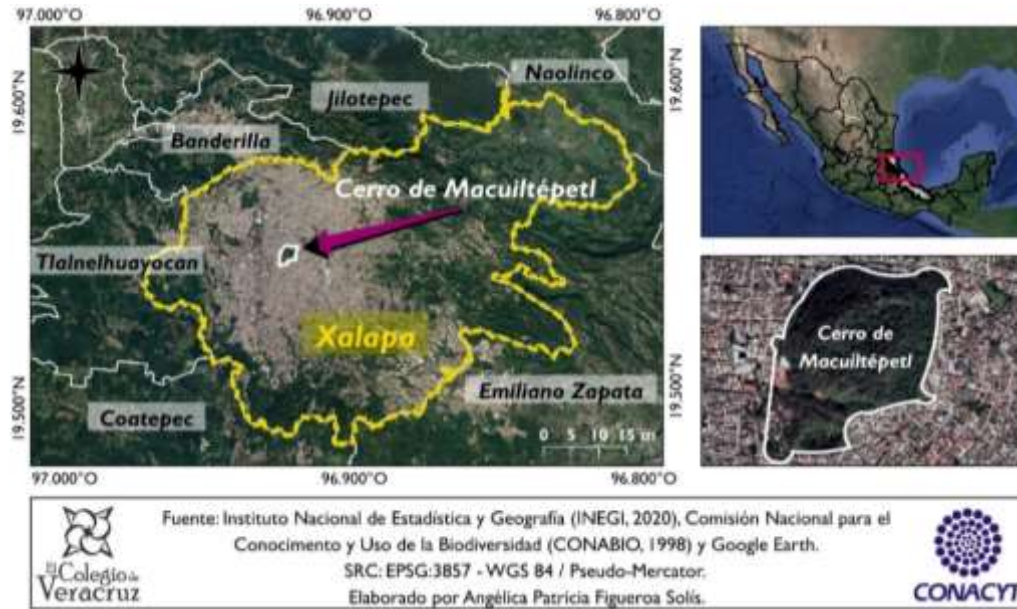


Figura 28. Cerro Macuiltépetl en Xalapa, Veracruz, México.

Muestreo de campo

Para evaluar la diversidad arbórea, se fraccionaron 10 parcelas (20 x 20 m), mismas que fueron distribuidas alrededor del Cerro. Esto con la finalidad de que se tuviera una muestra representativa del sitio y se pudieran obtener datos con mayor certeza, en el área de estudio se consideró a todos aquellos árboles que tuvieran como característica el diámetro a la altura del pecho ($DAP \geq 5\text{cm}$) y que se encontraran dentro de los cuadrantes seleccionados, esto con el apoyo de una cinta diamétrica, además de registrar el DAP y la altura también se registró la especie, genero, familia.

Posteriormente, las especies fueron identificadas con ayuda de claves y comparación con ejemplares de herbario. Se evaluó el esfuerzo de muestreo a través del programa iNEXT. Así como las curvas de rango abundancia y el índice de valor de importancia para conocer la estructura de la comunidad de especies leñosas.

Resultados y Discusión

De las 33 familias localizadas, se hallaron 46 especies ≥ 5 DAP, y se obtuvo un total de 335 individuos, dentro de los que destacan *Clethra mexicana* con 28 individuos, *Piper amalago* con 45 individuos y *Meliosma alba* con 13 individuos (Cuadro 1). Es importante recalcar que dentro de este listado se



encuentran siete especies exóticas como la *Annona cherimola*, *Casuarina cunninghamiana*, *Eucalyptus globulus*, *Eriobotrya japónica*, *Spathodea campanulata*, *Citrus auriantum*, *Syzygium jambos*, que cuentan con gran abundancia.

Cuadro 13. Listado de especies con mayor abundancia localizadas en el Cerro de Macuiltépetl.

No.	Familia	Especie	Procedencia	Estatus
1	Clethraceae	<i>Clethra mexicana</i>	N	
2	Piperaceae	<i>Piper amalago</i>	N	
3	Sabiaceae	<i>Meliosma alba</i>	N	
4	Verbenaceae	<i>Citharexylum caudatum</i>	N	
5	Annonaceae	<i>Annona cherimola</i>	E	
6	Myrtaceae	<i>Eugenia xalapensis</i>	N	
7	Celastraceae	<i>Zinowiewia integerrima</i>	N	
8	Casuarinaceae	<i>Casuarina cunninghamiana</i>	E	
9	Altingiaceae	<i>Liquidambar styraciflua</i>	N	
10	Staphyleaceae	<i>Staphylea insignis</i>	N	
11	Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	E	
12	Rubiaceae	<i>Palicourea padifolia</i>	N	
13	Fabaceae	<i>Frangula capreifolia</i>	N	
14	Araliaceae	<i>Oreopanax xalapensis</i>	N	
15	Platanaceae	<i>Platanus mexicana</i>	N	
16	Rosaceae	<i>Eriobotrya japónica</i>	E	
17	Cupressaceae	<i>Cupressus lusitánica</i>	N	Protección
18	Piperaceae	<i>Piper lapathifolium</i>	N	
19	Betulaceae	<i>Carpinus tropicalis</i>	N	Amenazada
20	Fabaceae	<i>Vachellia pennatula</i>	N	
21	Euphorbiaceae	<i>Cnidioscolus multilobus</i>	N	
22	Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i>	E	
23		<i>Chamaedorea tepejilote</i>	N	
24	Fabaceae	<i>Fabaceae</i>	N	



No.	Familia	Especie	Procedencia	Estatus
25	Rutaceae	<i>Citrus</i>	N	
26		<i>Inga jinicuil</i>	N	
27		<i>Citrus auriantum</i>	E	
28		<i>Randia xalapensis</i>	N	
29		<i>Psychotria</i>	N	
30	Piperaceae	<i>Piper melastomoides</i>	End	
31	Fagaceae	<i>Quercus</i>	N	
32		<i>Solanum umbellatum</i>	N	
33	Lauraceae	<i>Ocotea psychotrioides</i>	End	
34		<i>Cedrela odorata</i>	N	Protección
35	Betulaceae	<i>Ostrya virginiana</i>	N	Protección
36	Lauraceae	<i>Persea</i>	N	
37	Asteraceae	<i>Asteraceae (flor blanca)</i>	N	
38		<i>Desconocido 1</i>	N	
39		<i>Desconocido 2</i>	N	
40		<i>Zanthoxylum</i>	N	
41	Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i>	E	
42		<i>Asteracea</i>	N	
43	Primulaceae	<i>Myrsine coriácea</i>	N	
44	Sapotaceae	<i>Pouteria sapota</i>	N	
45		<i>Cymbopetalum</i>	N	
46	Piperaceae	<i>Piper aduncum</i>	N	

End: Endémica, N: nativa, E: exótica. (A) Amenazadas. (Pr) Sujetas a protección especial.

De acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010, en la integración del listado se consideran como categorías de riesgo las siguientes:

Amenazadas (A): Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto o mediano plazo, si siguen operando los factores que inciden negativamente en su viabilidad, al ocasionar el deterioro o modificación de su hábitat o disminuir directamente el tamaño de sus poblaciones.



Sujetas a protección especial (Pr): Aquellas que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación o la recuperación y conservación de poblaciones de especies asociadas (Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, 2010).

Riqueza y diversidad de especies

Se localizó el 96% en riqueza estimada (Figura 2), de la cual el 4% se encuentra conformado por las especies endémicas como la *Piper melastomoides*, *Ocotea psychotrioides*, 81% en especies nativa, dentro de las cuales destacan *Clethra mexicana*, *Piper amalago*, *Meliosma alba* y 15% en especies exóticas.

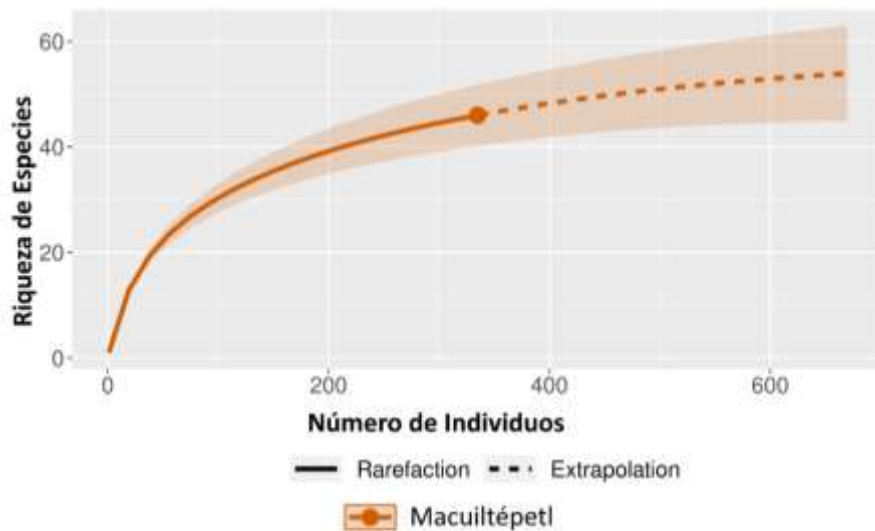


Figura 29. Estimación de la riqueza de las especies en el Cerro Macuiltépetl, Xalapa, Veracruz.

Así mismo, la gráfica de rango abundancia (Figura 3) permite conocer las especies que tienen una mayor abundancia en el Cerro, como, *Piper amalago*, *Eugenia xalapensis* y *Clethra mexicana*, nativas de la región.

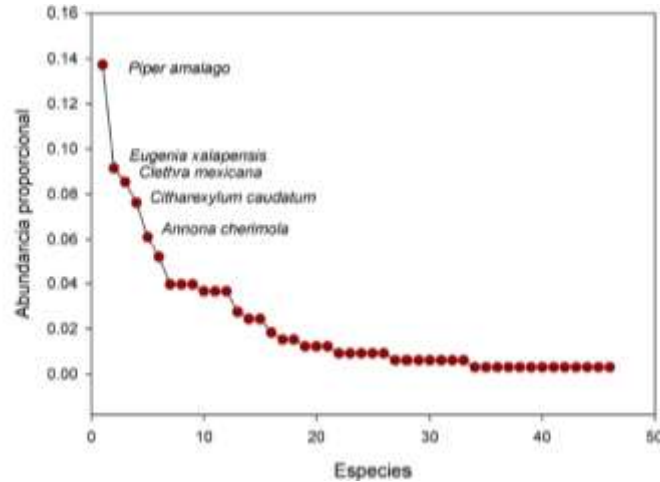


Figura 30. Curva de rango-abundancia de las especies en el Cerro Macuiltépetl, Xalapa, Veracruz.

Encontrar especies endémicas y nativas dentro del Cerro Macuiltépetl es de gran importancia ecológica para el espacio natural. De acuerdo con Benítez-Badillo y Welsh-Rodríguez (2010) las especies endémicas tienen un gran valor por ser exclusivas de ese lugar pero, también son vulnerables y susceptibles de desaparecer. Por lo tanto, es relevante comprender mejor a las especies, su relación con otras y con su entorno, y así saber qué se necesita para protegerlas (Gómez-Pompa *et al.*, 2010).

Los fragmentos de bosque y los corredores biológicos, pueden servir como un medio de protección del bosque nativo y la biodiversidad (Williams-Linera *et al.*, 2007). Las especies nativas reflejan la flora silvestre del Estado (Gómez-Pompa *et al.*, 2010).

En la actualidad varios organismos internacionales, países e instituciones sin fines de lucro están inmersos en la conservación de los recursos naturales. De este modo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2011) menciona que utilizar la diversidad biológica de manera sostenible significa usar los recursos naturales a un ritmo tal que la Tierra pueda renovarlos, para que se pueda asegurar satisfacer las necesidades de las siguientes generaciones presentes y futuras.

Autores como Castillo *et al.*, (2009) hacen hincapié de que en la conservación de los ecosistemas deben de considerar aspectos sociales como parte misma de su permanencia. Siendo necesarias las diversas disciplinas como la economía y los aspectos socioculturales, fundamental para el logro de la protección y restauración de los servicios naturales (López-Santiago, 2019). Por lo tanto, siendo el Cerro Macuiltépetl un espacio natural en medio de la ciudad es necesaria la vinculación con la sociedad para



su conservación. Entonces, el reto que realmente se tiene, es el de conservar los SE a través de procesos sostenibles (CEDRSSA, 2022).

Es importante señalar que, aunque los espacios en los que se encuentren estas AVU sean pequeños, siguen ofreciendo servicios ecosistémicos en menor medida, que pueden adaptarse a la vida en las ciudades (SEDATU, 2019). Por lo tanto, su cuidado, mantenimiento y conservación permitirá seguir conservando esos beneficios para la sociedad que se encuentra inmersa en la urbe.

Dentro de este contexto, De la Barrera y Fernández (2018) mencionan que es necesario el desarrollo de estrategias de conservación de la biodiversidad que aseguren la provisión de servicios ecosistémicos en el largo plazo, como tarea fundamental para generar ciudades más sustentables. Siendo que actualmente el cuidado del medio ambiente ha tomado mayor fuerza los últimos años, la sensibilización de la población hacia el mantenimiento de la biosfera y la problemática ambiental ha generado diversas estrategias hacia la conservación, toda vez que el bienestar de la humanidad depende de la naturaleza (Castillo *et al.*, 2009). Y, son estos espacios naturales esenciales para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) esto de acuerdo con el (IPBES, 2019).

Conclusiones

El Cerro Macuiltépetl es un espacio natural que se encuentra rodeado de la urbe en la ciudad de Xalapa, Veracruz; cuenta con una diversidad arbórea de 46 especies, que en el 81% son nativas de la región, con un índice de riqueza de 96%, y siendo *Pipper amalago* la especie más abundante. Por lo tanto, se considera que El Cerro Macuiltépetl mantiene diversidad de especies nativas de la región, y es importante su conservación y mantenimiento debido a los beneficios naturales que ofrece a la sociedad.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT), por la beca No 1075649 otorgada a la primera autora para realizar sus estudios de doctorado.



Literatura Citada

- Alva-Fuentes, B. 2018. El Desarrollo Urbano Sustentable, ¿Una Utopía o un Proyecto Viable? *Convergencia Revista de Ciencias Sociales* 17:97–114.
- Benítez-Badillo, G., y C. Welsh-Rodríguez. (Eds.). 2010. Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz. Tomo I (1ra. ed). Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.
- Burneo, S. 2009. Megadiversidad. *Letras Verdes, Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*.
- Castillo, A., V. Corral, E. González, L. Paré, M. F. Paz, J. Reyes, J. y M. Schteingart. 2009. Conservación y sociedad. p. 761–801 In CONABIO (Ed.), *Conservación y sociedad, en Capital natural de México: Vol. II.1a ed. CONABIO*.
- CEDRSSA. 2022) *Biodiversidad y sustentabilidad en México*.
- CONANP. 2018. *México Megadiverso*.
- De La Barrera, F. y I. Fernández. 2018. Biodiversidad urbana, servicios ecosistémicos y planificación ecológica: un enfoque desde la ecología del paisaje. p. 115–146. In Universidad Central de Chile (ed.), *Biodiversidad urbana en Chile: Estado del arte y los desafíos futuros*.
- Decreto No. 336 Área Verde reservada para la recreación y educación ecológica, Pub. L. No. 336 (1978).
- Gómez-Pompa, A., T. Kromer y R. Castro-Cortés, R. (eds). 2010. Atlas de la flora de Veracruz un patrimonio natural en peligro. 1a ed. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.



INEGI. 2020. Flora y fauna.

IPBES. 2019. El Informe de la Evaluación Mundial sobre la. www.ipbes.net

López-Santiago, M. A. 2019. The valuation of ecosystem services from the totonac indigenous worldview. *Madera y Bosques* 25(3):1–15.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2011. Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Pujol-Lereis, L. 2007. Biodiversidad y su importancia para la sustentabilidad. *Universidad Abierta Interamericana*, September, 1–7.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2018. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.

SEDEMA. 2017. Programa de Manejo del Área Natural Protegida Archipiélago de Bosques y Selvas de la Región Capital del Estado de Veracruz.

SEMARNAT-CONANP. 2018. 100 años de conservación en México 1917-2017. Áreas Naturales Protegidas.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. 2010.

Williams-Linera, G., A. Guillé-Servent, O. Gómez-García y F. Lorea Hernández. 2007. Conservación en el centro de Veracruz, México. El bosque de niebla: ¿reserva archipiélago o corredor biológico? *Hacia Una Cultura de Conservación de La Diversidad Biológica* 6:303–310.



REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES PARA REPRODUCCIÓN DE ESPORAS DE *Trichoderma* spp. EN SISTEMAS A PEQUEÑA ESCALA

Juan Díaz Vela^{386*}, Blanca Contreras Romero³⁸⁶, María Fernanda Mirón Cortes³⁸⁶, Aurora Vázquez Rodríguez³⁸⁶, Naomi Martínez Martínez³⁸⁶, José Luis Sánchez Hernández³⁸⁶ y Luis Antonio López Escobar³⁸⁶

Resumen

Actualmente, se producen grandes cantidades de desechos agroindustriales a los cuales no se les da un tratamiento adecuado y resultan contraproducentes para el medio ambiente, ya que no pueden utilizarse de manera directa debido al alto contenido de componentes fenólicos, los cuales causan efectos fitotóxicos, provocando disminución del crecimiento o incluso la muerte de las plantas. Para que estos residuos puedan utilizarse deben someterse a un proceso de degradación mediante el cual disminuyan o incluso se eliminen los compuestos causantes de dicha toxicidad. Para darle un uso a estos residuos y evitar que contaminen, se utilizan como sustrato para inocular y reproducir, microorganismos como el hongo *Trichoderma* el cual es capaz de degradar residuos lignocelulósicos y aprovechar la disponibilidad de nutrientes para su crecimiento. Por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad de reproducción de esporas de *Trichoderma* spp. usando residuos agroindustriales lignocelulósicos. Se llevaron a cabo fermentaciones en estado sólido para la reproducción de esporas de *Trichoderma* spp., usando pulpa de café y bagazo de caña como sustratos; para lo cual se utilizaron sistemas de fermentación de 150 mL, inoculados con 1% (p/p) de micelio de *Trichoderma* spp., en 100 g de cada uno de los residuos durante 20 días de fermentación a 32°C. Los resultados demostraron mayor reproducción de esporas usando bagazo de caña que con pulpa de café. De esta manera se demuestra que el bagazo de caña puede ser un sustrato factible para la reproducción de *Trichoderma* spp. con la oportunidad de usarse a gran escala.

Palabras clave: hongos filamentosos, bagazo de caña, pulpa de café

³⁸⁶ Universidad Politécnica de Huatusco. *mtro.juan.diaz240@uphuatusco.edu.mx



Introducción

El uso de especies del género *Trichoderma* ha merecido la atención máxima como agente de biocontrol (Stefanova *et al.*, 1995, 1999; Stefanova, 2000), aunque no se han reportado estudios sobre su potencial como biocontrolador de *Hemileai vastatrix*, a excepción de un estudio preliminar realizado por Rolz (2013). *Trichoderma* es un hongo natural del suelo o de materiales vegetales en estado de descomposición, que se presenta en numerosos suelos de uso agrícola y tiene la capacidad de adaptarse a varios ambientes. Presenta varios mecanismos de acción antagonista que se han demostrado durante años, lo que explica el control microbiano de fitopatógenos con su uso en antibiosis, lisis de células, micoparasitismo, competencia por espacio y nutrientes y persistencia en el medio ambiente.

Uno de los usos que se han llevado a cabo es para el combate de diversos tipos de roya, una enfermedad que sufren algunos cultivos como café, jitomate, caña, entre otros (Martínez *et al.*, 2013).

Trichoderma es uno de los géneros de hongos responsables de la degradación de lignina y celulosa, asociando la capacidad degradadora al crecimiento micelial que permite al hongo transportar nutrientes escasos, como el nitrógeno y hierro, a distancias considerables dentro del sustrato lignocelulósico que constituye su fuente de carbono. Estos hongos también requieren de Nitrógeno en cantidades grandes para la síntesis de enzimas que son necesarias para extraer los nutrimentos del medio (Amaya, 2021).

Trichoderma es un hongo aeróbico, con capacidad para resistir un amplio intervalo de temperaturas, así, por ejemplo, McBeath y Adelman, (1991), aislaron una cepa en suelo de Alaska, con crecimiento a 4°C y que toleró hasta 33°C. La relación entre la temperatura y el desarrollo de *Trichoderma*, al parecer depende de la especie y del propio aislamiento. Se conoce que *T. pseudokoningii* y *Trichoderma saturnisporum* Hammill toleran de 40 a 41°C, las especies *T. koningii* y *T. hamatum*: 35°C y *T. viride* y *T. polysporum*: 31°C, mientras *T. harzianum* hasta 38°C (Danielson y Davey, 1973). Para esta última, en algunos aislamientos la temperatura óptima para el crecimiento fue de 20°C (Knudsen y Bin, 1990), aunque de manera general esta varía entre 25 y 30°C (Rodríguez y Arcia, 1993a). Sin embargo, a 30°C, la actividad antagonista de esta especie fue casi nula (Rodríguez y Arcia, 1993b). Todo lo cual constituyen evidencias de que la temperatura óptima para el crecimiento no necesariamente coincide con la de su actividad antagonista, y que existe estrecha relación entre aislamiento, antagonismo y temperatura.

La luz y su espectro influyen en el desarrollo de *Trichoderma*, fundamentalmente sobre la esporulación. Las colonias del hongo que se desarrollaron bajo condiciones de luz alterna fueron



blancas y algodonosas al inicio y después zonas concéntricas, alternando una banda delgada hialina con otra ancha de color verde oscuro, mientras que bajo la luz continua fueron uniformemente de color verde oscuro (Wells *et al.*, 1972). La luz influye, además, en la producción de metabolitos secundarios (Purschwitz *et al.*, 2006).

Las especies de *Trichoderma* no son exigentes con relación al pH del sustrato. Pueden crecer en suelos con pH desde 5.5 a 8.5 (Besoain, 2005), aunque los valores óptimos se encuentran entre 5.5-6.5, es decir, en un ambiente ligeramente ácido. El desarrollo de *Trichoderma* se activa con la presencia de humedad, con óptimo de 60% de la capacidad de retención de humedad del suelo. A porcentajes mayores de saturación, la colonización y sobrevivencia disminuye por baja disponibilidad de oxígeno. Los aislamientos de *Trichoderma* ayudan a la descomposición de materia orgánica, además de los hongos a los cuales degrada. Se encuentran en suelos con abundante materia orgánica (Arias, 2004) y por su relación con esta, está ubicado en el grupo de hongos hipogeos, lignícolas y predadores (Villegas, 2005).

La reproducción de hongos con residuos lignocelulósicos, en la actualidad es una opción viable, debido a los componentes de que contienen siendo potencialmente metabolizables (Amaya, 2021).

De la agroindustria cañera se obtienen toneladas de residuos como el bagazo de caña, siendo un subproducto al cual no se le da el tratamiento adecuado para ser reutilizado. El bagazo es el residuo fibroso, considerado también como material lignocelulósico, que queda de la caña después de ser exprimido y de pasar por el proceso de extracción, presenta características óptimas para el aprovechamiento en otra cadena de producción o como alternativa de tratamiento o recuperación de algún medio contaminado (Amaya, 2021; Bautista *et al.*, 2018).

Del mismo modo, se encuentra la pulpa de café, ya que es un residuo que se genera durante el beneficiado de cereza de café, y debido a su cantidad de carbohidratos se convierte en un residuo atractivo para ser utilizado en fermentaciones en estado sólido.

Es por ello que, se pretenden utilizar residuos agroindustriales como fuente de carbono para la producción de este tipo de hongos, reduciendo los costos de los medios de cultivo comerciales, se le da valor a un subproducto, y con ello se disminuye su impacto ambiental.



Materiales y Métodos

Obtención y acondicionamiento de fuentes alternas de carbono

Se utilizó bagazo de caña de un trapiche localizado en la localidad del Ocote, Huatusco, Ver., y pulpa de café obtenido de un beneficio de café ubicado en la localidad de Sabanas, Huatusco, Ver., ambos como fuente alterna de carbono. Estos subproductos fueron transportados en bolsas selladas herméticamente hasta el laboratorio y se congelaron hasta su uso. El bagazo de caña y la pulpa de café se procesaron para obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 2 cm de diámetro. Posteriormente, se colocaron 100 gramos de cada uno en matraces Erlenmeyer de 150 mL; por último, se esterilizaron durante 20 minutos a 121°C en autoclave.

Colecta de rizósfera

Se tomaron muestras de la rizósfera de plantas de cafeto en cultivos ubicados en el municipio de Huatusco, Veracruz. Se transportaron en bolsas selladas herméticamente y transportadas al laboratorio para ser almacenadas a 4°C.

Preparación de muestras y siembra de cepas

De las muestras de la rizósfera se extrajeron porciones de puntas de las raíces de mayor grosor de 0.5 a 0.9 mm, en una cantidad de 4 a 5 partes de raíces para su posterior incubación en cajas Petri con Agar PDA y cloranfenicol a 25°C \pm 2°C durante 8 días (Lucero *et al.*, 2006).

Posteriormente, con ayuda de un microscopio estereoscopio se identificó el micelio de *Trichoderma* spp. en su forma de colonia, se tomó una espora verde en maduración con una aguja esterilizada y será sembrada en una caja de Petri nueva de Agar PDA y Cloranfenicol (Pérez *et al.* 2020).

Purificación y preservación de cepas

Se aislaron nuevamente las muestras de *Trichoderma* spp. y se sembraron en cajas Petri nuevas, evitando la contaminación. Para la purificación se tomaron muestras de rodajas de agar con *Trichoderma* spp. y se depositaron en tubos Eppendorf conteniendo glicerol al 10% para almacenarlos a 4°C hasta su uso (Cañedo y Ames, 2004).

Identificación taxonómica de cepas

La caracterización morfométrica de los aislamientos puros se realizó mediante la elaboración de preparaciones temporales y permanentes de los aislamientos, y su posterior observación en un microscopio compuesto, identificando estructuras típicas del género *Trichoderma* (Cañedo y Ames, 2004).



Fermentación en estado sólido

Una vez que las cepas de *Trichoderma* fueron activadas y sembradas en cajas Petri en Agar PDA con cloranfenicol, se tomó una muestra del micelio con espátula y se colocó dentro de un tubo con 1 mL de agua destilada estéril y se agitó para homogenizar la muestra. En un matraz Erlenmeyer de 150 mL se colocaron 100 g de los sustratos a analizar (bagazo de caña o pulpa de café) previamente acondicionados y estériles, después se inocularon con 1 mL de micelio diluido en agua. Se procedió a incubar a una temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 20 días (Bhargav *et al.*, 2008).

Conteo de esporas

El conteo de esporas se realizó usando cámara de Neubauer, tomando alícuota de una suspensión de esporas a una dilución de 10^{-2} , observando en microscopio compuesto con aumento de 40x (Mas-Diego *et al.*, 2017).

Análisis estadístico

Se utilizó la técnica estadística de Prueba de t para comparación de medias para muestras independientes (distribución t de Student) con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

Resultados y Discusión

El aislamiento de la cepa de *Trichoderma* spp. fue exitosa al observar un micelio verde y con crecimiento concéntrico, siendo este un crecimiento típico del genero *Trichoderma*. Durante los primeros aislamientos y resiembras en crecimiento no fue abundante, pero este fue siendo mejor en la tercera resiembra del hongo (Figura 1).

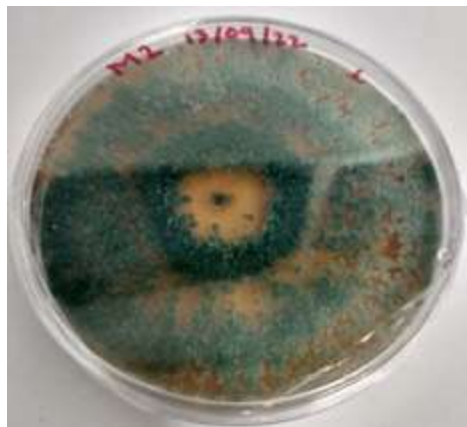


Figura 1. Aislamiento de hongo *Trichoderma* spp. en Agar PDA.



Como se puede observar en el Cuadro 1, la cantidad de esporas obtenidas en los residuos orgánicos (bagazo de caña y pulpa de café) muestra un resultado significativamente ($P < 0.05$) mayor con bagazo de caña en comparación con pulpa de café, dando a conocer que tuvo mayor producción del hongo *Trichoderma*. Debido probablemente a las características que posee este sustrato, ya que contiene una fuente de carbono óptimo para el crecimiento de dicho hongo, tales como azúcares reductores como glucosa y fructosa. A pesar de que la pulpa de café contiene carbohidratos en su composición, éstos no se encuentran en cantidad similar al bagazo de caña. Cuando se genera la pulpa de café como residuo, éste va acompañado de mayor cantidad de agua propio del proceso de obtención de la almendra del fruto, teniendo mayor acción de bacterias y levaduras, derivando en una disminución de azúcares reductores al momento de realizar la fermentación en este experimento. Michel-Aceves *et al.*, (2018) reportaron que el género *Trichoderma* presenta la capacidad de reproducción de esporas en diferentes tipos de sustratos orgánicos bajo condiciones controladas de humedad y concentración de sustratos, además de temperatura y luz, siendo este último más importante cuando se refiere a sistemas de producción masiva. Peña, (2002) y Pineda-Insuasti *et al.* (2017), refieren a la composición de los residuos como sustrato una de las principales variables de reproducción de hongos, ya que al tener azúcares reductores dentro de la composición favorecerá la esporulación sin descartar la presencia de enzimas específicas para metabolizar compuestos oligoméricos o poliméricos.

Cuadro 1. Conteo de esporas en fermentaciones en estado sólido.

Muestra	Pulpa de café (esporas/g)	Bagazo de caña (esporas/g)
1	25±0.12	750±1.26
2	75± 0.36	675±1.17
3	19±0.18	500±1.32

La Figura 2 muestra el desarrollo de las fermentaciones en estado sólido dentro de los primeros 5 días de incubación, donde aún el hongo se encuentra en fase de crecimiento micelial sin presencia de micelio maduro por la falta de coloración. A comparación de sistemas de fermentación en estado sólido donde se suplementan con soluciones catalizadoras o fuentes de carbono monoméricas, este micelio no se desarrolla dentro de los primeros 5 días, posteriormente se van generando esporas para una posterior maduración. En sistemas controlados por efecto de luz, temperatura y pH se suelen considerar efectos

en la reproducción de esporas, principalmente en la etapa vegetativa de estas, debido al estrés que puede pasar el micelio, derivando en un retraso en su reproducción, como lo pudo haber presentado con pulpa de café (De la Cruz-Quiroz *et al.*, 2015).

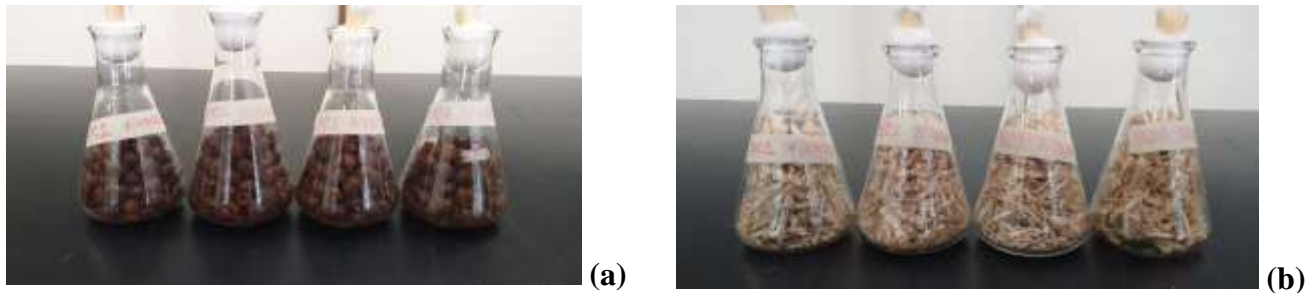


Figura 2. Fermentaciones en estado sólido con sustratos de pulpa de café (a) y bagazo de caña (b) para su siembra con *Trichoderma* spp.

Al final de la fermentación de 20 días, se puede mostrar que hubo más crecimiento del hongo *Trichoderma* en residuo de bagazo de caña, al a ver mayor pigmentación de color verde oscuro y en abundancia, demostrando una mayor maduración del hongo, sin embargo, en residuo de café se mostró poco crecimiento y muy poca maduración del micelio al tener la presencia de una coloración blanca del mismo (Figura 3).



Figura 3. Crecimiento *Trichoderma* spp. en residuos orgánicos (pulpa de café y bagazo de caña).

Los componentes lignocelulósicos pueden ser degradados por enzimas específicas como exoglucosidasas y endoglucosidasas, las cuales favorecen la degradación del bagazo de caña para ser



fue de energía para la reproducción de esporas (Amaya, 2021; Cañón-Amaya, 2010). Aunado a la capacidad de dominio por parte de *Trichoderma* en los sistemas con bagazo de caña en sistemas controlados (González-Chingate *et al.*, 2019). Por otro lado, los sistemas de fermentación en estado sólido para la producción de esporas suele ser más efectivo cuando los sistemas de reproducción tienen disposición de nutrientes en cualquiera de los puntos de la biomasa, esto implica que la geometría permita la migración de oxígeno y no limite los procesos de reproducción (Pandey, *et al.* 2008; Ramanujam *et al.*, 2010; Vaillant-Flores *et al.*, 2016), por lo que en este experimento los sistemas a pequeña escala permitieron las condiciones de reproducción de manera independiente al tipo de sustrato utilizado.

Guzmán-Ortiz *et al.* (2013) obtuvieron resultados favorables al reproducir *Trichoderma* usando fermentaciones en estado sólido usando residuos de mango como fuente de carbono, lo cual coincide con los resultados de este experimento al revalorizar residuos agroindustriales como uso alternativo en la producción de esporas fúngicas. Del mismo modo Li *et al.* (2014), usaron residuos de papa obteniendo resultados favorables debido a la composición de almidón dentro de los residuos utilizados. Mientras que Vega-Rodríguez y Hernández-Chaverri (2020) usaron residuos de piña para la producción de *Trichoderma* para uso agrícola.

Conclusión

De acuerdo con los datos obtenidos del conteo y al seguimiento que se les dio a las muestras, se demostró que el bagazo de caña tiene mejores propiedades que permiten al hongo su crecimiento, en comparación con la pulpa de café, esto sin descartar que ambos sustratos presentaron buen desempeño como fuente alterna de carbono para el crecimiento del hongo *Trichoderma*.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de COVEICyDET el cual forma parte del proyecto con clave CP 1111 1609/2023.



Literatura Citada

- Amaya, J. N. 2021. Evaluación de la capacidad degradadora de *Trichoderma* sp. y *Aspergillus* sp. En bagazo de la caña de azúcar. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Chimborazo, Rio Bamba, Ecuador. 58p.
- Arias, M. 2004. Hongos Antagonistas o micopatógenos en: Guía de insumos biológicos para el Manejo Integrado de Plagas. Corporación para Desarrollo de Insumos y Servicios Agroecológicos Armonía. p. 59-62.
- Bautista, E. J., L. Mesa y M. I. Gómez-Álvarez. 2018. Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. *Scientia Agropecuaria* 9(4):585-604.
- Besoain, X. 2005. Control biológico de *Pyrenochaeta lycopersici* y *Phytophthora nicotianae* en tomates bajo invernadero. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/montealegre_j/13.html [consultado el 10 de julio del 2023].
- Bhargav, S., B P Panda, M. Ali y S. Javed. 2008. Solid-state Fermentation: An Overview. *Chemical Biochemistry Engineering* 22(1):49-70.
- Cañedo, V. y T. Ames, 2004. Manual de Laboratorio para el Manejo de Hongos Entomopatógenos. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Cañón-Amaya, E. 2010. Producción masiva de *Trichoderma koningiopsis* (Th003) utilizando como soporte de crecimiento bagazo de caña de azúcar. Tesis de Licenciatura. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 47 p.
- Danielson, R., y C. Davey. 1973. Non nutritional factors affecting the growth of *Trichoderma* in culture. *Soil Biology & Biochemistry* 5(5):495-504.



- De la Cruz-Quiroz, R., S. Roussos, D. Hernández, R. Rodríguez, F. Castillo y C.N. Aguilar. 2015. Challenges and opportunities of the bio-pesticides production by solid-state fermentation: filamentous fungi as a model. *Critical Reviews in Biotechnology* 35(3):326-333.
- González-Chingate, E. J., K. S. Lievano, y D. D. Cubillos. 2019. Evaluación de la efectividad de antagonismo de *Trichoderma* sp. sobre diferentes hongos fitopatógenos presentes en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en condiciones *in vitro*. *Revista Ciencias Agropecuarias* 6(1):19-34.
- Guzmán-Ortiz, D.A., S. De Los Santos-Villalobos y J.J. Peña-Cabriales (inventores). 2013. A-Method for producing *Trichoderma* spores by solid-state fermentation using mango residues. Patente MX2013007218.
- Knudsen, G. y L. Bin. 1990. Effects of temperature, soil moisture, and wheat bran on growth of *Trichoderma harzianum* from alginate pellets. *Phytopathology* 80(8):724-727.
- Li, Z., B. Xiaoyu, L. Li y Y. Jianzhou (inventores). 2014. Method for producing *Trichoderma* sp. biological control agent from potato starch wastewater and mushroom residues. Patente: CN102613252.
- Lucero, M.E., J.R. Barrow, P. Osuna y I. Reyes. 2006. Plant-fungal interactions and in arid and semi-arid ecosystems: Large-scale impacts from microscale processes. *Journal of Arid Environmental* 65(1):276-284.
- Martínez, B., D. Infante y Y. Reyes. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista Protección Vegetal* 28(1):1-11.
- Mas-Diego, S. M., L. Torres-Brisuela, I.L. Rodriguez-Rico, C.E. Martínez-Manrique, y E. Lovaina-Lovaina. 2017. Caracterización del producto de la fermentación sólida de *Trichoderma harzianum* Rifai (A-34) sobre bagazo de caña. *Tecnología Química* 37(3):1-12.



- McBeath, J. y M. Adelman. 1991. Taxonomy of a new *Trichoderma* found in Alaska. Abstract. *Phytopathology* 81(10):1151.
- Michel-Aceves, A.C., M.A. Otero-Sánchez, R.D. Martínez-Rodeji, N. L.Rodríguez -Rodan, R. Ariza-Flores y A. Barrios-Ayala. 2008. Producción masiva de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(2):185-191.
- Pandey, A., M. Fernández, y C. Larroche. 2008. Current developments in solid-state fermentation. Springer New York, US, 517p.
- Peña, V. 2002. Efecto de Diferentes Sustratos Sobre la Producción de conidios de *Trichoderma koningii* en medio sólido. Trabajo de Grado de Microbiología Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 148 p.
- Pérez, A.A, M.A. Pérez, B. Martínez-Coca, I.N. Roihaiser y M.C. Blegnini. 2020. Selección de aislamientos de *Trichoderma* spp. *in vitro* como potenciales biofungicidas para el control de *Rhizoctonia solani* Kühn en la papa. *Agriscientia* 37(2):21-33.
- Pineda-Insuasti, J. A., E. N. Benavides-Sotelo, A. S. Duarte-Trujillo, C. A. Burgos-Rada, C. A. Soto-Arroyave, C. A Pineda-Soto, *et al.* 2017. Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 51(1): 47-52.
- Purschwitz, J., S. Müller, C. Kastner y R. Fischer. 2006. Seeing the rainbow: light sensing in fungi *Current Opinion in Microbiology* 9:566-571.
- Ramanujam, B., R. D. Prasad y R. Rangeswaran 2010. Mass production, formulation, quality control and delivery of *Trichoderma* for plant disease management. *The Journal of Plant Protection Sciences* 2(2):1-8.
- Rodríguez, I. y A. Arcia. 1993a. Caracterización fisiológica (temperatura, pH y luz) de 12 aislamientos de *Trichoderma* spp., *in vitro*. (Resumen). *Fitopatol. Venezol.* 6(2):53.



- Rodríguez, I., y A. Arcia. 1993b. Efecto de doce aislamientos de *Trichoderma* spp., sobre el número, tiempo de formación y porcentaje de parasitismo de esclerocios de *Sclerotium rolfsii*, en cuatro temperaturas diferentes. *Fitopatol. Venezuel.* 6(2):54.
- Rolz A. C., L. R. De León y O. Paniagua. 2013. Evidencia de un antagonismo *in vitro* de especies de *Trichoderma* contra *Hemileia vastatrix* (roya del café). Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones. Universidad del Valle de Guatemala. *Revista 25 de la Universidad del Valle de Guatemala.*
- Stefanova, M., B. Muiño, M. L. Martínez, R. Cruz, y Y. Díaz. 1995. Efectividad de *Trichoderma* sp. sobre *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var *nicotianae* en el cultivo de tabaco. Informe técnico de investigación, INISAV, La Habana.
- Stefanova, M., A. Leiva, L. Larrinaga y M. F. Coronado. 1999. Actividad metabólica de cepas de *Trichoderma* spp. para el control de hongos fitopatógenos del suelo, *Rev. Fac. Agron.* 16:509-516.
- Stefanova, M. 2000. Producción y aplicación de *Trichoderma* spp. como antagonista de hongos fitopatógenos. Informe técnico de investigación, INISAV, La Habana.
- Vaillant-Flores, D. I., J. Almandoz-Parrado, Y. Gato-Cárdenas, R. Ramírez-Ochoa, y J. A. Díaz-Rodríguez. 2016. Establecimiento de *Trichoderma* spp. en sustratos orgánicos empleados en casas de postura de Tecnología de Cultivo Protegido. *Fitosanidad.* 20(2):95-96.
- Vega-Rodríguez, M. C. y R. A. Hernández-Chaverri. 2020. Crecimiento de *Trichoderma* en rastrojo de piña para obtener esporas para uso agrícola. *Agronomía Mesoamericana,* 31(3):597-607.
- Villegas, M. 2005. *Trichoderma*. Características generales y su potencial biológico en la agricultura sostenible. <http://www.oriusbiotecnologia.com/tecnica/128-trichoderma-pers-caracteristicas-y-su-potencial-biológico-en-la-agricultura-sostenible> [consultado el 10 de julio del 2023].



Wells, H., D. Bell y C. Jaworski. 1972. Efficacy of *Trichoderma harzianum* as a biocontrol for *Sclerotium rolfsii*. *Phytopathology* 62:442-447.



***Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. INOCULADA CON *Trichoderma* sp. UNA ALTERNATIVA PARA LIMPIAR SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS CON PLAGUICIDAS**

Caliopé Mendarte Alquisira^{387*}, Ronald Ferrera Cerrato³⁸⁷ y Alejandro Alarcón³⁸⁷

Resumen

La fitorremediación es una tecnología amigable con el ambiente que permite la recuperación de cuerpos de agua y suelos contaminados con compuestos orgánicos e inorgánicos. La eficiencia de esta tecnología puede mejorarse a través de la inoculación de las plantas con microorganismos tolerantes a los contaminantes, y de ser posible que también degraden o estabilicen estos compuestos. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la inoculación de *Trichoderma* sp., un ascomiceto tolerante a plaguicidas a base de piretroides con tres compuestos activos (permetrina, praletrina y propoxur), sobre la respuesta bioquímica de plantas de *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc. en un sustrato arenoso. Para lo anterior, plantas de *E. polystachya*, de aproximadamente 60 días de edad, se inocularon con una carga microbiológica de 1×10^6 esporas/mL de un cultivo mixto constituido por 4 especies de *Trichoderma* identificadas como *T. koningii* (Trich CP03), *T. virens* (Trich CP022, Trich CP037), y *T. atroviride* (Trich CP0X). Posteriormente, plantas solas e inoculadas se expusieron a una concentración fija de un plaguicida comercial (H24[®]) a base de piretroides (100 mg kg⁻¹) durante 7 días. Después del tiempo de cultivo, se determinó el daño celular mediante la cuantificación de la oxidación de los lípidos de membrana (MDA), y los cambios en el contenido de proteínas totales, así como las actividades enzimáticas antioxidantes, superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y peroxidasa (POD). De acuerdo con los resultados obtenidos, la inoculación del cultivo mixto de *Trichoderma* sp. en *E. polystachya* (Kunth) Hitchc. expuesta a plaguicidas incrementó hasta 2 veces el contenido de MDA en brotes.

El cultivo mixto de *Trichoderma* mejoró el contenido de proteínas totales y la actividad de la enzima SOD (140 veces) en las plantas. Por lo anterior, la inoculación del cultivo mixto de *Trichoderma* sp. en

³⁸⁷ Colegio de Postgraduados (COLPOS). Campus Montecillo. *cma.asgmc@gmail.com



E. polystachya (Kunth) Hitchc. puede representar una opción para mejorar la respuesta de la planta ante condiciones de estrés por plaguicidas.

Palabras clave: cultivo mixto, piretroides, agricultura limpia, fitorremediación asistida por microorganismos

Introducción

La creciente población demanda la obtención de grandes cantidades de productos agrícolas, lo que ha llevado al uso intensivo de las tierras y a la aplicación indiscriminada de productos de origen químico para el control de plagas (hierbas, insectos o microorganismos) (Silva *et al.*, 2018; Tang and Maggi, 2021). Sin embargo, estos agentes pueden tener un efecto adverso sobre la salud humana, las poblaciones microbianas en los suelos agrícolas y en insectos benéficos para los cultivos y el ser humano (Silva *et al.*, 2018; F. H. M. Tang and Maggi, 2021). Por ejemplo, el dicloro difenil tricloroetano, mejor conocido como DDT, fue uno de los plaguicidas con mayores repercusiones sobre la salud humana y la vida silvestre de la década de los años 70, por lo que fue prohibido en 1972. Tras la prohibición del DDT, se ha recurrido al uso de nuevos plaguicidas a base de piretroides y carbamatos, tanto para el control de insectos plaga en la agricultura como para el control de vectores transmisores de enfermedades diversas (paludismo, chagas, dengue, entre otros), sin embargo, estos compuestos químicos también causan daños al ser humano, la microbiota del suelo, insectos benéficos, además de que pueden quedar acumulados en el suelo y en los frutos de los cultivos (El-Sheikh *et al.*, 2023; Tang *et al.*, 2018). Dentro de los piretroides más utilizados se encuentran la cipermetrina, permetrina y praletrina, mientras que el propoxur es de los carbamatos más utilizados. Estos compuestos pueden ser comercializados por separado o mezclados, por ejemplo, la permetrina, praletrina y propoxur forman parte de un producto comercial llamado H24[®].

Puesto que los piretroides pueden quedar acumulados en los suelos, resulta importante buscar alternativas para limpiar y recuperar estos sitios. Por lo anterior, se ha recurrido a tecnologías amigables con el ambiente que permiten usar plantas y sus microorganismos asociados para remover, degradar, volatilizar o acumular contaminantes como los plaguicidas, esta tecnología es conocida como fitorremediación (Aioub *et al.*, 2019). La fitorremediación puede verse influenciada por factores como



el tipo de planta, suelo, microorganismos en el suelo, propiedades del contaminante (físicas y químicas), por mencionar algunas. La selección de la planta adecuada es decisiva para el éxito de la fitorremediación. Se ha comprobado que diversas plantas pertenecientes a la familia Poaceae como *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock, tienen la capacidad de remover diversos contaminantes orgánicos debido a que producen un sistema de raíces y biomasa aérea abundante (da Silva-Correa and Maranhão, 2021).

Las plantas que pueden ser utilizadas para la fitorremediación realizan varios procesos bioquímicos que les permiten sobrevivir a condiciones de estrés, estos procesos bioquímicos involucran el control de especies reactivas de oxígeno (ERO). Las ERO pueden causar diversos daños celulares, como oxidación de proteínas, lípidos y en el peor de los casos, oxidación de DNA (Borowik *et al.*, 2023). Para evitar la oxidación de las biomoléculas, las plantas han desarrollado estrategias que incluyen actividades enzimáticas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), peroxidasas (POD), catalasas (CAT) y glutatión S transferasas (GST), entre otras (Balci *et al.*, 2019; Borowik *et al.*, 2023). Estas actividades enzimáticas pueden ser modificadas debido a la presencia de microorganismos de la rizosfera (Chen *et al.*, 2020; da Silva-Correa and Maranhão, 2021).

De acuerdo con nuestro conocimiento, no se han encontrado reportes sobre la fitorremediación de suelos contaminados con mezclas de piretroides y carbamatos (permetrina, praletrina y propoxur). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de un cultivo mixto de especies de *Trichoderma* sobre las actividades enzimáticas antioxidantes de *Echinochloa polystachya* expuesta a un plaguicida comercial a base de piretroides. Los resultados podrían ser utilizados para entender la respuesta bioquímica de las plantas asociadas a los hongos benéficos durante la asistencia en la fitorremediación de suelos contaminados con plaguicidas.

Materiales y Métodos

Se utilizaron plantas de *Echinochloa polystachya* (H.B.K.) Hitchcock de aproximadamente 60 días de edad. Las plantas se propagaron por esquejes y se aclimataron en condiciones de invernadero. Las plantas se recolectaron en “La Venta” Tabasco México, a partir de una masa fangosa de derrame de petróleo contaminado con una concentración de 115 000 mg kg⁻¹ del hidrocarburo (ISSS-ISRIC-FAO,



1998) (Rivera *et al.*, 2004). Sin embargo, durante su propagación, las plantas se mantuvieron libres de contaminantes.

El cultivo fúngico mixto estuvo constituido por cuatro cepas de *Trichoderma* identificadas como *T. koningii* (Trich CP03), *T. virens* (Trich CP022, Trich 037) y *T. atroviride* (Trich CP0X) y que forman parte de la colección de microorganismos del Laboratorio de Microbiología del Colegio de Postgraduados (Campus Montecillo). Las cepas tienen la capacidad de tolerar hidrocarburos aromáticos policíclicos de dos y hasta cinco anillos fusionados (naftaleno, fenantreno y benzo[a]pireno) (Argumedo-Delira *et al.*, 2012). Las cepas se sembraron y crecieron de manera independiente en medio semisólido compuesto por: 14.2 g de sacarosa, 3.7 g de peptona de soya, 1 g de K_2HPO_4 , 0.5 g de KCl, 0.5 g de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ y 0.01 g de $FeSO_4$ por litro de medio de cultivo adicionado con agar bacteriológico (20 g L^{-1}) (Gao *et al.*, 2007). Después de 7 días de crecimiento a 28°C , se cosecharon esporas de las cepas y se conservaron en solución isotónica hasta su aplicación. La inoculación del cultivo mixto se ajustó a 1×10^6 esporas por mL.

Se utilizó como sustrato modelo arena sílicea con un tamaño de partícula de entre 0.12 y 2.0 mm \emptyset lavada con una solución ácido clorhídrico (10% v/v) para eliminar los restos de carbonato de calcio y materia orgánica. Después, la arena se lavó con agua destilada hasta eliminar el HCl hasta que el agua de lavado llegara a un pH cercano a 7.0. Después, el sustrato modelo se contaminó con el plaguicida comercial H24[®] compuesto por permetrina, praletrina y propoxur (890 mg kg^{-1}) ajustando la concentración a 100 mg kg^{-1} . Las plantas se trasplantaron en el sustrato modelo contaminado o no y se inocularon con el cultivo mixto, de modo que los tratamientos quedaron de la siguiente manera: i) *Echinochloa polystachya* (Ep); ii) *E. polystachya* con plaguicidas (Ep + P); iii) *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Ep + T) y iv) *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* en presencia del plaguicida (Ep + T + P). El cultivo mixto de *Trichoderma* se inoculó inmediatamente después de sembrar las plantas en el sustrato modelo. Cada unidad experimental consistió en cuatro plantas por frasco de vidrio conteniendo 1300 g de sustrato modelo inundado con solución nutritiva para plantas Long Ashton (195mL). Los cultivos se mantuvieron en condiciones de invernadero durante 7 días. El volumen de la solución nutritiva se mantuvo durante todo el tiempo del experimento.

El extracto crudo (EC) para la cuantificación de las actividades enzimáticas se obtuvo con 100 mg de tejido fresco (raíces o tallos por separado) macerados con nitrógeno líquido y 1 mL de amortiguador de fosfatos de potasio (50 mM, pH 7.0) suplementado con polivinilpirrolidona al 1% e inhibidor de



proteasas (5 μ L/100 mg de tejido). El tejido macerado se centrifugó a 3000 g por 10 min a 4°C. La concentración de proteínas se determinó usando el método del ácido bicinonínico (BCA) mediante un kit comercial (BIO BASIC INC); el método se basa en la reacción de Biuret usando ácido bicinonínico y las proteínas de la muestra, la concentración de proteínas se estimó utilizando una curva estándar de albúmina de suero bovino (BSA).

El daño oxidante en las plantas se determinó cuantificando la concentración de malondialdehído (MDA) producido. Para ello, 10 mg de tejido vegetal se (raíces o tallos por separado) maceraron con nitrógeno líquido y mezclaron con 1 mL de amortiguador de Tris-HCl 20 mM y pH 7.4, suplementado con 2 μ L (por cada 100 mg de tejido) de butirato de hidroxitolueno frío 0.5 M en acetonitrilo. La mezcla se centrifugó a 3000 g por 10 min a 4°C. La mezcla de reacción estuvo constituida por 500 μ L del extracto y 1000 μ L de ácido tricloroacético 15% con ácido tiobarbitúrico 0.5% en HCl 0.25 N. La mezcla se incubó por 25 min en agua a 95°C y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Después, la mezcla se leyó a 535 nm en un espectrofotómetro (Synergy 2, Biotek). El contenido de MDA se calculó utilizando un coeficiente de extinción molar (ϵ) de 155 mM⁻¹ cm⁻¹ (Buege and Aust, 1978). La concentración de MDA se reportó como nmoles de MDA mg peso seco⁻¹.

Las actividades enzimáticas se determinaron con el EC enzimático como sigue: la actividad superóxido dismutasa (SOD, EC 1.15.1.1) se determinó usando un kit comercial (ESOD-100, EnzyChrom™). El método se basa en la catálisis de la reacción entre la xantina oxidasa (XO) y el superóxido (O₂⁻). El O₂⁻ reacciona con el colorante WST-1 para formar un cromógeno. La SOD elimina el O₂⁻ y lo deja menos disponible para formar el cromógeno. La intensidad del color en la reacción se leyó a 440 nm en un espectrofotómetro (Synergy 2, Biotek) y la absorbancia se utilizó para estimar la actividad enzimática usando una curva estándar de SOD (Kuthan *et al.*, 1986).

La actividad glutatión S-transferasa (GST, EC 2.5.1.18) se determinó espectrofotométricamente utilizando un kit comercial (CAK-1047, Cohesion BIOSCIENCE). La reacción se basa en la catálisis de la reacción entre el glutatión (GSH) y el 1-cloro-2,4-dinitrobenzeno (CDNB). La reacción produce un conjugado GS-DNB, que es un dinitrofenil tioéter que se puede leer a 340 nm (Synergy 2, Biotek). La actividad se calculó con la tasa inicial de la reacción considerando un ϵ de 9.6 mM⁻¹ cm⁻¹ (Habig and Jakoby, 1981). Una unidad de actividad GST se define como la cantidad de enzima para generar 1 μ mol del conjugado GS-DNB por minuto.

La actividad catalasa (CAT, EC 1.11.1.6) se determinó mezclando 50 μ L del extracto enzimático con 200 μ L de H₂O₂ 30 mM en amortiguador de fosfatos (50 mM, pH 7). Se mide la absorbancia a 240 nm



en un espectrofotómetro (Synergy 2, Biotek). La actividad CAT se expresa como la cantidad de enzima necesaria para catalizar la desaparición de H_2O_2 por min at 25°C y pH 7.0 y se utiliza un ϵ de $39.4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Aebi, 1984).

La actividad de peroxidasas totales (POD, EC 1.11.1.7) se determinó midiendo la formación de tetraguayacol por la reacción entre guayacol y H_2O_2 . La mezcla de reacción contenía 20 μL de extracto, 190 μL de amortiguador de fosfatos 50 mM y pH 7.0, 10 μL de guayacol al 1% y 20 μL de H_2O_2 10 mM en amortiguador de fosfatos. La reacción se mide a 470 nm durante 4 min en un espectrofotómetro (Synergy 2, Biotek). La actividad POD se calculó usando un ϵ de $26.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Chance and Maehly, 2006). Una unidad de actividad POD se definió como la cantidad de enzima para catalizar la formación de 1 μmol de tetraguayacol por minuto a 25°C y pH 7.0.

Se realizó una distribución completamente al azar de los experimentos con tres réplicas por tratamiento. Cada unidad experimental contenía cuatro plantas. Los datos se analizaron usando ANOVA de una vía y comparación de medias (Tukey, $\alpha = 0.05$). Los resultados se expresaron como las medias de cada tratamiento con su respectivo error estándar. El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS versión PASW 18 (IBM SPSS-IBM Corp).

Resultados y Discusión

De acuerdo con nuestros resultados, el contenido de proteína de *Echinochloa polystachya* incrementó 1.85 veces debido a la presencia de los plaguicidas, sin embargo, no sucedió lo mismo en las raíces (Figura 1a). Los plaguicidas también causaron el incremento significativo (hasta 2 veces) de la producción de MDA en tallos de *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Figura 1b). Esta respuesta se ha observado en diversos cultivos debido a que los plaguicidas provocan la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno (ERO) que puede causar el daño en biomoléculas como proteínas y lípidos (P. Singh and Prasad, 2018). La sobreproducción de ERO conduce a la peroxidación de lípidos que dan como resultado malondialdehído (MDA) (Buege and Aust, 1978). Además de la peroxidación de lípidos, el daño oxidante puede reflejarse en cambios en el contenido de proteínas y el contenido de actividades enzimáticas. Como se pudo observar, el contenido de proteínas se modificó por efecto de los plaguicidas, similar a lo que se observó en plantas de pepino expuestas a imidacloprid y diclorvos (Homayoonzadeh *et al.*, 2020). En contraste con nuestros resultados, la aplicación de alfa-



cipermetrina, clorpirifos y pirimicarbo incrementaron el contenido de MDA en plantas de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Chahid *et al.*, 2015). Lo mismo sucedió en plantas de *Spinacia oleracea* L. expuestas a clorpirifos, fosforotionato y dieldrin en concentraciones recomendadas por el proveedor, lo anterior debido a la sobreexpresión de especies reactivas de oxígeno como el H₂O₂ (P. Singh and Prasad, 2018). Nuestros resultados sugieren que en presencia de *Trichoderma* se incrementa la traslocación de los plaguicidas hacia los tallos, lo que incrementa la producción de ERO que causan aumento en la producción de MDA.

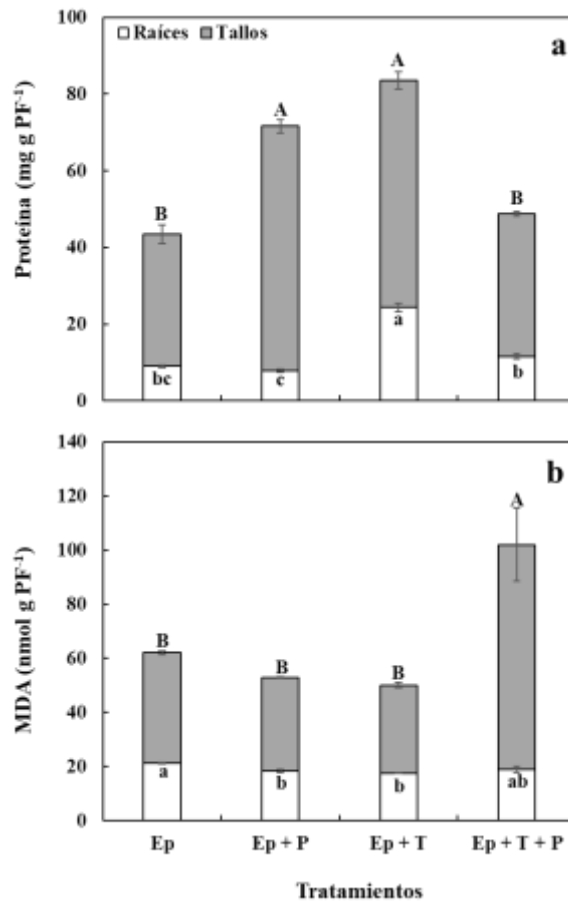


Figura 31. A) Contenido de proteínas (mg gPF⁻¹) y producción de malondialdehído (MDA) (nmol g PF⁻¹) en raíces (barras blancas) y tallos (barras grises). Los tratamientos están representados como sigue *Echinochloa polystachya* (Ep); *E. polystachya* con plaguicidas (Ep + P); *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Ep + T), and *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* en presencia de plaguicidas (Ep + T + P). Diferentes letras entre tratamientos en fila indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$) en raíces (letras minúsculas) y tallos (letras mayúsculas). Medias + error estándar. n = 6.



Las proteínas son las biomoléculas más abundantes en los organismos e igual que los lípidos pueden modificarse por la sobreexpresión de ERO generadas por la presencia de agentes contaminantes (Koksal *et al.*, 2018). En plantas de pepino se observaron resultados similares a los nuestros, pero después de una exposición de 8 días a imidacloprid y diclorvos (Homayoonzadeh *et al.*, 2020). De acuerdo con nuestros resultados, el cultivo mixto de *Trichoderma* combinado con los plaguicidas no modificaron la producción de proteínas en *E. polystachya*, como sucedió cuando se probaron por separado.

El incremento en el contenido de proteínas podría estar ligado a un incremento en las actividades enzimáticas y no enzimáticas antioxidantes durante la exposición a los plaguicidas (Koksal *et al.*, 2018). Por lo anterior, se evaluó el efecto de los plaguicidas sobre la actividad enzimática SOD en raíces y tallos de *E. polystachya* inoculada o no con el cultivo mixto de *Trichoderma* sp. (Cuadro 1). La actividad SOD en raíces de *E. polystachya* ($76.43 \text{ U g proteína}^{-1}$) fue significativamente menor en las plantas inoculadas con el cultivo mixto de *Trichoderma* ($32.58 \text{ U g proteína}^{-1}$), pero los plaguicidas no influyeron en la actividad SOD en este órgano. En tallos, la actividad SOD es mucho menor ($3.24 \text{ U g proteína}^{-1}$) tanto en ausencia como en presencia de los plaguicidas, sin embargo, la inoculación del cultivo mixto de *Trichoderma* provocó incremento significativo de la actividad (hasta 140 veces). La actividad SOD es la primera enzima en la línea de defensa antioxidante contra las ERO y cataliza la conversión del radical superóxido ($\text{O}_2^{\bullet-}$) a H_2O_2 y O_2 en las células de plantas y microorganismos (Gill *et al.*, 2015). La presencia de diversos plaguicidas (clorpirifos, paratión y metamidofos) incrementaron la actividad SOD en plantas de *Capsicum annuum* (García-Hernández *et al.*, 2021). En plantas de pepino, la actividad SOD incrementó después de 6 días de exposición a imidacloprid y diclorvos. En nuestro estudio, en las raíces de *E. polystachya* inoculadas con el cultivo mixto de *Trichoderma* se observó disminución significativa en la actividad SOD, en comparación con las plantas no inoculadas, lo que sugiere que existe supresión de la defensa de *E. polystachya* contra el hongo. En raíces de *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* y expuesta el plaguicida, la actividad SOD incrementó 2.5 veces, comparado con su respectivo control, lo que sugiere que la presencia de *Trichoderma* puede regular la actividad SOD para controlar el $\text{O}_2^{\bullet-}$ producido por la presencia de los plaguicidas. La diferencia entre nuestros resultados y los reportados en otros estudios podría deberse al tipo de plaguicida, especie de planta y microorganismos involucrados y la combinación entre ellos (Gill *et al.*, 2015; Helepciuc *et al.*, 2014).



Otra de las actividades enzimáticas evaluadas en el presente trabajo fue la actividad GST (Cuadro 1), ya que participan en la detoxificación y biotransformación de diferentes compuestos orgánicos en diferentes plantas y microorganismos (Balci *et al.*, 2019). En raíces de *E. polystachya*, los plaguicidas no tuvieron efecto significativo en la actividad GST, en ausencia de los plaguicidas, pero con la inoculación del cultivo mixto de *Trichoderma* se observó una reducción (2 veces) significativa de la actividad GST. En tallos, la presencia de los plaguicidas y el cultivo mixto no tuvieron efecto significativo en la actividad GST de *E. polystachya* (Cuadro 1). Se ha observado que plaguicidas como diclorvos, imidacloprid y cipermetrina pueden causar inhibición no competitiva en la actividad GST.

Cuadro 14. Actividades enzimáticas superóxido dismutada (SOD) y glutatión S-transferasa (GST) en raíces y tallos de *Echinochloa polystachya* inoculada o no con un cultivo mixto de *Trichoderma* sp. y expuesta o no a un plaguicida comercial a base de piretroides (100 mg kg⁻¹), después de 7 días de cultivo en un sustrato modelo contaminado artificialmente.

Órgano de la planta /Actividad enzimática	Tratamiento			
	Ep	Ep + P	Ep + T	Ep+ T + P
<i>SOD (U g proteína⁻¹)</i>				
Raíces	76.43±5.19 ^a	77.07±5.76 ^a	32.58±2.29 ^b	77.39±6.62 ^a
Tallos	3.27±0.49 ^C	3.56±0.11 ^C	272.42±16.19 ^B	521.16±46.84 ^A
<i>GST (U mg proteína⁻¹)</i>				
Raíces	8.15±0.28 ^a	9.63±0.30 ^a	2.94±0.44 ^b	8.96±1.75 ^a
Tallos	1.40±0.36 ^{AB}	0.77±0.10 ^B	1.29±0.56 ^{AB}	2.00±0.15 ^A

Abreviaciones de los tratamientos: *Echinochloa polystachya* (Ep); *E. polystachya* con plaguicidas (Ep + P); *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Ep + T), and *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* en presencia de plaguicidas (Ep + T + P). Diferentes letras entre tratamientos en fila indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$) en raíces (letras minúsculas) y tallos (letras mayúsculas). Medias + error estándar. n = 6.

Se evaluó el efecto del plaguicida comercial sobre las actividades enzimáticas CAT y POD en *E. polystachya* inoculada o no con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Figura 2). El plaguicida no causó efecto sobre la actividad CAT en las raíces de *E. polystachya* no inoculada, mientras que en las plantas inoculadas con el cultivo mixto de *Trichoderma*, la actividad CAT decreció, tanto en ausencia como en presencia de plaguicidas (Figura 2a). En tallos, el plaguicida comercial provocó decremento en la actividad CAT, sin embargo, en presencia del cultivo mixto, la actividad CAT se mantuvo en niveles similares a los de la planta sola y sin exposición al contaminante (Figura 2a). Respecto a la actividad



POD, el plaguicida comercial provocó una ligera disminución en la actividad de las raíces de *E. polystachya* no inoculada. Mientras que, en las plantas inoculadas, la actividad POD no se vio afectada por efecto de los plaguicidas (Figura 2b).

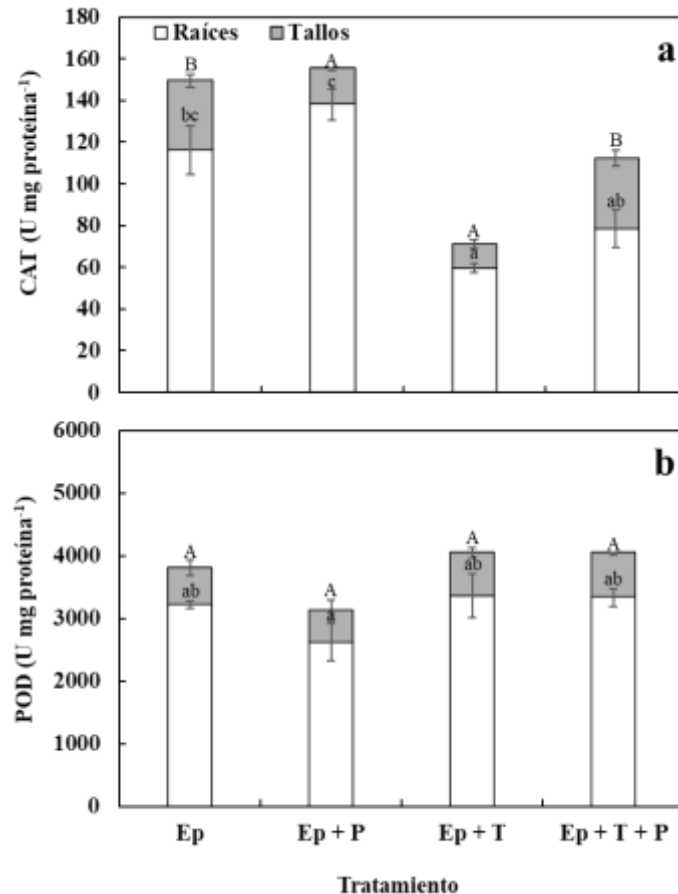


Figura 32. A) Actividad catalasa (CAT en U mg proteína⁻¹) y b) actividad peroxidasa (POD en U mg proteína⁻¹) en raíces (barras blancas) y tallos (barras grises). Los tratamientos están representados como sigue *Echinochloa polystachya* (Ep); *E. polystachya* con plaguicidas (Ep + P); *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* (Ep + T), and *E. polystachya* inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* en presencia de plaguicidas (Ep + T + P). Diferentes letras entre tratamientos en fila indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha=0.05$) en raíces (letras minúsculas) y tallos (letras mayúsculas). Medias + error estándar. n = 6.

Las CAT son enzimas que actúan como moléculas de señalización para la inducción de genes de defensa en las plantas expuestas a diferentes condiciones de estrés, como la presencia de contaminantes orgánicos (Zhao *et al.*, 2016). Mientras que las POD son un grupo de enzimas con función de oxidorreductasas que catalizan la transformación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) generado durante el



metabolismo a moléculas menos dañinas (Koksal *et al.*, 2018). En contraste con nuestros resultados, en plantas de *Glycine max* L.Merr., la actividad CAT decreció después de 10 días de exposición a deltametrina, uno de los piretroides más usados en el control de plagas, en *Allium cepa* expuesta a diferentes concentraciones de malatión (50-375 ppm) se observó un incremento en la actividad CAT (Bashir *et al.*, 2007; D. , Singh and Roy, 2017). Nuestros resultados sugieren que el cultivo mixto de *Trichoderma* inhibe la actividad CAT en ausencia del plaguicida comercial como una estrategia para colonizar a las raíces de *E. polystachya*. Este tipo de respuesta se ha observado en cepas de *Trichoderma harzianum* (T22) asociadas a plantas de maíz (Shoresh and Harman, 2008). Lo anterior debido a cambios genéticos que involucran genes que codifican enzimas antioxidantes y esta respuesta es más marcada en raíces que en brotes debido a que las raíces son el primer punto de contacto entre *Trichoderma* spp. y plantas (Shoresh and Harman, 2008). Respecto a la actividad POD, y consistente con nuestros resultados, se ha observado que la aplicación de clorpirifos y pirimicarb, en periodos cortos de aplicación (2-5 días) causan ligero decremento en la actividad POD de las raíces de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Chahid *et al.*, 2015). Piretroides como λ -cialotrina y cipermetrina pueden inhibir la actividad POD de *Raphanus sativus* y *Brassica rapa* L. (Koksal *et al.*, 2018). Las POD pueden ser inhibidas por plaguicidas con grupos alógenos (Koksal *et al.*, 2018). Nuestros resultados sugieren que *Trichoderma* sp. puede ayudar a *E. polystachya* a mantener la actividad en niveles basales, aún en presencia de los plaguicidas.

La diferencia en las diferentes actividades enzimáticas cuantificadas en *E. polystachya* son un reflejo de la respuesta de la planta inoculada con el cultivo mixto de *Trichoderma* en presencia de los plaguicidas, que involucra mecanismos de protección para eliminar las ERO y la detoxificación directa de compuestos orgánicos e inorgánicos mediante la oxidación (POD) y la compartimentalización (GST) de moléculas dañinas (Balci *et al.*, 2019; Koksal *et al.*, 2018)

Conclusiones

Echinochloa polystachya es una planta que tiene el potencial para tolerar un plaguicida comercial (H24[®]) a base de piretroides. La inoculación de un cultivo mixto de *Trichoderma* en plantas de *Echinochloa polystachya* expuesta a los plaguicidas incrementa el contenido de MDA sólo en tallos, lo que sugiere que el plaguicida se acumula en este órgano provocando la sobreproducción de ERO y en



consecuencia la peroxidación de lípidos en las células. El cultivo mixto de *Trichoderma* incrementa el contenido de proteínas y la actividad SOD en tallos de *E. polystachya*, pero disminuye esta actividad en las raíces. Nuestros resultados son importantes para entender la respuesta de la interacción entre plantas y microorganismos expuestos a plaguicidas para su posible uso en la fitorremediación asistida por microorganismos para recuperar suelos contaminados con compuestos orgánicos.

Agradecimientos

Los autores agradecemos a CONAHCYT por el apoyo a la estancia posdoctoral por la que se obtuvieron los resultados del presente documento.

Literatura Citada

Aebi, H. 1984. Catalase *in vitro*. p121–126.

Aioub, A. A. A., Y. Li, X. Qie, X. Zhang and Z. Hu. 2019. Reduction of soil contamination by cypermethrin residues using phytoremediation with *Plantago major* and some surfactants. *Environmental Sciences Europe* 31(1):26.

Argumedo-Delira, R., A. Alarcón, R. Ferrera-Cerrato, J. J. Almaraz and J. J. Peña-Cabriales. 2012. Tolerance and growth of 11 *Trichoderma* strains to crude oil, naphthalene, phenanthrene and benzo[a]pyrene. *Journal of Environmental Management* 95:291–299.

Balcı, N., F. Türkan, H. Şakiroğlu, A. Aygün, A. and F. Şen. 2019. Purification and characterization of glutathione S-transferase from blueberry fruits (*Vaccinium arctostaphylos* L.) and investigated of some pesticide inhibition effects on enzyme activity. *Heliyon* 5(4): e01422.



- Bashir, F., Mahmooduzzafar, T. O. Siddiqi and M. Iqbal. 2007. The antioxidative response system in *Glycine max* (L.) Merr. exposed to Deltamethrin, a synthetic pyrethroid insecticide. *Environmental Pollution* 147(1):94–100.
- Borowik, A., J. Wyszowska, M. Zaborowska and J. Kucharski. 2023. The Impact of Permethrin and Cypermethrin on Plants, Soil Enzyme Activity, and Microbial Communities. *International Journal of Molecular Sciences* 24(3):2892.
- Buege, J. A. and S. D. Aust. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods in Enzymology* 52(C):302–310.
- Chahid, K., A. Laglaoui, S. Zantar, and A. Ennabili. 2015. Antioxidant-enzyme reaction to the oxidative stress due to alpha-cypermethrin, chlorpyrifos, and pirimicarb in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Environmental Science and Pollution Research* 22(22):18115–18126.
- Chance, B. and A. C. Maehly. 2006. The Assay of Catalases and Peroxidases. p. 357–424.
- Chen, S., Y. Yan, Y. Wang, M. Wu, Q. Mao, Y. Chen, J. Ren, A. Liu, X. Lin and G. J. Ahammed. 2020. *Trichoderma asperellum* reduces phoxim residue in roots by promoting plant detoxification potential in *Solanum lycopersicum* L. *Environmental Pollution* 259:113893.
- da Silva-Correa, H. and L. T. Maranhão. 2021. The potential association of *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc with bacterial consortium for petroleum degradation in contaminated soil. *SN Applied Sciences* 3(1):80.
- El-Sheikh, A., El-Sheikh, D. Li, I. Hamed, I., M. B. Ashour and B. D. Hammock. 2023. Residue Analysis and Risk Exposure Assessment of Multiple Pesticides in Tomato and Strawberry and Their Products from Markets. *Foods* 12(10):1936.



- Gao, L., M. H. Sun, X. Z. Liu and Y. S. Che. 2007. Effects of carbon concentration and carbon to nitrogen ratio on the growth and sporulation of several biocontrol fungi. *Mycological Research* 111(1):87–92.
- García-Hernández, J. L., H. Nolasco, E. Troyo-Diéguéz, H. Jones and A. Ortega-Rubio. 2021. The effects of selected insecticides on the superoxide dismutase activity in hot pepper plants (*Capsicum annuum* L. cv. Ancho San Luis). *J. Exp. Bot.* :67–74.
- Gill, S. S., N. A. Anjum, R. Gill, S. Yadav, M. Hasanuzzaman, M. Fujita, *et al.* 2015. Superoxide dismutase—mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental Science and Pollution Research* 22(14):10375–10394.
- Habig, W. H. and W. B. Jakoby. 1981. Assays for differentiation of glutathione S-transferases. *Methods in Enzymology* 77:398–405.
- Helepiciuc, F. E., M. E. Mitoi, A. Manole-Păunescu, F. Aldea, A. Brezeanu and C. P. Cornea. 2014. Induction of plant antioxidant system by interaction with beneficial and/or pathogenic microorganisms. *Rom Biotechnol Lett.* 19:9366–9375.
- Homayoonzadeh, M., P. Moeini, K. Talebi, U. Roessner and V. Hosseininaveh. 2020. Antioxidant system status of cucumber plants under pesticides treatment. *Acta Physiologiae Plantarum* 42(11):161.
- Koksal, Z., R. Kalin, I. Gulcin and H. Ozdemir. 2018. Inhibitory effects of selected pesticides on peroxidases purified by affinity chromatography. *Int. J. of Food Prop.* 21(1):385–394.
- Kuthan, H., H. J. Haussmann and J. Werringloer. 1986. A spectrophotometric assay for superoxide dismutase activities in crude tissue fractions. *Biochemical Journal* 237(1):175–180.



- Rivera, M. del C., R. Ferrera, P. Sánchez, V. Volke, L. Fernández and R. Rodríguez. 2004. Descontaminación de suelos con petróleo crudo mediante microorganismos autóctonos y pasto alemán [*Echinochloa polystachya* (HBK) Hitchc.] *Agrociencia* 38(1):1–12.
- Shoresh, M. and G. E. Harman. 2008. The Molecular Basis of Shoot Responses of Maize Seedlings to *Trichoderma harzianum* T22 Inoculation of the Root: A Proteomic Approach. *Plant Physiology* 147(4): 2147–2163.
- Silva, M. A. F. da, K. E. de Moura, K. E. de, Moura, D. Salomão and F. R. A. Patricio. 2018. Compatibility of *Trichoderma* isolates with pesticides used in lettuce crop. *Summa Phytopathologica* 44(2):137–142.
- Singh, D. and B. K. Roy. 2017. Evaluation of malathion-induced cytogenetical effects and oxidative stress in plants using *Allium* test. *Acta Physiologiae Plantarum* 39(4):92.
- Singh, P., and S. M. Prasad. 2018. Antioxidant enzyme responses to the oxidative stress due to chlorpyrifos, dimethoate and dieldrin stress in palak (*Spinacia oleracea* L.) and their toxicity alleviation by soil amendments in tropical croplands. *Science of The Total Environment* 630, 839–848.
- Tang, F. H. M., and F. Maggi. 2021. Pesticide mixtures in soil: A global outlook. *Environmental Research Letters* 16(4).
- Tang, J., J. Feng, G. Li, M. Liang, R. Wang and C. Cai. 2018. Occurrence and possible sources of organochlorine pesticides in soils of Ningbo, East China. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 109(3–4):495–500.
- Zhao, H., X. Sun, M. Xue, X. Zhang, and Q. Li. 2016. Antioxidant Enzyme Responses Induced by Whiteflies in Tobacco Plants in Defense against Aphids: Catalase May Play a Dominant Role. *PLOS ONE* 11(10):e0165454.



USO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA DESINFECCIÓN DE SEMILLAS DE *Tillandsia ionantha* PLANCH. *in vitro*

Xareni Vázquez Flores³⁸⁸, Edna Fabiola Valdez Hernández^{389*}, Humberto Mata Alejandro³⁸⁸
y María del Refugio Castañeda Chávez³⁸⁸

Resumen

Dado el valor religioso, comercial y ornamental de *Tillandsia ionantha* Planch. sus poblaciones naturales se ven amenazadas por la extracción ilegal del medio natural, así como por la pérdida acelerada de su hábitat por la deforestación y cambio de uso de suelo; aunado a lo anterior, su lento crecimiento y desarrollo constituye una limitación para su propagación, por lo que, una alternativa para su conservación genética y aprovechamiento sustentable lo constituye la micropropagación *in vitro*; sin embargo, es necesario desarrollar protocolos de propagación que permitan obtener cultivos libres de fitopatógenos, empleando nuevos y efectivos agentes desinfectantes, que reduzcan los efectos adversos al ambiente y a la salud humana. Las nanopartículas de plata (NPsAg) podrían representar una opción útil para estos fines, pues múltiples referencias indican que las NPsAg son capaces de controlar infecciones por hongos, bacterias y virus sin dañar el crecimiento y el desarrollo de las plantas cuando estas se usan en dosis adecuadas; por lo que el objetivo de este trabajo de investigación fue determinar la concentración y tiempo óptimo de exposición de las semillas de *T. ionantha* a las NPsAg dentro del proceso de desinfección, previo a la siembra *in vitro*, por lo cual se establecieron cinco tratamientos con diferentes dosis y tiempo de exposición (T0: 0 mg/L; T1: 25 mg/L por 5 min; T2: 25 mg/L por 20 min; T3: 100 mg/L por 5 min; T4: 100 mg/L por 20 min) con un diseño experimental completamente al azar, con seis repeticiones por tratamiento, cuya unidad experimental se conformó por cinco frascos con cinco semillas cada uno. Las variables fueron: número de semillas germinadas, oxidadas y contaminadas (hongos o bacterias). Para el análisis estadístico los datos de porcentaje de germinación, contaminación y sobrevivencia se transformaron para su análisis con la función arcoseno y luego se devolvieron a porcentaje para su posterior discusión. Se realizó una ANOVA de una sola vía con el

³⁸⁸ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Boca del Río, Boca del Río 94290, México

³⁸⁹ Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México Texcoco. Autor correspondencia. ednafvh5@hotmail.com



programa Minitab® 18.1, así como comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis estadístico mostró diferencias mínimas significativas entre tratamientos para la variable germinación y sobrevivencia contrario a las variables contaminación y días a germinación.

Palabras clave: agente desinfectante, micropropagación, conservación genética, aprovechamiento sustentable

Introducción

Cerca del 10% del total de la diversidad de la flora global corresponde a plantas epífitas (Nowak y Martin, 1997); dentro de esta diversidad la familia Bromeliaceae y, en especial, el género *Tillandsia* son las más conocidas y estudiadas (Nowak y Martin, 1997). Varias especies del género *Tillandsia* poseen un valor ceremonial (Wolf y Konings, 2001) lo que ha generado que las comunidades humanas que viven en las áreas en las que se distribuyen las utilicen indiscriminadamente (Espejo y López, 2018); sin embargo, de acuerdo con Wolf y Konings (2001) la mayor de las amenazas lo constituye la pérdida y la degradación de los bosques; aunado a lo anterior Chukwujekwu *et al.* (2003) indican que estas plantas ornamentales son de crecimiento lento, lo cual presiona fuertemente a las poblaciones que se encuentran en condiciones silvestres.

La implementación del cultivo *in vitro* de plantas como *Tillandsia ionantha* representa la oportunidad de abordar dos ejes planteados por Wolf y Konings (2001), los cuales son el estudio de la familia abordando aspectos de conservación y aprovechamiento sustentable; la conservación del acervo genético es crucial tanto para cultivos rentables como para plantas raras y en peligro de extinción; asimismo, los problemas de conservación y restauración del capital fitogenético puede abordarse mediante la implementación del cultivo *in vitro* pues se considera como conservación *ex situ* a las colecciones de plantas *in vitro* (Nhut, 2022).

Dentro del proceso de propagación *in vitro*, obtener cultivos estériles puede representar un gran desafío siendo los explantes la principal fuente de contaminantes (Park, 2021) en el control de plagas y enfermedades; la nanotecnología puede reemplazar una gran cantidad de agroquímicos empleando nanopartículas (Humbal y Pathak, 2023), pues es necesario diversificar los agentes desinfectantes que se emplean en el cultivo *in vitro*, tal es el caso de los antibióticos como la gentamicina y la ampicilina



que pueden causar efectos fitotóxicos y resistencia (Park, 2021) o bien el cloruro de mercurio (HgCl_2) que representa un peligro a la salud humana y ambiental, al ser un compuesto cancerígeno, mutagénico, causar daños en el cerebro, el sistema nervioso periférico y central, además que, una vez utilizado, requiere una disposición final segura (Park, 2021).

Las nanopartículas de plata (NPsAg) tiene ventajas para su implementación en el cultivo *in vitro* por su capacidad de eliminar contaminación por hongos, bacterias y virus sin dañar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Bello y Spinoso, 2022); además se ha reportado que tiene una gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas, la relación raíz-brote, el crecimiento de las plántulas y de las raíces, inhibición de la senescencia (Spinoso *et al.*, 2017); también se ha mencionado su capacidad de inducir germinación y aumentar rendimientos de cultivos (Castro *et al.*, 2019).

Sin embargo, tal como menciona Park (2021), para establecer la concentración del agente desinfectante, así como el tiempo de exposición, requiere tener una referencia bibliográfica o bien generar la información a base de prueba y error. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración y tiempo óptimo de exposición de las semillas de *T. ionantha* a las NPsAg dentro del proceso de lavado y desinfección previo a la siembra *in vitro*.

Materiales y Métodos

Las semillas de *T. ionantha* fueron donadas por el Centro Universitario de Investigación y Conservación de Bromelias Mexicanas (CUCIBROM), las cuales fueron colectadas en marzo de 2022; para el almacenamiento y conservación, las semillas se dispusieron en contenedores plásticos con tapa de 75 g de capacidad a temperatura ambiente con un promedio de 23°C.

Se eliminó el apéndice plumoso de las semillas para facilitar el manejo y para reducir la probabilidad de contaminación, actividad que se llevó a cabo con ayuda de pinzas y tijeras; después de este proceso fueron colocadas en sobres de papel filtro y fueron sellados por una grapa para evitar pérdida de semillas.

La desinfección de las semillas fue la descrita por Valdez *et al.* (2023), misma que consistió en introducir las semillas sin coma, en sobres de papel filtro y sumergirlos en una solución de alcohol al 70% por 3 min, seguido de un triple enjuague con agua desionizada estéril. Posteriormente, se empleó una solución de hipoclorito de sodio al 5% de marca comercial con un tiempo de inmersión de 40 min;



finalmente los sobres se enjuagaron tres veces con agua desionizada estéril y se les agregó el tratamiento con nanopartículas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos a los que fueron sometidas las semillas de *Tillandsia ionantha* Planch. para evaluar su eficiencia en diferentes concentraciones y tiempos de inmersión.

Tratamiento	Nps Ag (mg/L)	Tiempo de inmersión (min)
T0	0	Sin inmersión
T1	25	5
T2	25	20
T3	100	5
T4	100	20

Para los tratamientos se utilizó la formulación de NPsAg (Argovit) que son elaboradas por VECTOR VITA LTP con sede en Novosibirsk, Rusia e importadas y distribuidas en México por BIOMANG. S.A.P.I. de C.V. con el nombre comercial NAGPET y bajo uso veterinario con registro de la SAGARPA Q-9692-033, Argovit provee una suspensión de NPsAg al 3%, con vehículo cbp de 1.88 g/100 g de polivinilpirrolidona, vehículo cbp 0.94 g/100g de colágeno hidrolizado, el ingrediente activo correspondiente a la plata metálica fue de 0.18/100g empleando como vehículo 97 mL de agua destilada. El contenido de plata metálica en Argovit se utilizó para calcular las diluciones de NPsAG empleando agua desionizada estéril; las disoluciones resultantes tuvieron las concentraciones 0, 25, 100 mg/L, además se emplearon dos tiempos diferentes de inmersión (5 y 20 minutos) de los sobres con semillas.

Se emplearon frascos de cristal tipo gerber de 113 mL de capacidad y se vertieron en cada uno 10 mL de medio de cultivo el cual fue formulado con las sales inorgánicas de Murashige y Skoog (1962) al 10% de su concentración, sacarosa 10 g/L, pH ajustado a 5.5 ± 0.1 y como gelificante se usó agar-agar Deiman[®] a una dosis de 5.5 g/L. La esterilización se realizó con autoclave a una temperatura de 121°C a presión de 1.2 kg/cm² por 20 min. Una vez establecidas las semillas en el medio de cultivo, fueron llevados los frascos a la sala de incubación, a una temperatura de 22°C, con un fotoperiodo de 16 horas luz e intensidad luminosa de 45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; después del establecimiento del bioensayo el monitoreo se efectuó cada tercer día por un periodo de cuatro semanas con la intención de documentar la



germinación, es decir cuando el hipocótilo emergía, así como la contaminación fúngica y bacteriana. El bioensayo fue establecido con un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos donde la unidad experimental corresponde a cinco frascos, donde a cada uno se le sembraron cinco semillas, y se establecieron seis replicas. Con un total de 30 frascos por tratamiento.

Las variables consideradas en este bioensayo fueron: número de semillas germinadas, número de semillas oxidadas, número de semillas contaminadas por hongos o bacterias para poder determinar el porcentaje de germinación (PG), porcentaje de contaminación (PC), porcentaje de sobrevivencia (PV), días a germinación (DG). Para el análisis de los datos de porcentaje de germinación, contaminación y sobrevivencia se transformaron con la función arcoseno y luego se devolvieron a porcentaje para su análisis y discusión, para la cual se realizó un ANOVA de una vía y una prueba de comparación medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa estadístico Minitab® 18.1.

Resultados y Discusión

Germinación

Los resultados mostraron que los tratamientos T0, T1, T4 son estadísticamente iguales (Cuadro 2), al presentar los mayores porcentajes de germinación; también se determinó que el T4 y T1 no presentan diferencias estadísticamente significativas respecto al T2. Los tratamientos que obtuvieron los porcentajes de germinación más bajo y que no presentan diferencias estadísticas significativas entre ellos corresponden a los T2 y T3.

Cuadro 2. Respuestas observadas en los cinco tratamientos aplicados a semillas de *T. ionatha* Planch.

Tratamiento	Germinación (%)	Contaminación (%)	Sobrevivencia (%)	Días a germinación (DG)
T0	60 ^a	0.0 ^a	55.3 ^a	11.8 ^a
T1	46 ^{ab}	3.3 ^a	47.3 ^{ab}	10.58 ^a
T2	25.33 ^b	0.0 ^a	31.3 ^b	11.7 ^a
T3	28 ^b	0.0 ^a	34.7 ^b	10.2 ^a
T4	42.67 ^a	3.3 ^a	42.7 ^{ab}	11.8 ^a

En las columnas las medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).



Contaminación

La incidencia por bacterias y hongos fue mínima en la duración del bioensayo, únicamente los T4 y T1 presentaron contaminación por hongos o bacterias (Cuadro 2) y el resto de los tratamientos no presentaron evidencia de agentes patógenos, por lo que el análisis estadístico confirmó que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

Sobrevivencia

Se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para la sobrevivencia de las semillas; los tratamientos T0, T1 y T4 (Cuadro 2) obtuvieron los mayores porcentajes de sobrevivencia y no tienen diferencias estadísticamente significativas entre ellos; asimismo, el T1 y T4 no mostraron diferencias estadísticas significativas con los T3 y T2 que obtuvieron los menores porcentajes de sobrevivencia.

Si bien el mayor porcentaje de sobrevivencia hasta la duración total del bioensayo (31 días) incluye al T4 que representa el tratamiento con mayor dosis y tiempo de exposición a la solución con NPs Ag, es indispensable señalar que estas causaron necrosis grave de tejidos de las semillas y de las plántulas resultantes, siendo T2, T3 Y T4 los tratamientos que presentan los mayores dañados hasta considerar que eventualmente estas plantas no lograrían sobrevivir dado el profundo daño de sus tejidos (Figura 1).



Figura 1. Efecto de diferentes concentraciones y tiempos de exposición de NPsAg en semillas de *Tillandsia ionantha* Planch. a los 61 días de la siembra a) T0: sin inmersión; b) T1: 25 mg/L, 5 min; c) T2:25 mg/L, 20 min; d) T3: 100 mg/L, 5 min; e) T4: 100 mg/L, 20 min.



Días a germinación

El número de días requerido para la germinación entre tratamientos no demostró tener diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los tratamientos (Cuadro 2). Las diferencias en los porcentajes de germinación resultantes ente bioensayo podrían atribuirse a lo señalado por Guzmán *et al.* (2021), quienes mencionan que el efecto de las AgNP en las plantas pueden variar de acuerdo al tipo de especie vegetal en el que se apliquen, el tamaño de partícula, la composición, la concentración y el tiempo de exposición, entre otros factores; por otra parte los autores señalan que las AgNP son capaces de promover el consumo acelerado de las reservas energéticas de la semilla, por lo que en el caso de semillas de *T. ionatha* Planch. que se caracterizan por tener pequeñas dimensiones estas agotarían de forma acelerada sus reservorios producto a la explosión de las mayores dosis de AgNP, lo que afecta negativamente al proceso de germinación.

Ya que la presencia de agentes fitopatógenos fue mínima durante el bioensayo, lo que se puede atribuir a la interacción de las técnicas empleadas, tales como la eliminación de la coma o la técnica de lavado citada; sin embargo, es importante tomar en cuenta que las NPsAg se han convertido en uno de los nuevos agentes más prometedores para la desinfección de superficies de explantes (Cuong *et al.*, 2023), ya que como lo demuestran trabajos como el desarrollado por Tung *et al.*, 2021, la aplicación de NPsAg (250 ppm) a explantes de crisantemo de cuatro semanas durante 15 a 20 minutos demostró ser óptima en el control de la contaminación. El control de la presencia de bacterias se debe principalmente, según lo señalado por Anees *et al.* (2020), a la interacción directa de las nanopartículas con la pared celular de las bacterias ya que después de penetrar en el líquido citoplasmático, las nanopartículas pueden dañar la membrana, lo que puede causar la fuga de componentes celulares y, finalmente, la muerte celular.

Dado que el mayor porcentaje de sobrevivencia lo obtuvo el tratamiento testigo y el daño a los tejidos del resto de los tratamientos fue severo se requiere, como lo indican Anees *et al.* (2020), generar una investigación adecuada sobre la biocompatibilidad y la bioactividad de las NPsAg sobre las plantas esto implica conocer sobre la toxicidad química en base a la liberación de iones tóxicos, así como el estrés que puede generar las nanopartículas por su superficie, el tamaño y la forma de las partículas (Saldivar *et al.*, 2018). Es así como el efecto de las nanopartículas sobre las plantas puede ser positivo o negativo (Khot *et al.*, 2012) por lo que antes de aplicar nanomateriales, es necesario obtener una comprensión completa de sus efectos fitotóxicos (Khot *et al.*, 2012). Sobre los días a germinación en este estudio se consideró como semilla germinada a aquellas semillas que mostraron una ruptura total del tegumento a



nivel del hipocótilo, mismo que se observa hinchado; este parámetro está basado en el trabajo desarrollado por Cecchifiordi *et al.* (2001) por lo que en este bioensayo, dicho fenómeno aconteció en promedio a los 11 días para todos los tratamientos; sin embargo, en el trabajo desarrollado por García *et al.* (2023) consideraron que la germinación de una semilla se presenta cuando la imbibición fue visible reportando que la germinación de sus tratamientos se dio dos días después de la siembra por lo tanto se atribuye la diferencia entre los días a germinación se debe a criterio con que se define la germinación en *T. ionantha*.

Conclusiones

1. Dos de los tres tratamientos que obtuvieron los mayores promedios de germinación fueron los que no fueron expuestos a las NPsAg (testigo) y el tratamiento con dosis de (25 m/L) y 5 min de exposición.
2. No hubo presencia significativa de hongos y bacterias en ninguno de los tratamientos establecidos.
3. Dos de los tres tratamientos que obtuvieron los mayores porcentajes de sobrevivencia corresponden al testigo y al tratamiento lo la menos dosis y menor tiempo de contacto con las NPsAg.
4. Las NPsAg produjeron mayor necrosis en los tejidos conforme mayor fue la dosis y tiempo de exposición.
5. El comportamiento fitotóxico de las NPsAg debe ser estudiando minuciosamente en cada planta para determinar de manera particular los posibles efectos sobre ella.
6. Se requieren más pruebas para determinar las dosis y tiempos de exposición que no generen daños en las semillas de *Tillandsia ionantha*.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría y al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Universidad Autónoma Chapingo.



Literatura Citada

- Anees, A. S., D. S. Sachi, A. Khatoon, A.M. Tahir, M. Afzal, H. M. Saquib and N. A. Kumar. 2020. Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review. *Materials Science for Energy Technologies* 3:756–769.
- Bello, B. J. y C. J. Spinoso. 2022. Utilización de nanopartículas de plata en la micropropagación de plantas. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* 16(30):1e-14e.
- Castro, G. C. G., S. L. Sánchez, M. F. C. Gómez and B. J. J. Bello. 2019. Exposure of stevia (*Stevia rebaudiana* B.) to silver nanoparticles *in vitro*: transport and accumulation. *Scientific reports* 9(1):10372.
- Cecchifiordi, A., M. Palandri, S. Turicchia, Gabrieleletani and P. Di Falco. 2001. Characterization of the seed reserves in *Tillandsia (Bromeliaceae)* and ultrastructural aspects of their use at germination. *Caryologia* 54(1):1-16.
- Chukwujekwu, J. C., J. van Staden and C. H. Bornman. H. 2003. Tissue culture enhances the propagation potential of some Tillandsioideae. *South African journal of botany* 69(2):214-216.
- Cuong, D. M., N. T. N. Mai, H. T. Tung, H. D. Khai, V. Q. Luan, T. H. Phong, Bui Van The Vinh, H. T. N. Phuong, N. Van Binh and D. Tan Nhut. 2023. Positive effect of silver nanoparticles in micropropagation of *Limonium sinuatum* (L.) Mill. 'White'. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*:1-16.
- Espejo, S. A. y F. A. R. López. 2018. La familia *Bromeliaceae* en México. *Botanical Sciences* 96(3):533–554.



- García, G. B. I., H. E. F. Valdez, J. L. Rodríguez De la O, H. M. de J. Juárez and C. M. Flores. 2023. Pregerminative treatments in *Tillandsia ionantha* seeds to obtain seedlings under *in vitro* culture. *Agro Productividad* 1:147-154.
- Guzmán, B. G. A., T. L. I. Trejo, O. S. M. Ramírez, R. J. Salinas, B. J. J. Bello, G. G. Alcántar, C. J. V. Hidalgo and F. C. Gómez. 2021. Silver nanoparticles increase nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations in leaves and stimulate root length and number of roots in tomato seedlings in a hormetic manner. *Dose-Response* 19(4):15593258211044576.
- Humbal, A. and B. Pathak B. 2023. Application of nanotechnology in plant growth and diseases management: Tool for sustainable agriculture. p. 145–168. *In: Agricultural and Environmental Nanotechnology*. Springer Nature, Singapore.
- Khot, L. R., S. Sankaran, J. M. Maja, R. Ehsani and E. W. Schuster. 2012. Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: A review. *Crop protection* 35:64-70.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 15(3):473-497.
- Nhut, D. T. 2022. General information: Some aspects of plant tissue culture. p. 1–23. *In: Nhut, D. T., H, T. Tung and E. C. T. Yeung (eds). Plant Tissue Culture: New Techniques and Application in Horticultural Species of Tropical Region*. Springer. Singapore.
- Nowak, E. J. and C. E. Martin. 1997. Physiological and anatomical responses to water deficits in the cam epiphyte *Tillandsia ionantha* (*Bromeliaceae*). *International Journal of Plant Sciences* 158(6): 818-826.
- Park, S. 2021. Chapter 5 Contamination. p. 55-65. *In: Sunghun P. (ed). Plant Tissue Culture*. Academic Press. Londres.



Saldivar, R. H. L., B. M. Argüello, G. De Los Santos Villarreal e I. V. Reyes. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria* 28(2):9-24.

Spinoso, C. J. L., S. R. A. Chávez, N. Bogdanchikova, S. J. A. Pérez, R. V. Morales and B. J. J. Bello. 2017. Antimicrobial and hormetic effects of silver nanoparticles on *in vitro* regeneration of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. *ex* Andrews) using a temporary immersion system. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 129:195-207.

Tung, H. T., H. G. Bao, D. M. Cuong, H. T. M. Ngan, V. T. Hien, V. Q. Luan, H. T. N. Phuong, N. B. Nam, L. N. Trieu, N. K. Truong, P. N. D. Hoang and D. T. Nhut. 2021. Silver nanoparticles as the sterilant in large-scale micropropagation of chrysanthemum. *in vitro Cell.Dev.Biol. Plant* 57:897–906.

Valdez, H. E. F., V. R. C. Rodríguez, M. S. G. Leyva, de la O Rodríguez, H. M. J. Juárez and M. J. M. Mejía. 2023. Determination of a protocol for the *in vitro* germination of *Tillandsia usneoides*. *p. 51. In: XXVII International Symposium Eucarpia Ornamentals*. Genoa, Italy.

Wolf, J. H. and C. J. Konings. 2001. Toward the sustainable harvesting of epiphytic bromeliads: a pilot study from the highlands of Chiapas, Mexico. *Biological conservation* 101(1):23-31.



ANÁLISIS DE CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE DURANTE 2016 - 2021 EN EL MUNICIPIO DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ

Hirvin Gorospe Zetina^{390*}, María Adelina Asís Cruz³⁹⁰, Rodolfo Campos Tenorio³⁹⁰, Francisco Javier Naranjo Luna³⁹⁰,
Manuel Chávez López³⁹⁰, María Guadalupe De los Santos Zavala³⁹⁰, Mario Adrián López Ortiz³⁹⁰
y Fabiola del Carmen Antonio Martínez³⁹⁰

Resumen

La teledetección es una herramienta que permite generar información sin que haya contacto directo entre el sensor y el objeto de interés. El objetivo del trabajo fue determinar la dinámica del cambio de la tierra de su uso de conservación a usos agrícola y ganadero a través del análisis de imágenes satelitales del sensor Sentinel 2B durante 2016–2021, en el municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. Se empleó la técnica de clasificación supervisada, para obtener dos mapas de uso y cobertura, pertenecientes a cada uno de los años mencionados. Se generó una matriz de transición de uso y cobertura de la tierra y se evaluó el nivel de precisión y exactitud. Se obtuvieron dos capas de uso y coberturas para el Municipio de Jesús Carranza. Hay coincidencia en las categorías cuerpos de agua, bosque tropical perennifolio (selva), ganadería y agricultura de temporada, dado que el municipio Jesús Carranza es conocido a nivel estatal como zona ganadera; dicha actividad mostró un incremento de 3,644.2 ha del año 2016 al 2021, lo que repercute en el incremento de pastizal cultivable y la disminución de zona boscosa. Los mapas de usos de suelo y vegetación del municipio Jesús Carranza, obtenidos para los años 2016 y 2021, indican una predominancia de áreas dedicadas a la actividad ganadera, con una transición de las zonas de bosque tropical perennifolio a la actividad ganadera.

Palabras clave: teledetección; cobertura vegetal, cambio de uso de suelo

³⁹⁰ Tecnológico Nacional de México Campus Jesús Carranza, Prolongación Miguel Hidalgo No. 1519, Col. Centro. C.P. 96950, Jesús Carranza, Ver. *Autor de correspondencia: gorospezh@itsjc.edu.mx



Introducción

La cobertura y el uso del suelo son dos de los elementos que mejor evidencian la transformación de la superficie terrestre por parte de la acción humana a través del tiempo. La cobertura del suelo se define como la cubierta biofísica observada sobre la superficie terrestre; mientras que el uso del suelo refiere al arreglo, actividad o proceso productivo que hace la gente en un cierto espacio geográfico Reyes *et al.* (2006). A través del uso del suelo se produce lo necesario para la supervivencia de la humanidad; sin embargo, el impacto derivado de este proceso se relaciona con la deforestación y fragmentación de los ecosistemas, la desertización, la alteración de los ciclos hidrológicos, la pérdida de la diversidad biológica y el incremento de la vulnerabilidad de los grupos humanos. Si bien existen eventos naturales como las inundaciones, sequías, etc. que propician, en mayor o menor medida, alteraciones en la cobertura natural, en las últimas décadas el impacto de las actividades humanas se ha convertido en uno de los principales agentes transformadores de los ecosistemas.

A escala local, la pérdida de la cobertura vegetal y la erosión del suelo afectan la biodiversidad de los ecosistemas y, a la vez, disminuyen las posibilidades de generar entornos productivos viables, incrementando la influencia de la migración e impactando negativamente en la seguridad alimentaria de las localidades (SEMARNAT, 2008).

Una forma de evaluar los cambios en el uso del suelo es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo. Tradicionalmente, la medición de cambios de cobertura vegetal y uso del suelo se realiza sobre documentos generados mediante percepción remota (fotografías aéreas e imágenes de satélite) o cartografía temática de cobertura.

En México se han realizado varios estudios del cambio en el uso del suelo que parten del análisis de mapas obtenidos de fotografías aéreas de diferentes fechas u obtenidos del procesamiento de imágenes de satélite (Reyes *et al.*, 2006). En este sentido, la existencia de archivos históricos de imágenes satelitales ha sido preponderante para contar con información que permita conocer los cambios espaciotemporales de la cobertura y uso del suelo.

Estudios realizados en bosque tropical indican que este ha disminuido su superficie de manera dramática en los últimos cien años. A nivel global, el área cubierta por bosque tropical varía, de acuerdo a las imágenes de satélite utilizadas y métodos empleados, con un promedio de $1,457.3 \times 10^6$ ha (Lejía *et al.*, 2021). América es el continente con mayor número de bosque tropical total, con 58.1%.



Sin embargo, en general ha tenido la mayor pérdida de bosques (Lejía *et al.*, 2021) y en particular para bosque tropical tiene las tasas de deforestación más altas con un promedio de 2.56% anualmente.

En específico para México, investigaciones realizadas por Sahagún y Reyes (2018) en suelos pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, indican que se perdieron 35,603.44 ha (4.62%) de la superficie de selvas, bosques y matorrales, entre 1989 y 2005. Corresponden 24,013.06 ha a selvas, 7,672.04 ha a bosques y 3,918.34 ha a matorrales. Partiendo de la línea base, las selvas disminuyeron 9.84%, los bosques 3.96% y los matorrales 3.28%. El cambio de uso de suelo, en cuanto a la tasa de cambio en el período correspondiente a 1989-2005, presentaron valores de 0.64%, 0.25% y 0.20%, respectivamente. La razón de cambio en cuanto a las selvas se transformó en pastizales, los bosques en tierras agrícolas y los matorrales en diferentes usos que incluyen el desarrollo urbanístico.

En cuanto al estado de Veracruz, Hernández *et al.* (2022) realizaron un análisis de cambio de uso de suelo para los períodos de 1989 a 2003 y 2003 a 2015, en el que reportan que la superficie de vegetación natural disminuyó y la de coberturas agropecuarias aumentaron. Entre los procesos de cambio de las coberturas naturales durante 1989 a 2003, se registró una marcada transformación en el bosque mesófilo de montaña, que fue reemplazado por café bajo sombra, cultivos agroforestales y pastizal inducido (pérdida de 10.23%).

De la superficie correspondiente a selva baja caducifolia, 6.48% fue transformado a cultivos de caña de azúcar y pastizal inducido, principalmente; mientras que la selva mediana subcaducifolia fue sustituida por cultivos de café bajo sombra y caña de azúcar, con 3% de pérdida de superficie. Además, 1% de la superficie de bosque de coníferas y 1.2% de bosque de pino-encino fueron reemplazados por agricultura de temporal (Hernández *et al.*, 2022). Por lo que el objetivo del trabajo fue determinar la dinámica del cambio de la tierra de su uso de conservación a usos agrícola y ganadero a través del análisis de imágenes satelitales del sensor Sentinel 2B durante 2016–2021, en el municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó en el territorio que comprende el municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México.

Cuenta con una superficie de 1,392.7 km², se ubica entre los paralelos 17° 11' y 17° 35' latitud norte,



los meridianos 94° 39' y 95° 13' de longitud oeste, a una altitud de entre 10 y 200 m (Figura 1); colinda al norte con los municipios de San Juan Evangelista, Sayula de Alemán, Texistepec e Hidalgotitlán, al este con los municipios de Hidalgotitlán y Uxpanapa, al sur con el municipio de Uxpanapa y el estado de Oaxaca, y al oeste con el estado de Oaxaca.

La vegetación presente, de acuerdo al INEGI, es de 50.5 km² de selva perennifolia y 71 km² de vegetación secundaria con especies como la caoba (*Swietenia macrophylla* King.), cedro rojo (*Cedrela odorata* L.), roble (*Tabebuia rosea* Bertol.), zapote (*Manikara zapota* L.), ceiba (*Ceiba pentandra* L.) y amate (*Ficus insípida* Willd.). La fauna principal se compone de armadillos, tepezcuintles, jabalíes, venados, iguanas, ardillas, conejo, tejón, aves y reptiles.

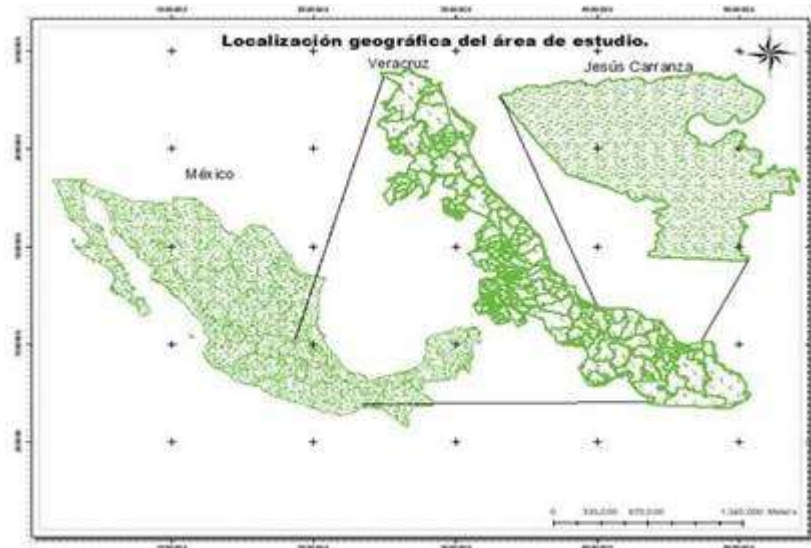


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio. Fuente: El autor.

Hidrología

De acuerdo al plan de desarrollo municipal de Jesús Carranza (2013), los cuerpos fluviales más importantes del Municipio son: Arroyo El Naranjo que constituye el límite al Norte con el Municipio de San Juan Evangelista, el río Jaltepec que nace en el Estado de Oaxaca situado al Occidente, el río Solosúchil situado al Este, que nace en el Municipio de Uxpanapa y que es utilizado como límite territorial con el Municipio de Hidalgotitlán, el arroyo Paquital y el río Chalchijapan se sitúan en la región centro-sur alimentando al río Coatzacoalcos que se utiliza como límite con el Estado de Oaxaca en la región Sudoeste. Cabe señalar que ninguno de los cinco ríos mencionados nace en el municipio de



Jesús Carranza, por lo que es importante tomar en cuenta que las acciones a realizar para desarrollar en el municipio tendrán que realizarse bajo convenios con otros municipios e incluso con otros Estados, si se quiere realizar el desarrollo tomando el criterio de cuenca. El principal de estos ríos es el Coatzacoalcos, con una longitud promedio de 300 kilómetros y varios tributarios por ambas márgenes, la dirección de las corrientes principales y tributarias van en dirección Sudoeste-Noreste, todos ellos descienden de la Sierra Madre de Oaxaca.

Clima

Su clima predominante es cálido húmedo (Aw2) con abundantes lluvias en verano (95%), y cálido subhúmedo con lluvias en verano (5%). Rango de temperatura 24 – 26°C y un rango de precipitación 1900 – 2600 mm. La estimación de precipitación promedio anual para el Municipio oscila alrededor de 1900 a 2600 mm, llegando en algunos años a superar los 3000 mm. Estos eventos ocasionales propician desajustes en la dinámica de las actividades agropecuarias, ya que provocan inundaciones en las partes bajas de la región, aunque los mayores daños se observan en la inundación de las riberas de los ríos donde se ubican 46 comunidades, constituyendo el 52% del total de las comunidades del municipio, además de que 2 de las 3 comunidades más pobladas, se encuentran en este grupo.

Topografía

El territorio municipal está ubicado en la Subprovincia Llanura Costera Veracruzana que pertenece a la Provincia Planicie Costera del Golfo, caracterizada por presentar en la porción norte del municipio una gran extensión de llanuras y lomeríos suaves localizadas entre el arroyo El Naranja y el río Coatzacoalcos, todas ellas convertidas en pastizales con fines pecuarios, caracterizados por una alta productividad que repercute positivamente en la economía municipal. Incluida en estas llanuras, se localizan en la región Oriente áreas inundables durante la época de lluvias, quedando durante la época de secas un sistema lagunar que es aprovechado para abasto de agua para ganado bovino.

Geología

Provincia Geológica conformada por lomeríos de pendientes suaves localizados en la parte sur, están compuestos por lutitas y areniscas calcáreas que la mayoría de las veces no están consolidadas, dispuestas en estratos de 1 a 3 metros de espesor y de formas topográficas alargadas; estas mismas formaciones que se presentan intercaladas con tobas y cenizas volcánicas se presentan conformando cerros altos de pendientes pronunciadas y cantos subredondeados con una matriz arcillo-arenosa presentes también en la región Sureste del municipio En la región Este se presentan areniscas con



conglomerados intercalados, presentando una matriz arcillosa y ocasionalmente conglomerados con alto nivel de fracturación.

Edafología

Los principales tipos de suelos con que cuenta el municipio son: Cambisoles, Luvisoles, Acrisoles, Fluvisoles y Nitosoles; producto de una gran diversidad de condiciones ambientales edáficas, físicas, biológicas, hidrológicas, orográficas y principalmente por ser suelos de diversos orígenes.

Los datos espacio-temporales referentes al cambio de uso de suelo provienen de una fuente variada como son las fotografías aéreas, imágenes satelitales, cartas topográficas digitalizadas, y mapas digitales. La característica principal de estos datos es que presentan una ubicación geográfica (coordenadas planas), facilitando la localización de un evento en un territorio dado.

Se utilizaron imágenes satelitales, ya que actualmente son de fácil acceso, lo que da paso al estudio de diferentes aspectos de la tierra. Para el pre-procesamiento de las imágenes satelitales se siguió la metodología adaptada de la propuesta realizada por Pastrana (2011) (Figura 2).

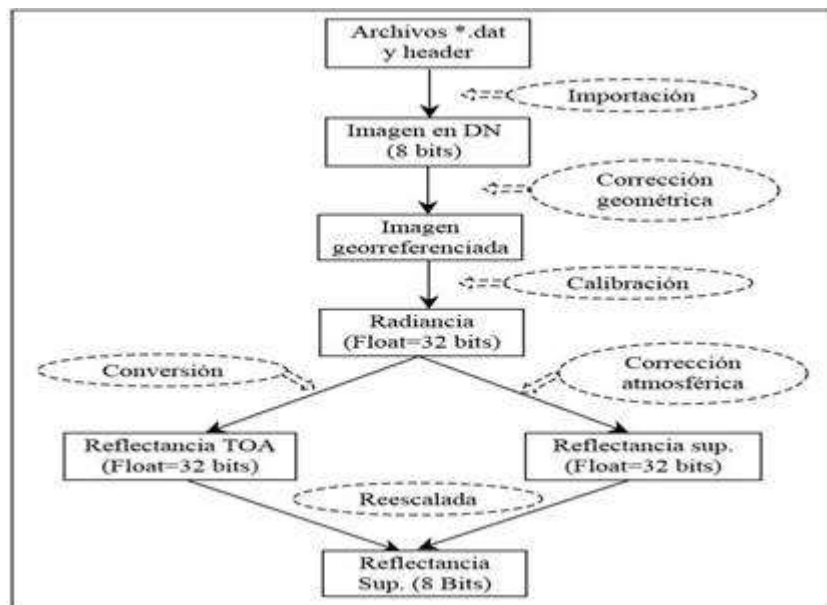


Figura 2. Protocolo para el pre-procesamiento de imágenes satelitales.

La metodología para el análisis de la pérdida de cobertura boscosa y cambio de uso del suelo en el período 2016 – 2021 en el municipio de Jesús Carranza, se basó en la obtención, procesamiento y análisis de dos imágenes satelitales de los satélites Sentinel 2B, de los años, 2016 y 2021. La



clasificación de las coberturas y generación de los mapas temáticos se elaboraron con el programa ArcGIS 10.6, coincidiendo con la metodología planteada por Barrero-Mendel *et al.* (2022).

Las imágenes satelitales Sentinel 2B del municipio de Jesús Carranza, fueron descargadas del servidor: <https://eos.com/landviewer>, perteneciente a la Agencia Espacial Europea (ESA). Estas constituyeron la información básica para el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo.

La misión Sentinel 2A está compuesta por el instrumento MSI (Multi Spectral Instrument) que captura la información de la superficie terrestre en 13 bandas espectrales, con diferentes resoluciones espaciales, cuatro bandas de 10 m, seis bandas de 20 m y tres bandas con resolución de 60 m, en el Cuadro 1 se muestra las características de cada una de las bandas Sentinel 2^a (Cuadros 1 y 2; Figura 3).

Cuadro 1. Bandas de las imágenes Sentinel 2^a.

Banda	Nombre	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
1	Aerosol	0.443	60
2	Azul	0.49	10
3	Verde	0.56	10
4	Rojo	0.665	10
5	vegetación borde rojo 1	0.705	20
6	vegetación borde rojo 2	0.74	20
7	vegetación borde rojo 3	0.783	20
8	Infrarrojo cercano (NIR)	0.842	20
8a	Infrarrojo cercano (NIR)	0.865	20
9	Vapor de agua	0.945	60
10	Infrarrojo de Onda Corta (SWIR) – Cirrus	1.375	60
11	Infrarrojo de Onda Corta 1	1.61	20
12	Infrarrojo de Onda Corta 2	1.61	20

Cuadro 2. Descripción de las imágenes Sentinel 2b del año 2016 y 2021.

Imagen	Satélite	Fecha de captura	Bandas utilizadas
S2B_tile_20160107_15QTV	Sentinel 2B	07/01/2016	11, 8a y 2
S2B_tile_20200420_15QTV	Sentinel 2B	10/04/2021	11, 8a y 2

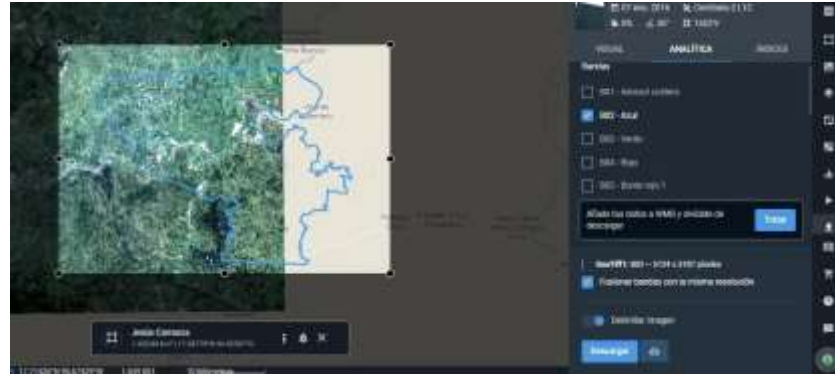


Figura 3. Descarga de las bandas 8A,11,2 en Sentinel 2B.

El procesamiento previo de las imágenes se realizó en el software especializado ArcGIS 10.6, con el que se procedió a realizar el recorte de cada imagen correspondiente a bandas específicas. Se ingresaron las imágenes y el polígono del área de estudio, al añadirse las bandas para el análisis del cambio de uso del suelo se procedió a combinar las bandas coincidiendo con la metodología empleada por Barrero-Mendel *et al.* (2022) con imágenes Landsat 5, pero con el mismo software.

La matriz de confusión es una herramienta de post clasificación que permite validar los resultados de una clasificación realizada mediante la comparación de los datos de una clasificación y valores tomados al azar. Coincidiendo con lo planteado por Ariza *et al.* (2018), una matriz de confusión o matriz de error, es una tabla de contingencia que sirve como herramienta estadística para el análisis de observaciones emparejadas (Cuadro 3).

Cuadro 3: Estructura de la matriz de confusión.

Clases	Referencia				Total	Exactitud usuario	Error comisión
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n			
Clase 1	X11				X1+	X11/X1+	1-X11/X1+
Clase 2		X22			X2+	X22/X2+	1-X22/X2+
Clase 3			X33		X3+	X33/X3+	1-X33/X3+
Clase n				Xnn	Xn+	Xnn/Xn+	1-Xnn/Xn+
Total	X+1	X+2	X+3	X+n	$\sum X_{ij}$		
Exactitud productor	X11/X+1	X22/X+2	X33/X+3	Xnn/X+n			
Error omisión	1-X11/X+1	1-X22/X+2	1-X33/X+3	1-Xnn/X+n			

Fuente: Santillán (2016).



Resultados y Discusión

Teniendo en cuenta los valores ofrecidos por la clasificación realizada, en cuanto a la matriz de confusión y la veracidad de los mismos, el Cuadro 4 muestra que para cada uno de los casos los porcentajes de clasificación son correctos; éstos están centrados en los verdaderos positivos y los verdaderos negativos; en el caso de la cobertura clasificada como actividad ganadera, el sesgo es mayor, pues el índice de clasificación de falsos positivos y falsos negativos es alto, lo que indica que en tal sentido pueden existir diferencias en cuanto el resultado final. No obstante, está en un porcentaje asimilable desde el punto de vista de lo estimado por el software, coincidiendo con Santillán (2016), quien obtuvo en la clasificación un porcentaje de falsos positivos y negativos para zonas dedicadas al pasto del 30%.

Cuadro 4. Variables que determinan la confiabilidad de la clasificación supervisada.

Clases	TP	TN	FP	FN
Cuerpo de agua	0.02%	97.04%	1.47%	1.47%
Selva	5.86%	57.46%	18.34%	18.34%
Actividad ganadera	46.68%	10.03%	21.64%	21.64%
Agricultura de temporada	0.36%	88.39%	5.63%	5.63%

El comportamiento de los indicadores de fiabilidad muestra que la especificidad y exactitud se corresponden con los valores obtenidos por Pontius *et al.* (2004), Santillán (2016) y Barrero-Mendel *et al.* (2022), quienes centran la clasificación supervisada de cada una de las clases en la manera que la herramienta de clasificación se exacta y específica o siendo así para la actividad ganadera, la cual presenta mayor precisión y sensibilidad, lo que indica la existencia de áreas con una clasificación no adecuada a la actividad medida, coincidiendo con los resultados obtenidos por Farfán *et al.* (2016) (Cuadro 5).

Se obtuvieron dos capas de uso y coberturas para el Municipio de Jesús Carranza. Hay coincidencia en las categorías cuerpos de agua, bosque tropical perennifolio (selva), ganadería y agricultura de temporada, coincidiendo con autores como Ramos *et al.* (2019).

La Figura 4 muestra la distribución de las principales actividades productivas y tipo de cobertura de suelo en el municipio de Jesús Carranza del año 2016.

Cuadro 5. Indicadores de interpretación de la clasificación supervisada.

Indicadores	Cuerpo de agua	Selva	Actividad ganadera	Agricultura de temporada
Sensibilidad	1%	24%	68%	6%
Especificidad	99%	76%	32%	94%
Exactitud	97%	63%	57%	89%
Precisión	1%	24%	68%	6%

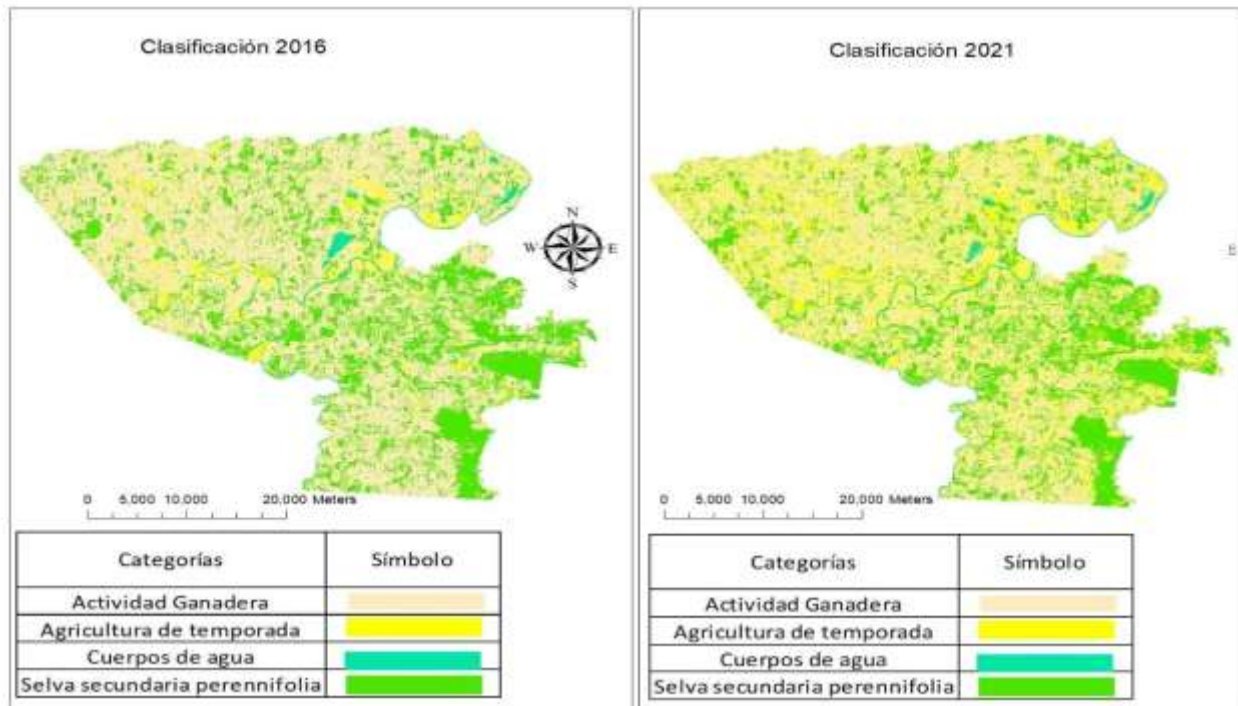


Figura 4: Mapas de cobertura vegetal y suelo en el municipio Jesús Carranza comprendido para los años 2016 y 2021.

En el caso del año 2021, de acuerdo al análisis generado con las imágenes, se observan modificaciones de las variables obtenidas respecto al año 2016, lo que representa un problema con los recursos hídricos y forestales evidenciados por autores como Villegas y Gómez (2020), quienes plantean cómo se desarrollan los procesos de intercambio entre la cobertura de bosques de pino y las demás coberturas presentes en un territorio dado.

De acuerdo con dichos autores, en un inicio, el suelo está cubierto por bosques de pino, áreas que posteriormente fueron deforestadas para ampliar los terrenos utilizados para la agricultura; posteriormente, cuando estos terrenos comenzaron a brindar rendimientos bajos de producción de maíz,



papa o avena forrajera, principalmente, fueron abandonados por los agricultores y parte de estas áreas se transforman de manera natural en pastizales y, en menor extensión territorial, se regeneran de manera natural, dando paso a nuevas áreas de bosque, pero con menor terreno ocupado.

Dado que el municipio Jesús Carranza es conocido a nivel estatal como zona ganadera, dicha actividad mostró un incremento de 3,644.2 ha del año 2016 al 2021, lo que repercute en el incremento de pastizal cultivable y la disminución de zona boscosa; en la actividad de agricultura de temporada su incremento fue de 1,918 ha, dado que en la mayoría de sus casos la agricultura se lleva a cabo en la rivera del río, también se puede mencionar que el cambio drástico de esta variable fue el incremento en el valor del maíz y sorgo ya que dichos productos son los más consumibles en la zona coincidiendo con lo planteado por Santillán (2016) y Barrero-Mendel *et al.* (2022) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de transición de Pontius para usos y coberturas en el período 2016- 2021. Jesús Carranza, Veracruz, México.

	Año 2021					Total 2016
	Cuerpos de agua	Bosque tropical	Ganadería	Agricultura de temporal		
Cuerpos de agua	1838	234.2	12.2	125	2321.4	483.4
Bosque tropical	54.3	39595	3425	1230	44304.3	4709.3
Ganadería	324	852.4	98241	563	99980.4	1739.4
Agricultura de temporal	230.2	1036	95	9365	10726.2	1361.2
Total 2021	2446.5	41717.6	101885.2	11283	157332.3	
Ganancias	608.5	2122.6	3644.2	1918		

En cuanto al cambio de uso de suelo y cobertura, es importante destacar el aumento en zonas donde se realiza la actividad de ganadería debido a la importancia de esta labor en la zona, misma que ocupa la mayor área, con 101,885.2 hectáreas. Esta actividad se realiza en pastizales, lo que supone una amenaza para la persistencia de terrenos ocupados por bosques, los cuales, asociados a la tala ilícita de maderas preciosas e intensificación de la agricultura, suponen grandes pérdidas de extensiones de tierra.

La Figura 5 muestra que el valor mayor de ganancias lo presenta la cobertura vegetal destinada a la ganadería, actividad fundamental en México como país productor de carne de res y ganado bovino. El



incremento en los años de estudio asciende a las 3,642.2 ha, cuando la actividad ganadera se incrementó debido a que se fusionó con el crecimiento poblacional, por lo que dicha variable incrementó en un porcentaje alto. Evidentemente, el conjunto con menos ganancia está representado por los cuerpos de agua, condicionado por los cada vez más extensos períodos de sequía en la zona sur del país y la sobre explotación de los márgenes del río para la actividad de agricultura de temporada.

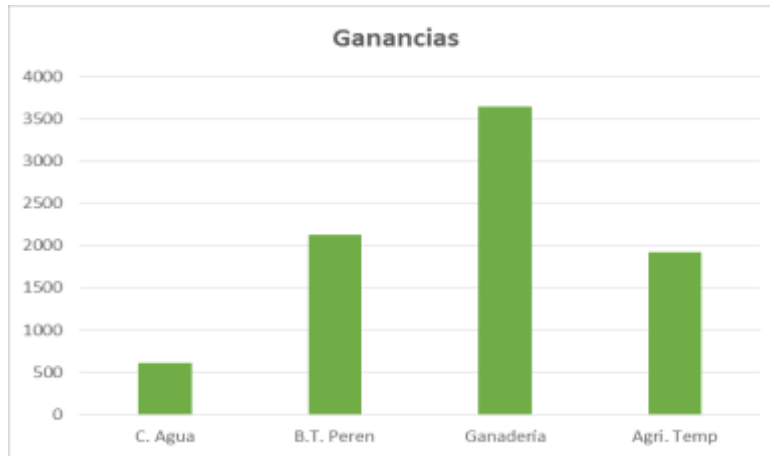


Figura 5. Ganancia de la cobertura vegetal destinada a los diferentes usos.

La pérdida de bosque tropical perennifolio fue de 5.86%, con un promedio de pérdida de 4.65 ha en los seis años, disminución debida al cambio de uso del suelo forestal a actividad ganadera. En el municipio de Jesús Carranza, con el apoyo de sembrando vida, muchos derivaron sus pequeñas reservas de bosques tropicales existentes en su parcela (Figura 6).

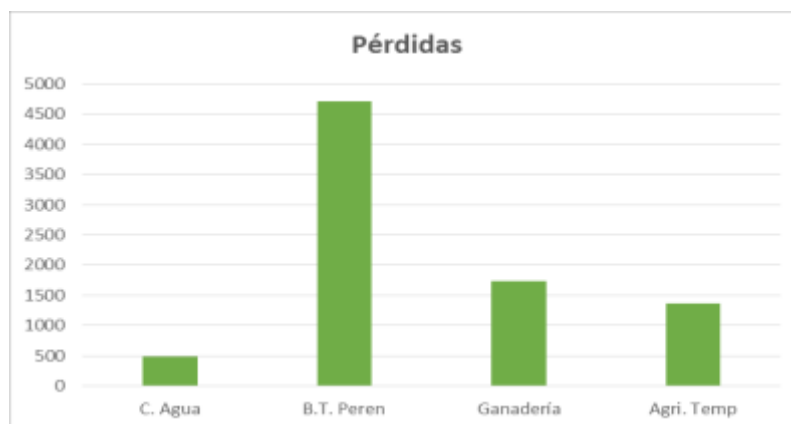


Figura 6. Perdidas de cobertura vegetal producto al cambio de actividad.



En tal sentido, Gordillo-Ruiz y Castillo-Santiago (2017) reportaron que de 1992 a 2009, la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México, presentó cambios importantes en su estructura espacial. Los bosques sufrieron un descenso de 663 ha, lo que representó 8.7% de la superficie original y corresponde a una tasa de deforestación del 0.5%; la vegetación secundaria disminuyó en 177 ha, lo que representó 1.5% de la extensión original. El área de cultivos tuvo una disminución de 3,538 ha, lo que representó 24.2% del área original de 1992, mientras que los asentamientos humanos se expandieron en 4,331 ha, lo que equivale a un crecimiento del 63%. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos en la matriz de transición obtenida para esta investigación.

En cuanto al cambio neto de la cobertura vegetal, el mayor valor lo obtuvo el área dedicada a la ganadería, con 1,904.8 ha, no siendo así en la cobertura clasificada como bosque tropical perennifolio, el cual posee valor de cambio neto negativo de -2,586.7 hectáreas. Lo anterior coincide con Pastrana (2016), quien menciona que los bosques son objeto de constante cambio, los cuales quedan a merced de la tala ilegal y la intensificación de la agricultura (Figura 7).

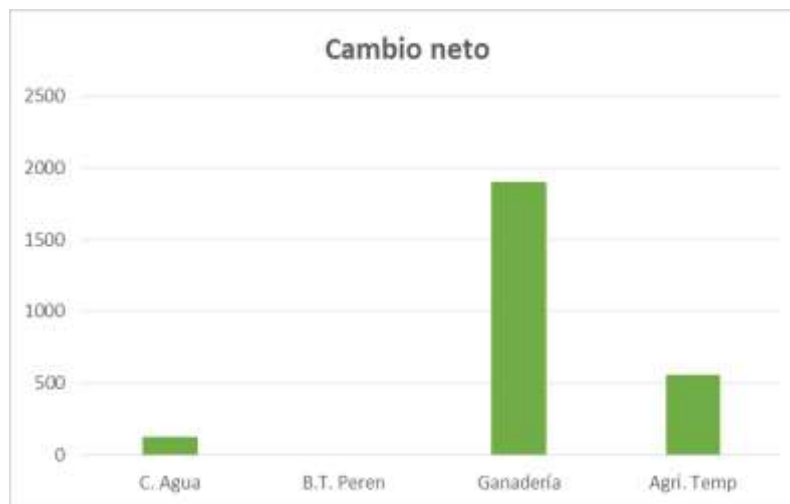


Figura 7. Cambio neto de la cobertura vegetal.

El cambio total queda evidenciado con mayor valor en el bosque tropical perennifolio con 6,931.9 ha y las zonas reconvertidas a actividad ganadera con 5,383.6 ha, manifestándose de esta manera la relación dinamizada entre las diferentes coberturas vegetales y los usos de las mismas. En la mayoría de los casos, los bosques que no presentan régimen de área protegida son los que más sufren de las



modificaciones del ecosistema donde se desarrollan, lo que trae consigo la migración de la fauna del sitio (Figura 8).

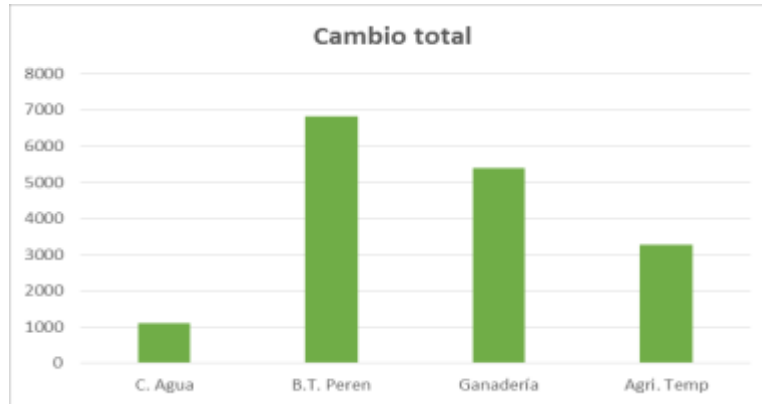


Figura 8. Cambio total de la cobertura vegetal.

El fenómeno más importante a determinar es la tasa de deforestación; de acuerdo con la CEPAL (2020), México ocupa uno de los primeros lugares en tasas de deforestación en el mundo. Los rangos de las tasas de deforestación fluctúan entre 75,000 ha/año a cerca de 1.98 millones de ha por año. En ese sentido, para demostrar la tasa de deforestación para el municipio de Jesús Carranza se tomaron los valores de bosque tropical perennifolio de los años 2016 y 2021 respectivamente con los datos necesarios para dicho cálculo.

La tasa calculada fue de -0.522%, lo que significa una pérdida de 1,350.4 ha/año, manifestándose en la variación del uso de suelo partiendo de la extracción de árboles con valor económico para su comercialización y, a su vez, la reconversión de estas áreas en zonas para la actividad ganadera. La Figura 9 muestra cómo se han ido desvaneciendo el bosque y los cuerpos de agua de manera acelerada, lo cual es preocupante, puesto que las múltiples funciones que realiza el bosque quedan a merced de los contrastes productivos de los ganaderos y los encarados de la agricultura de temporada.

Resultados similares obtuvo Santillán (2016), quien determinó una tasa negativa de cambio anual de 4.6% del área de bosques, representando 940.69 ha/año en el valle de Sico Paulaya, Honduras. Por otra parte, hay autores que plantean que el ecosistema de una microcuenca alto andina se ha visto más amenazado con una tasa de cambio anual de -22.7 ha/año y una tasa porcentual de cambio anual de -2.93% de su superficie/año.

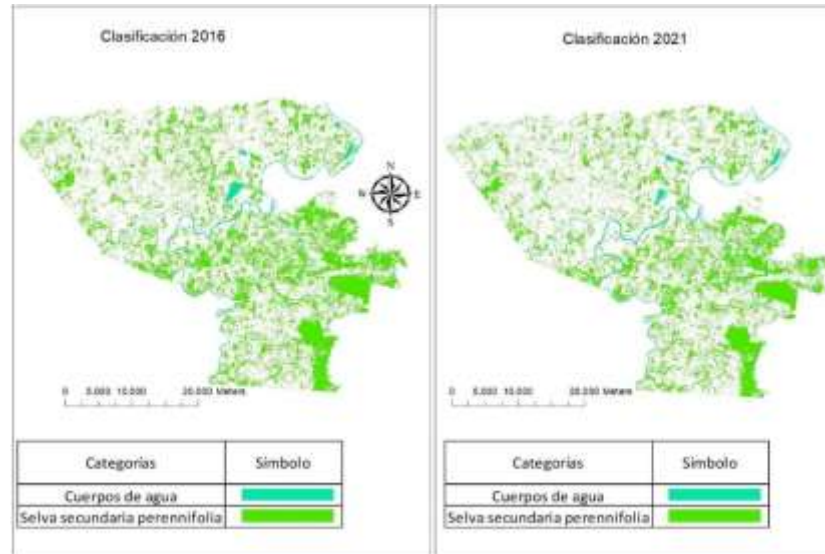


Figura 9. Variación del estado de la vegetación y cuerpo de agua del 2016 al 2021.

Conclusiones

1. Los mapas de usos de suelo y vegetación del municipio Jesús Carranza, obtenidos para los años 2016 y 2021, indican una predominancia de áreas dedicadas a la actividad ganadera, con una transición de las zonas de bosque tropical perennifolio a la actividad ganadera.
2. Las zonas que comprenden los bosques tropicales perennifolios, del municipio analizado, presentaron una pérdida de 4709.3 ha en los años comprendidos entre 2016 y 2021.
3. La tasa de deforestación para el municipio fue de -0.522%, lo que representa 1350.4 ha/año en el período estudiado.
4. En el caso de las áreas dedicadas a la agricultura de temporal, se evidencia un incremento de 1918 ha, actividad realizada a los márgenes de los cuerpos de agua, lo que va desplazando a su vez los bosques de galerías, los cuales cumplen con la importante labor de proteger los recursos hídricos, además de funcionar como fajas hidrorreguladoras.



Literatura Citada

- Ariza-López F. J., J. Rodríguez-Avi, V. Alba-Fernández. 2018. Control estricto de matrices de confusión por medio de distribuciones multinomiales. *GeoFocus* 21:215-226.
- Barrero-Medel, H., D. A. Vistín G., H. P. Bastidas P., E. A. Muñoz J., Y. Zárate P. y D. Guerra C. 2022. Dinámica de cambio de uso de suelo del sector Guangras en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 10(1):44-58.
- CEPAL, N. 2020. Informe FAO-CEPAL. Cómo evitar que la crisis del COVID-19 se transforme en una crisis alimentaria.
- Farfán G., M., G. Rodríguez-Tapia y J. F. Mas. 2016. Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones geográficas* (90):89-104.
- Gordillo-Ruiz, M. C. y M. A. Castillo-Santiago. 2017. Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 4(10):39-49.
- Hernández-Pérez, E., J. G. García-Franco, G. Vázquez y E. C. de Rosas. 2022. Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989–2015). *Madera y Bosques* 28(1).
- Leija, E. G., P. N. Pavón, A. Sánchez-González y G. Ángeles-Pérez. 2021. Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación). *Revista Cartográfica* (102):43-68.
- Pastrana, O. P. 2011. Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Geografía y Geomática Ing. Jorge L. Tamayo, A.C. Centrogeo. México.



- Pontius Jr, R. G., E. Shusas and M. McEachern. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2-3):251-268.
- Ramos R., R., M. A. Palomeque de la C., J. C. Núñez y R. Sánchez H. 2019. Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo. Tabasco (2000-2010-2030). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(53):118-139.
- Reyes H., H., M. Aguilar R., J. R. Aguirre R. e I. Trejo V. 2006. Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones geográficas* (59):26-42.
- Sahagún-Sánchez, F. J. y H. Reyes-Hernández. 2018. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT* 12(2):6-21.
- Santillán, D. E. (2016). Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras. Tesis de licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras
- SEMARNAT. 2008. Información ambiental de SEMARNAT. Información de la situación de medio ambiente en México. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/index_informe_2008.html
- Villegas M., D. y W. Gómez D. 2020. Procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación en un área natural protegida de la Región Centro de México. *Acta Universitaria* 30:e2864.



BACTERIAS PATÓGENAS RESISTENTES A ANTIBIÓTICOS AISLADAS DE HUMEDALES CONSTRUIDOS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PORCINAS

Elizabeth Herrera Utrera³⁹¹, José Antonio Fernández Viveros³⁹¹, Félix David Murillo Cuevas³⁹¹, Luis Carlos Sandoval Herazo³⁹² y Jacel Adame García^{391*}

Resumen

Actualmente la humanidad se enfrenta con un grave problema, la resistencia que están generando los microorganismos bacterianos patógenos frente a distintos antibióticos. Principalmente las bacterias patógenas se encuentran en aguas domésticas, industriales, agrícolas y porcinas, a las cuales no se les está dando un tratamiento, provocando contaminación en los cuerpos de agua, poniendo en riesgo la salud de la población y los ecosistemas. La porcicultura es considerada una actividad que provoca un efecto altamente negativo para el medio ambiente, ya que los residuos de heces y orina contienen microorganismos patógenos al igual que residuos antimicrobianos. Una alternativa para tratar las aguas porcinas son los humedales construidos (HC), que están compuestos por vegetación, sustrato, suelo y aguas residuales. El Instituto Tecnológico Superior de Misantla se encuentran trabajando con este tipo de tratamientos, de los cuales se tomaron muestras de agua y sustrato para desarrollar este trabajo, con el objetivo determinar la presencia de bacterias patógenas con resistencia a antibióticos presentes en el proceso de degradación de contaminantes de aguas residuales de la industria porcina en HC. Se realizaron muestreos en tres HC, se tomaron muestras en la entrada, centro y salida del HC. Se aislaron las bacterias patógenas con un medio de cultivo específico y se realizaron pruebas de resistencia a antibióticos de uso humano y uso veterinario con la finalidad de determinar si estas bacterias presentaban resistencia a los distintos antibióticos. Se observó que los antibióticos de uso veterinario inhiben con más eficacia a las cepas bacterianas presentes en las aguas residuales porcinas; sin embargo, algunas de las bacterias aisladas presentaron resistencia a los antibióticos de uso humano.

³⁹¹ Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. *jacel.ag@ugalvan.tecnm.mx

³⁹² Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.



Palabras clave: *Escherichia coli*, emicina, oxitetraciclina, enrofloxacina, dicloxacilina

Introducción

A nivel mundial, la contaminación del agua es un problema grave debido a que afecta negativamente a los ecosistemas; esta contaminación es por la falta de plantas de tratamiento de aguas residuales que sean económicas, ecológicas y de fácil funcionamiento (Wang *et al.*, 2018). En la actualidad existen tecnologías sofisticadas y eficientes para llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales; sin embargo, representan alto consumo de energía, de mano de obra y su mantenimiento es caro, lo que provoca que no se lleve a cabo el tratamiento de aguas como debe ser (Vymazal, 2014). En México existen pequeñas y microempresas que generan durante sus procesos productivos aguas residuales, a las que en su mayoría no se les da tratamiento, tal es el caso de las microempresas porcinas. Por lo que la ausencia de plantas de tratamiento de aguas residuales ha provocado un fuerte impacto negativo en el ambiente (Núñez, 2017).

En los animales criados para consumo humano se emplean antibióticos con fines terapéuticos y preventivos, pero también como promotores del crecimiento. Este último implica el tiempo de uso prolongado, lo que favorece la presencia de cepas bacterianas resistentes (Arribas, 2019). Se han realizado numerosos estudios para determinar la resistencia a los antibióticos en el entorno humano y ganadero, que son sometidos a una alta presión selectiva. Tanto en humanos como en animales, existen trabajos que mencionan que la exposición prolongada a los antibióticos conlleva un incremento en la presencia de bacterias resistentes (Baron *et al.*, 2014; Chantziaras *et al.*, 2014; Chiotos *et al.*, 2017).

Los antibióticos empleados en la industria veterinaria se utilizan para la engorda de los animales y para prevenir enfermedades. El uso de fármacos como los antibióticos para la producción animal es una práctica que carece de regulación, control y supervisión, por lo que favorece el uso inadecuado de medicamentos, lo que provoca que las cepas desarrollen resistencia a los antibióticos, tanto las bacterias patógenas como las no patógenas (Doyle, 2012; Mattar *et al.*, 2009).

La producción porcina provoca efectos negativos al ambiente debido a que producen grandes cantidades de heces y orina, desechos que además de contener nutrientes, material orgánico e inorgánico, contienen microorganismos patógenos y residuos antimicrobianos (Segura y Maria, 2020).



Los humedales construidos (HC) son una alternativa para el tratamiento de estas aguas residuales, los cuales son sistemas diseñados y construidos que involucran vegetación, sólidos y microorganismos asociados para llevar a cabo la degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales (Vymazal, 2005).

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la presencia de bacterias patógenas con resistencia a antibióticos presentes en el proceso de degradación de contaminantes en aguas residuales de industria porcina en humedales construidos.

Materiales y Métodos

Localización del sitio de estudio

Las muestras se tomaron de los HC (Figura 1) ubicados en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, ubicado en el Km 1.8 de la carretera Lomas del Cojolite, Misantla, Veracruz, localizado a una latitud de 19° 94' 97.85" N y una longitud de 96° 84' 41.2" O. Los HC cuentan con sustrato de tezontle rojo, el cual es un material inerte, sin presencia de sustancias tóxicas y con un pH neutro; asimismo, cuentan con plantas de *Heliconia* spp., *Canna* spp. e *Iris germánica*. Se realizaron muestreos en cuatro HC, en tres puntos en cada uno: en la entrada, parte central y en la salida.



Figura 1. Humedales construidos del Instituto Tecnológico Superior de Misantla.



El procesamiento de muestras se realizó en el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván. Para el aislamiento de las bacterias patógenas (*Escherichia coli*) se empleó medio de cultivo específico para *E. coli* (Difco® EC Medim BD). Se seleccionaron las diluciones 10^{-6} y 10^{-7} y se inocularon al medio mediante la técnica de caja vaciada.

La resistencia a antibióticos de las bacterias fecales se evaluó de las cepas seleccionadas a partir del medio para *E. coli* y se realizó mediante el método de la difusión en discos. Para lo cual, con un palillo se tomó muestra de cepa bacteriana y se introdujo a tubos para centrífuga de 15 mL, los cuales contenían 10 mL de medio de cultivo líquido Caldo Luria DIBICO® (20 g L^{-1}), se incubaron en agitación a 35°C durante 72 h. A partir del crecimiento bacteriano, se tomó 1 mL y se inoculó en cajas Petri que contenían medio Mueller Hinton MCD LAB® (38 g L^{-1}) y, con un triángulo de cristal, se esparció la muestra por toda la caja.

Posteriormente se colocaron los discos de papel filtro SARTORIUS® esterilizados en calor seco, a cada disco se le aplicó $1 \mu\text{L}$ del antibiótico a evaluar. Las cajas se incubaron a 32°C durante 24 h y posteriormente se midió el halo de inhibición con un vernier. Se observaron colonias que mostraron comportamientos resistentes y medianamente resistentes en función del tamaño del halo de inhibición.

Los antibióticos empleados en el trabajo fueron: a) para uso humano: Trimetoprima/Sulfametoxazol (400/80 mg), Nitrofurantoina (100 mg), Ciprofloxacino (250 mg), Ampicilina (500 mg), Dicloxacilina (500 mg), Clorafenicol (5 mg/ mL); b) para uso veterinario: Oxitetraciclina HCl (50 mg), Oxitraciclina (200 mg), Enrofloxacin (50 mg).

Resultados y Discusión

Se seleccionaron 20 cepas bacterianas a partir de las muestras de agua y 17 cepas de las muestras de sustrato, todas ellas desarrolladas en medio específico para *E. coli*. Con respecto al sitio del humedal se observó que el mayor número de cepas bacterianas se obtuvieron en el inicio de los humedales construidos, esto indica que al pasar las aguas residuales a través del sustrato y plantas el número de cepas bacterianas disminuye considerablemente.

De las cepas aisladas a partir de las muestras de agua, 65% presentó resistencia a la Dicloxacilina, 60% a la Nitrofurantoina y 35% fue resistente al antibiótico Clorafenicol; mientras que 10% a la Ampicilina y 5% a la Trimetoprima/Sulfametoxazol (Figura 2).

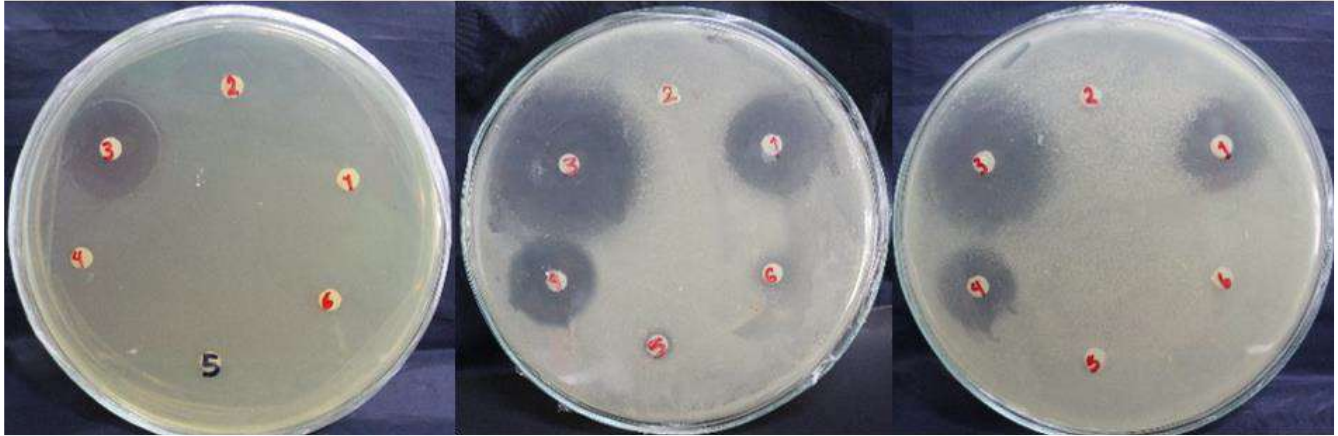


Figura 2. Cepas bacterianas obtenidas de muestras de aguas, resistentes a antibióticos de uso humano. 1) Trimetoprima/Sulfametoxazol, 2) Nitrofurantoina, 3) Ciprofloxacino, 4) Ampicilina, 5) Dicloxacilina y 6) Clorafenicol.

Por otra parte, cuando se evaluaron los antibióticos de uso humano en las cepas bacterianas obtenidas de las muestras de sustrato, 88.2% presentaron resistencia a la Nitrofurantoina, 64.7% a la Dicloxacilina, 64.7% al antibiótico Clorafenicol, 41.1% a la Ampicilina y 17.6% a la Trimetoprima/Sulfametoxazol (Figura 3).



Figura 3. Cepas bacterianas obtenidas de muestras de sustrato, resistentes a antibióticos. 1) Trimetoprima/Sulfametoxazol, 2) Nitrofurantoina, 3) Ciprofloxacino, 4) Ampicilina, 5) Dicloxacilina y 6) Clorafenicol.

La resistencia a los antibióticos de uso humano en cepas bacterianas en aguas residuales porcinas es un tema de importancia, ya que estas aguas son vertidas directamente al suelo o a fuentes de agua como ríos, lo que puede provocar enfermedades a los seres humanos en las que el agente causal puede ser una

bacteria con resistencia a los antibióticos de uso común. En lo que respecta a los antibióticos de uso veterinario, 10% de las cepas bacterianas aisladas de agua presentaron resistencia a la Oxitetraciclina HCl, mientras que 10% a Enrofloxacin y 5% de las cepas fueron resistentes a la Oxitetraciclina (Figura 4). A diferencia de las cepas bacterianas aisladas a partir de muestras de agua, las de sustrato todas fueron susceptibles a los antibióticos de uso veterinario (Figura 5).



Figura 4. Cepas bacterianas obtenidas de muestras de agua, resistentes a antibióticos de uso veterinario. 1) Oxitetraciclina HCl (50 mg), 2) Oxitetraciclina (200 mg) y 3) Enrofloxacin (50 mg).



Figura 5. Cepas bacterianas obtenidas de muestras de sustrato, que no presentaron resistencia a antibióticos de uso veterinario. 1) Oxitetraciclina HCl (50 mg), 2) Oxitetraciclina (200 mg) y 3) Enrofloxacin (50 mg).

En lo que respecta al uso de antibióticos en animales no se presenta la resistencia tan marcada como en seres humanos, esto puede ser debido a que el uso de los antibióticos no es tan diverso como en el caso de humanos, por lo regular no combinan entre varios antibióticos y si no se ve mejora en el animal lo



sacrifican. En la medicina humana y veterinaria, producción animal, la agricultura, la acuicultura y la tecnología alimentaria se ha abusado en el uso de los antibióticos, lo que ha provocado que aumente la resistencia en bacterias principalmente a los antibióticos y de otros fármacos (Barbosa y Levy, 2000; Baquero *et al.*, 2008). La mayor resistencia a los antibióticos se encuentra en hospitales, centros de atención y grandes operaciones ganaderas en las que se usan cotidianamente los antibióticos; sin embargo, existen reportes de que se pueden encontrar bacterias resistentes en aguas residuales, aguas superficiales, aguas subterráneas, sedimentos y suelos, y cada vez más en la superficie ambientes acuáticos (Baquero *et al.*, 2008).

Debido a que las descargas de aguas residuales son desechadas sin tratamiento a los ecosistemas acuáticos, en ellos se han detectado bacterias de origen fecal resistentes a los antibióticos, esto trae efectos negativos a la salud humana y animal debido a que estas bacterias pueden transferir la resistencia a las bacterias autóctonas a través de la transferencia horizontal de genes, lo cual es responsable de que las bacterias presenten la resistencia a los antibióticos (Davison, 1999).

Debido a la alta cantidad de biomasa microbiana y abundancia de nutrientes presentes en las aguas residuales, las plantas de tratamiento de aguas residuales o los HC para tratar estos desechos, pueden servir como posibles puntos calientes para que se lleve a cabo la transferencia horizontal de genes entre las bacterias que allí habitan, las cuales transfieren sus plásmidos y transponen a otras bacterias, los cuales codifican la resistencia a los antibióticos (Guardabassi *et al.*, 2002).

En lo que respecta a trabajos relacionados con bacterias que presentan resistencia a antibióticos y que están presentes en humedales construidos, Helt *et al.* (2012) señalan que los indicadores de contaminación fecal *Escherichia coli* y *Enterococcus* spp. desarrollaron un notable incremento a la resistencia al estar en exposición a antibióticos como el Ciprofloxacino. Los mismos autores determinaron que la resistencia de *Enterococcus* spp. fue significativamente más elevada que la de *E. coli* que mostró porcentajes elevados de resistencia (96%, 96% y 100%) a antibióticos como Ciprofloxacino, Linezolid y Estreptomina respectivamente.

Por otra parte, Sidrach-Cardona *et al.* (2014) evaluaron en Coliformes, *Escherichia coli*, y *Enterococcus* la resistencia a los antibióticos como Amoxicilina, Ácido clavulánico, Azitromicina y Doxiciclina en HC. Al igual que en este trabajo, en los resultados obtenidos por los autores se demuestra que las bacterias fecales presentan resistencia a los antibióticos evaluados.

Finalmente, los resultados de este trabajo se relacionan con los obtenidos por otros autores, quienes evaluaron la resistencia a los antibióticos Tetraciclina, Cloranfenicol, Estreptomina, Trimetoprima-



Sulfametoxazol, Ampicilina Nitrofurantoína y Ácido Nalidíxico encontrando que el 73% de las cepas bacterianas patógenas estudiadas, fueron resistentes a todos los antibióticos utilizados, el 23.7% al Cloranfenicol, el 21.5% Trimetoprima-Sulfametoxazol, a la Ampicilina el 19.4% y un 3.2% a Nitrofurantoína. Los autores mencionan que las cepas de *E. coli* son más resistentes a Cloranfenicol, Trimetoprima-Sulfametoxazol, Ampicilina y Nitrofurantoína que las cepas de *Salmonella* spp.

Conclusiones

1. Se aislaron bacterias patógenas de los humedales construidos, de los cuales se obtuvieron 20 cepas en las muestras de agua y 17 cepas en las muestras de sustrato.
2. Se encontró que las bacterias aisladas en las aguas residuales porcinas tratadas en humedales construidos son resistentes a algunos antibióticos de uso humano como Dicloxacilina, Nitrofurantoina, Clorafenicol, Ampicilina y Trimetroprima/ Sulfametoxazol.
3. En antibióticos de uso veterinario se presentó poca resistencia por parte de las bacterias. Principalmente a la Oxitetraciclina HCl, a la Enrofloxacin y a la Oxitraciclina.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México (TecNM) por el financiamiento del proyecto con clave 10516.21-P, para la realización del trabajo de Tesis de Licenciatura de la primera autora EHU.

Literatura Citada

- Arribas, C. A. A. 2019. Epidemiología molecular en *Escherichia coli* procedente de fauna salvaje. Tesis de doctorado. Universidad de La Rioja. España.
- Baquero, F., J. L. Martínez and R. Cantón. 2008. Antibiotics and antibiotic resistance in water environments. *Current Opinion in Biotechnology* 19(3):260-265.



- Barbosa, T. M., and S. B. Levy. 2000. The impact of antibiotic use on resistance development and persistence. *Drug Resistance Updates* 3(5):303-311.
- Baron, S., E. Jouy, E. Larvor, F. Eono, S. Bougeard and I. Kempf. 2014. Impact of third-generation-cephalosporin administration in hatcheries on fecal *Escherichia coli* antimicrobial resistance in broilers and layers. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 58(9):5428-5434.
- Chantziaras, I., F. Boyen, B. Callens and J. Dewulf. 2014. Correlation between veterinary antimicrobial use and antimicrobial resistance in food-producing animals: a report on seven countries. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 69(3):827-834.
- Chiotos, K., P. D. Tamma, K. B. Flett, M. Naumann, M. V. Karandikar, W. B. Bilker *et al.* 2017. Multicenter study of the risk factors for colonization or infection with carbapenem-resistant Enterobacteriaceae in children. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy* 61(12):e01440-17.
- Davison, J. 1999. Genetic exchange between bacteria in the environment. *Plasmid* 42(2):73-91.
- Doyle, M. E. 2012. *Veterinary Drug Residues in Processed Meats-Potential Health Risk: A Review of the Scientific Literature*. Madison-Wisconsin: Food Research Institute. University of Wisconsin.
- Guardabassi, L., D. M. L. F. Wong and A. Dalsgaard. 2002. The effects of tertiary wastewater treatment on the prevalence of antimicrobial resistant bacteria. *Water Research* 36(8):1955-1964.
- Helt, C. D., K. P. Weber, R. L. Legge and R. M. Slawson. 2012. Antibiotic resistance profiles of representative wetland bacteria and faecal indicators following ciprofloxacin exposure in lab-scale constructed mesocosms. *Ecological Engineering* 39:113-122.
- Máttar, S., A. Calderón, D. Sotelo, M. Sierra y G. Tordecilla. 2009. Detección de antibióticos en leches: un problema de salud pública. *Revista de Salud Pública* 11:579-590.



Núñez, G. R. 2017. Evaluación de puestos en una microempresa. Caso: Sociedad Ganadera de los Altos.

Segura, M. and J. Maria. 2020. Impacto ambiental de la producción porcina y estrategias para su mitigación. Obtenido de: <https://www.porcicultura.com/destacado/Impacto-ambiental-de-la-produccion-porcina-y-estrategias-para-su-mitigacion> [consultado: 4 Marzo 2023].

Sidrach-Cardona, R., M. Hijosa-Valsero, E. Marti, J. L. Balcázar and E. Becares. 2014. Prevalence of antibiotic-resistant fecal bacteria in a river impacted by both an antibiotic production plant and urban treated discharges. *Science of the Total Environment* 488:220-227.

Vymazal, J. 2005. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Ecological engineering* 25(5):475-477.

Vymazal, J. 2014. Constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters: A review. *Ecological Engineering* 73:724-751.

Wang, J., Y. Tai, Y. Man, R. Wang, X. Feng, Y. Yang *et al.* 2018. Capacity of various single-stage constructed wetlands to treat domestic sewage under optimal temperature in Guangzhou City, South China. *Ecological Engineering* 115:35-44.



DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CAFÉ ROBUSTA (*Coffea canephora* L.) ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN DE ZONGOLICA, VERACRUZ

Aristarco Aguas Atlahua^{393†}, Eliseo García Pérez³⁹⁴, Ismael Quiroz Guerrero^{395*}, Jesús Antonio Quevedo Rodríguez³⁹³
y Cristal Arany Guerrero Ortiz³⁹³

Resumen

El agroecosistema café robusta (*Coffea canephora* L.) es un cultivo importante en las zonas con clima cálido-húmedo de la región de Zongolica, debido a que genera actividades económicas en la zona rural de esta región. Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo conocer la diversidad morfológica de ramas, hojas y frutos en *C. canephora* L., distribuida en un gradiente altitudinal y en una zona expuesta al cambio climático y si este modificará la distribución actual de *C. canephora*. Se realizó un análisis exploratorio en 17 parcelas de cafetos distribuidas en diferentes altitudes de los municipios de Tezonapa y Zongolica, las cuales se analizaron de acuerdo con los descriptores para *Coffea* spp. and *Psilanthus* spp. del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Posteriormente, se utilizaron estadísticos de tendencia central, de dispersión y análisis de frecuencias para la determinación de la diversidad morfológica presente en *C. canephora*. Asimismo, se realizó análisis clúster para permitir observar las posibles similitudes y diferencias en los cafetos que fueron muestreados. Para la determinación de la influencia del gradiente altitudinal sobre la diversidad morfológica se realizó un contraste entre la altitud óptima y altitud no óptima, para lo que se utilizó el programa estadístico Statistica 7.0. Para conocer el impacto del cambio climático sobre las parcelas se realizó una modelación con el software Maxent y los resultados cartografiados en QGIS 3.16. Se obtuvo la formación de dos grupos en las variables ángulo de inserción, proporción de granos caracol y ancho del fruto, así de localidades. La frecuencia de resultados con mayor valor se presentó en altitudes

³⁹³ Tecnológico Nacional de México, campus Zongolica. Km 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, 95005 Zongolica, Veracruz, México

³⁹⁴ Programa de Doctorado en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales, Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Km. 88.5 carretera federal Xalapa- Veracruz, predio Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México CP 91700.

³⁹⁵ Programa educativo de Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Campus Peñuela. Km. 1 carretera Peñuela-Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P.94500 (iquiroz@uv.mx)



no óptimas. El impacto del cambio climático beneficia a la distribución de *C. canephora* y su diversidad morfológica debido a que, para el año 2050, se extienden las condiciones ambientales excelentes para los dos municipios. La diversidad morfológica se presenta principalmente en la variable ángulo de inserción, los valores más altos de las variables morfológicas se encuentran en cafetos localizados en altitud no óptima y el cambio climático beneficia a *C. canephora* y su diversidad morfológica debido a que en el futuro cercano el ambiente excelente para el cultivo del café robusta se extenderá en los dos municipios de estudio.

Palabras clave: caficultura; vulnerabilidad; adaptación; resiliencia; agroindustria

Introducción

En México, la caficultura es una actividad agrícola e industrial de importancia económica y social, debido a que la producción de café se realiza principalmente por pequeños productores, en parcelas familiares, quienes obtienen beneficio económico, social y ambiental de este cultivo (SADER, 2020). De acuerdo a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, se estima que 80% de la producción nacional de café cereza proviene de productores que cuentan con menos de cinco hectáreas de cultivo, que es parte de su forma de vida y ha sido durante años su medio de subsistencia (SADER, 2020).

Por otra parte, el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022) indica que Veracruz es el segundo estado, a nivel nacional, productor de café cereza con una producción de 228,146.79 t en el año 2021. De igual manera, el municipio de Tezonapa es el principal productor de café, a nivel estatal, con 20,115.00 t y cuenta con una superficie de 15,900 ha. Asimismo, el municipio de Zongolica se encuentra en tercer lugar con 11,695.80 t y una superficie de 6,650 ha (SIAP, 2021).

No obstante, el cultivo de café es vulnerable ante las perturbaciones de temperaturas y precipitaciones provocadas por el cambio climático, teniendo en cuenta que estas variables climáticas tienen consecuencias severas sobre la producción del café, afectando la calidad del fruto y la productividad del aromático (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2022). Asimismo, los efectos de la variación climática afectan gran parte de la fisiología de la planta, debido a que el incremento de las temperaturas disminuye el crecimiento del cafeto y el inicio de la floración, las cuales se llegan a caer de las plantas



por fuertes precipitaciones y vientos, disminuyendo la formación del fruto y provocando pérdidas en la cosecha (Rivera-Silva *et al.*, 2013).

Los escenarios del cambio climático que se prevén en un lapso de tiempo futuro se consideran que podrían afectar a los pilares fundamentales que integran al cultivo de café, los cuales son: aspectos sociales, económicos y ambientales, importantes en el ciclo de este agroecosistema, también impactarán sobre los rendimientos, ocasionarán la propagación de plagas y enfermedades, con afectación directa en la cadena de valor del café y, por tanto, en la economía de las familias rurales que se dedican a esta actividad (Guerrero-Carrera *et al.*, 2020).

El cambio climático y sus efectos pueden alterar directamente la producción anual de café e incidir en las etapas fenológicas del cafeto. Los cambios en la temperatura y la precipitación ocasionan una reducción del crecimiento, de la floración y, en consecuencia, de la fructificación, lo que aunado al ataque de plagas y enfermedades merma significativamente la productividad de una parcela y el ingreso económico del productor (Ovalle-Rivera *et al.*, 2015; Rivera-Silva *et al.*, 2013). Ante la vulnerabilidad del agroecosistema café a los impactos del cambio climático es indispensable diseñar e implementar estrategias de adaptación y mitigación de la variación climática y, con ello, disminuir la vulnerabilidad, para ello es importante saber cómo será su distribución geográfica actual y futura, de lo contrario pueden presentarse pérdidas en la cadena productiva del café, si no se proponen medidas para hacer frente al cambio climático (Gómez-Tosca *et al.*, 2021; Hernández-Sánchez y Travieso-Bello, 2021; IPCC, 2015; Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2022). En este contexto, la siguiente investigación tiene como objetivo conocer la diversidad morfológica en ramas, hojas y frutos de *C. canephora* distribuida en un gradiente altitudinal y en una zona expuesta al cambio climático, y si este modificará la distribución actual de *C. canephora*.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El presente trabajo fue realizado en 17 parcelas cultivadas con café Robusta, con edades de más de 20 años, distribuidos en los municipios de Tezonapa y Zongolica, ubicados en la región de las Altas Montañas del Estado de Veracruz (SIEGVER, 2021).



Determinación de la diversidad morfológica de hojas, ramas y frutos de *C. canephora*

Una vez identificadas las plantaciones, se aplicó un cuestionario para recabar datos del productor, de la plantación y datos morfológicos de las plantas de café, estos fueron tomados con base a los descriptores para café (*Coffea* spp. and *Psilanthus* spp.) del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI, 1996). La distribución de las parcelas de café fue dividida en dos categorías de altitud (Farah y Ferreira, 2015): un ambiente óptimo (460-760 m) y no óptimo (fuera del rango entre los 460-760 msnm).

Impacto del cambio climático sobre las plantaciones de *C. canephora*

En el área de estudio fueron utilizados datos meteorológicos de más de 30 años que permitieron establecer una línea base, los que posteriormente fueron contrastados con los escenarios de cambio climático. Los datos climatológicos fueron extraídos de la base datos mundial *World Climate Database* CMIP5, la cual consta de 19 variables bioclimáticas y de datos climáticos mensuales asociados a la fisiología de las plantas. Las 19 variables climáticas fueron guardadas en formato *.grd* para posteriormente ser exportados como archivo *.asc* al programa Maxent (Scheldeman y Van Zonne, 2011). Para identificar los ambientes donde se localiza *C. canephora* y las áreas con posible impacto del cambio climático fueron extraídos datos de presencia en 34 bases de datos de herbarios, colecciones botánicas e investigaciones florísticas. Para el escenario futuro se realizó una proyección para el año 2050, por el cual se utilizaron los modelos de circulación global A2: CCCMA, HADCM3 y CSIRO (Scheldeman y Van Zonne, 2011).

Análisis estadístico

Los datos recabados de los descriptores morfológicos en plantas de *C. canephora* se capturaron en una matriz de Excel y exportados en formato de matriz al programa Statistica 7.0. Se utilizó estadística descriptiva de tendencia central y de dispersión, así como análisis de frecuencias y análisis clúster mediante la técnica de k-means.

Resultados y Discusión

Diversidad morfológica de *C. canephora*

En los descriptores de dimensión de la morfología de las plantas se encontró en promedio 4.3 m de altura, con una cobertura foliar de 5.8 m, 7 bandolas, ramas con longitud de 3.3 m, 13 nudos, 6.4 cm de



longitud de entrenudo-tallo y 7.5 cm de entrenudo-rama (Cuadro 1). Los datos anteriores difieren respecto a lo determinado por Castro *et al.* (2022) quienes determinaron en *C. canephora* una altura promedio de 3.4 m. De acuerdo con la Organización Internacional del Café [ICO] (2023), el arbusto de esta especie puede crecer hasta 10 m de altura.

Cuadro1. Análisis de tendencia central de los descriptores morfológicos cuantitativos en *C. canephora*.

Descriptor	N ^a	Media	Mínima	Máxima	Desv. Std.
Altura planta (m)	15	4.374	2.400	6.800	1.296
Diámetro cobertura foliar (m)	13	5.850	0.620	10.200	2.441
Número de bandolas	16	7.375	4.000	12.000	2.655
Longitud rama (m)	16	3.347	0.534	6.800	1.748
Nudos	17	12.988	8.000	19.900	3.098
Ángulo inserción rama (grados)	17	52.411	27.000	101.000	23.910
Longitud entrenudo-tallo (cm)	17	6.441	3.800	12.000	2.143
Longitud entrenudo-rama (cm)	17	7.535	5.100	12.100	2.084

En descriptores de hoja y fruto se presentaron en promedio 1 estípula, 21.6 cm de longitud de hoja, 8.6 cm de ancho de hoja, 1.5 cm de longitud de peciolo, 2% de frutos vanos, 2% de frutos vacíos, 12% de granos caracol y 2% de frutos dañados por broca (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis de tendencia central de variables aéreas de café.

Descriptor	N	Media	Mínima	Máxima	Desv.Std.
Arista estípula	17	0.916	0.360	6.200	1.375
Longitud hoja (cm)	17	21.618	17.900	25.100	2.171
Ancho hoja (cm)	17	8.611	7.400	11.200	0.983
Longitud peciolo foliar (cm)	17	1.515	1.200	1.900	0.221
Frutos vanos (%)	14	2.188	0.020	13.000	3.873
Proporción frutos vacíos (%)	8	1.608	0.020	7.000	2.893
Proporción granos caracol (%)	15	12.948	0.110	100.000	26.581
Daño frutos broca	14	2.187	0.010	9.000	3.363



La disposición de las estructuras morfológicas coincide con lo descrito por Farah y Ferreira (2015), quienes mencionan que las hojas son opuestas por lo que cada par de hojas se coloca en posición cruzada respecto al siguiente par. Las hojas aparecen brillantes, onduladas y de color verde oscuro con venas visibles. En la axila de cada hoja hay de cuatro a seis brotes en serie y, directamente encima de ellos, hay un brote un poco más grande llamado brote extra axilar. La longitud y ancho de la hoja fue mayor a lo determinado por Castro *et al.* (2023), pero menor en la longitud del peciolo.

Las variables que se pueden integrar en dos grupos fueron: Ángulo de inserción de la rama y proporción de granos caracol (Figura 1). El resto de las variables no mostraron divergencia para formar más de un grupo.

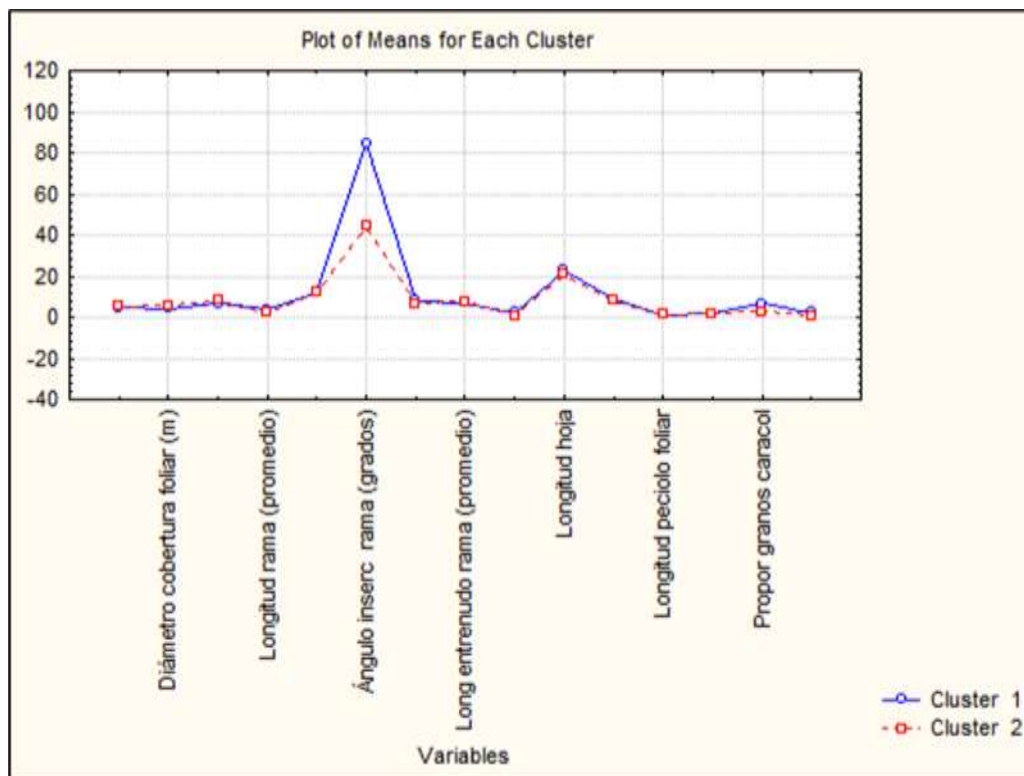


Figura 1. Análisis Clúster para las variables analizadas.

Altitud y diversidad morfológica

Los arbustos de café distribuidos en altitud óptima presentaron las siguientes características, respecto a los distribuidos a una altitud no óptima (Cuadro 3): arbustos más altos, con diámetro foliar, ángulo de inserción, número de bandolas, espesor del fruto y ancho del fruto mayores, mientras que la longitud



promedio de las ramas fue menor. Los valores determinados en las plantas localizadas en altitud óptima coinciden con condiciones de humedad, temperatura y tipo de suelo, los cuales son esenciales para el buen crecimiento y desarrollo de *C. canephora* (Farah y Ferreira, 2015).

Cuadro 3. Características de la morfología del cafeto y su distribución en el gradiente altitudinal.

Variable morfológica	Altitud óptima	Altitud no óptima
Altura de la planta (m)	4.2	4.6
Diámetro foliar (cm)	6.2	4.4
Ángulo de inserción de rama (cm)	63.6	46.0
Longitud de la rama (m)	3.1	3.9
Número de bandolas	8.0	5.0
Espesor del fruto (mm)	11.8	10.9
Ancho del fruto (mm)	19.1	13.1
Grados Brix (°)	17.2	17.4
Longitud del fruto (mm)	13.5	14.5
Peso del fruto (gr)	1.3	1.6

Distribución actual y potencial futura de *C. canephora*

Con base a lo obtenido en la modelación, 73% de las parcelas de *C. canephora* actualmente se encuentran distribuidas en un área en donde las condiciones ambientales son excelentes para el cultivo y 27% bajo condiciones buenas para el cultivo. *Coffea canephora*, a diferencia de *C. arabica*, requiere de temperaturas más cálidas (Figura 2). Con relación al impacto del cambio climático, el escenario para el año 2050, muestra que el ambiente excelente para el cultivo de *C. canephora* aumentará, por lo que el 100% de las parcelas muestreadas en ambos municipios para ese año se localizarán bajo condiciones excelentes de cultivo. El cambio climático es un fenómeno con impacto heterogéneo debido a que permitirá que algunas especies vegetales aumenten su distribución actual y a otras, disminuyan o restrinja dicha distribución actual.

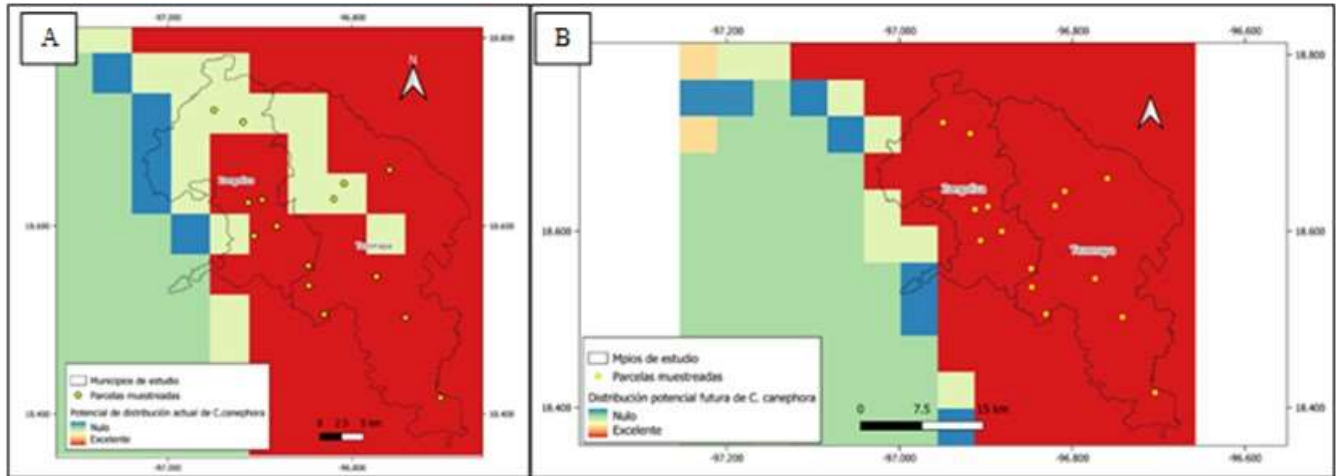


Figura 2. Distribución potencial actual (A) y futura (B) de *C. canephora* en la región de Zongolica.

El cambio climático puede alterar el inicio de la floración tanto para *C. canephora* como para *C. arabica*, lo cual está relacionada con el promedio de lluvia mensual y la amplitud de la sequía pre-estival que se presenta durante los meses de invierno. Asimismo, el cambio climático impactaría sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento del fruto, relacionadas principalmente a modificaciones en el superávit hídrico y el incremento de la sequía intra estival que se presenta durante la estación lluviosa (Villers *et al.*, 2009). Los escenarios de cambio climático muestran un aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, la cual presenta un efecto significativo en el rendimiento de café oro, debido a que con precipitaciones en el rango entre 1,400 y 1,600 mm no se obtuvieron más de 1.30 t/ha de café oro al año; mientras que valores de lluvias anuales entre 1,750 y 1,900 mm permitieron alcanzar rendimientos anuales entre 1.4 a 1.8 t/ha de café oro. Cuando las precipitaciones ascendieron a 2,000 mm, en ambos sitios, se obtuvieron 2 t/ha de café oro al año (Bustamante *et al.*, 2015).

Conclusiones

1. De acuerdo con la morfología determinada en *Coffea canephora* L., en la Región de Zongolica-Tezonapa se presentó diversidad morfológica en las variables ángulo de inserción, proporción de granos caracol y ancho del fruto.



2. Se formaron dos grandes grupos de localidades en donde se midieron las variables morfológicas a los cafetos; se debe considerar que las ligeras variaciones podrían ser influenciadas por una serie de factores propias del área de estudio como la altitud, las condiciones edafoclimáticas, el clima, la precipitación, la materia orgánica, edad de las plantas y las labores culturales que se le dan al cultivo, los cuales ocasionan una serie de atribuciones directamente sobre los cafetos, teniendo como resultado una variación significativa en la morfología del café.
3. Respecto a la distribución de los cafetos y sus características morfológicas se determinó que los valores altos se localizaron en plantas correspondientes a altitudes clasificadas como no óptimas y las variables en donde se presentó mayor diferencia fue en ancho del fruto, espesor del fruto y longitud del fruto; mientras que para el ambiente óptimo la variable que sobresalió fue ángulo de inserción. Dichas variables podrían presentar un efecto del manejo que realizan los productores con base a fertilización o podas.
4. Con relación al impacto del cambio climático se observó una variación en la distribución del ambiente debido a que actualmente existe una superficie en donde se cultiva *C. canephora* pero no presenta una condición de excelente; sin embargo, bajo el escenario de cambio climático para 2050, se extienden las condiciones ambientales en nivel de excelente para los dos municipios y, por consiguiente, todas las parcelas muestreadas quedarán bajo esa condición.
5. Es muy probable que las características homogéneas del clima no influyan sobre la diversidad morfológica de los cafetos establecidos para aquella época.

Literatura Citada

Bustamante, G. C., D. A. Pérez, E. R. Rivera, G. M. Martín A. y N. R. Viñals. 2015. Influencia de las precipitaciones en el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos Pardos de la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales* 36(4):21-27.

Castro F., D. A., F. O. Loli, O. A. M. Julca, D. J. Jiménez y S. R. Blas. 2022. Caracterización morfológica y molecular de diferentes genotipos de *Coffea canephora* y el comportamiento en vivero de su progenie en Chanchamayo. Universidad Nacional Agraria La Molina. La Molina, Lima, Perú. 136p.



- Farah, A., y Ferreira D. T. 2015. The coffee plant and beans: an introduction. p. 5-10. *In*: Preedy V. R. (ed.). Coffee in health and disease prevention. Academic Press. Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos.
- Guerrero-Carrera, J., J. Jaramillo-Villanueva, J. Mora-Rivera, A. Bustamante-González, S. Vargas-López y N. Chulim-Estrella. 2020. Impacto del cambio climático sobre la producción de café. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23:71.
- Gómez-Tosca, E. G., G. Alvarado-Castillo, G. Benítez, C. R. Cerdán-Cabrera e I. Estrada-Contreras. 2021. Distribución potencial actual y futura de *Coffea arabica* L. en la subcuenca Decozalapa, Veracruz, México. *Madera y Bosques* 27(2): e2722070.
- Hernández-Sánchez, M.I. y A. C. Travieso-Bello. 2021. Medidas de adaptación al cambio climático entre organizaciones cafeteras de la zona centro de Veracruz, México. *Tropical y Subtropical Agroecosystems* 24(1):1-10.
- International Coffee Organization (ICO), 2023. https://www.ico.org/es/botanical_c.asp
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2015. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). 1996. Descriptors for coffee (*Coffea* spp. and *Psilanthus* spp.). International Plant Genetic Resources Institute 36 p.
- Jaramillo-Villanueva, J. L., J. Guerrero-Carrera, S. Vargas-López y A. Bustamante-González, A. 2022. Percepción y adaptación de productores de café al cambio climático en Puebla y Oaxaca, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 9(1): e3170.



Ovalle-Rivera, O., P. Läderach, C. Bunn and M. Obersteiner. 2015. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. PLoS ONE 10(4):e0124155.

Rivera-Silva, M. D. R., I. Nikolskii-Gavrilov, M. Castillo-Álvarez, V. Ordaz-Chaparro, G. Díaz-Padilla y R. A. Guajardo-Panes. 2013. Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. Terra Latinoamericana 31(4):305-313.

Scheldeman, X. y M. van Zonneveld. 2011. Manual de capacitación en análisis espacial de diversidad y distribución de plantas. Primera edición. Bioversity International. Roma. 186 p.

Secretaría de Desarrollo Rural (SADER). 2020. El café una producción en manos sabias. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-cafe-una-produccion-en-manos-sabias>. (Consultado: el 18 de julio de 2022).

Sistema de información estadística y geográfica del estado de Veracruz (SIEGVER). 2021. Cuadernillos municipales 2021. Recuperado de <http://ceieg.veracruz.gob.mx/>. (Consultado el 25 de febrero de 2022).

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2021. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>. (Consultado: 18 de Julio de 2022).

Villers L., N. Arizpe, R. Orellana, C. Conde y J. Hernández. 2009. Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. Interciencia 34(5):322-329.



EVALUACIÓN DE RELACIÓN C:N EN ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN PLANTAS ACUÁTICAS EN HUMEDAL ARTIFICIAL PROTOTIPO

Dalia Guadalupe Mendoza López³⁹⁶, Lucero Portilla Romero³⁹⁶, Gabycarmen Rodríguez Navarrete³⁹⁶, Isabel Araceli Amaro Espejo³⁹⁶ y Fabiola Lango Reynoso^{396*}

Resumen

Los humedales naturales forman una parte importante en el ciclo del carbono; la captación del carbono se realiza mediante la fijación de dióxido de carbono a través de las plantas; el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición de cualquier organismo, en este caso, las plantas de los humedales; estos elementos deben estar en una relación idónea para lograr un buen desarrollo de las plantas y, a su vez, lograr una buena remoción de materia orgánica. Las plantas presentes en el humedal afectan el rendimiento del ecosistema y los ciclos biogeoquímicos, por lo que afectan la interacción entre el carbono y nitrógeno, ya que las raíces favorecen la entrada de carbono y la estabilización del suelo. La rapidez con que la que los microorganismos desintegradores descomponen la materia orgánica también depende de la relación C:N. Las plantas *Canna indica* y *Xanthosoma robustum* son excelentes para los procesos de remoción de nutrientes, por lo que en este estudio se observaron remociones de DBO de 300-400 mg/L y fueron disminuidas a 40-70 mg/L de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, estos valores se encuentran dentro de los máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Palabras clave: *Xanthosoma robustum*, *Canna indica*, tratamiento de agua

Introducción

El carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales en la nutrición de cualquier organismo, en este caso, las plantas de los humedales, elementos que deben estar en una relación idónea para lograr un

³⁹⁶ Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río. *Autor de correspondencia: fabiolalango@bdelrio.tecnm.mx



buen desarrollo de las plantas y, a su vez, lograr una buena remoción de materia orgánica (USDA-NRCS, 2011). Un humedal es un lugar donde la tierra está cubierta por agua, ya sea salada, dulce o en un punto intermedio. Sin embargo, también existen los humedales artificiales.

Un sistema de humedal artificial es el que está diseñado específicamente para mejorar la calidad del agua como objetivo principal. Estos tipos de humedales se pueden clasificar en dos tipos: de flujo vertical y de flujo horizontal. Los humedales de flujo vertical se denominan así porque se alimentan de manera intermitente a través de tuberías que son colocadas verticalmente. Los humedales artificiales de flujo horizontal tienen grava y arena donde se coloca vegetación, al pasar las aguas residuales a través de los sustratos se filtran partículas y microorganismos degradan los compuestos orgánicos (Tilley, 2018). Estos humedales de flujo horizontal se clasifican en superficial y subsuperficial (Mena-Sanz, 2008). Los humedales de flujo subsuperficial son desestimados por su baja capacidad de remoción en un tratamiento de aguas residuales. Pero al agregarles plantas esto cambia por la absorción y su remoción se vuelve mayor (Vymazal, 2020).

La vegetación desempeña un papel fundamental en la remoción de nutrientes y otros contaminantes del agua debido a que se encuentra estrictamente relacionado con factores intrínsecos de la planta. Existen tres grupos de elementos indispensables para la vida de las plantas (Dolores y Mora, 2014), los que se explican a continuación.

Las plantas presentes en un humedal afectan el rendimiento del ecosistema y los ciclos biogeoquímicos, lo que afecta la interacción entre el carbono y nitrógeno, ya que las raíces favorecen la entrada de carbono y la estabilización del suelo (Sakin, 2012).

El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo (Lefèvre *et al.*, 2017). Los humedales naturales ocupan entre el 4-6% de la superficie en la tierra, pero forman una parte importante en el ciclo del carbono. La captación del carbono se realiza mediante la fijación de dióxido de carbono a través de las plantas en humedales (Hernández, 2010).

La relación carbono nitrógeno (C:N) indica la fracción de carbono orgánico frente a la de nitrógeno; los excesos de cualquiera de estos dos componentes conllevan a una situación de carencia o un factor limitante. Si el medio es rico en carbono, pero pobre en nitrógeno, el consumo será lento, la temperatura será baja y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono a la atmósfera. Se han realizado estudios donde se determina que una baja relación de carbono disminuye la eficiencia de la desnitrificación (Yuan *et al.*, 2020). A su vez, si el nitrógeno se encuentra en altas concentraciones, este



será transformado en amoníaco impidiendo su correcta actividad biológica, generando una mineralización en el sistema. En cuanto al nitrógeno, es el que garantiza el crecimiento vegetativo de la planta, por otra parte, los residuos del nitrógeno se descomponen con mayor rapidez, pues a partir de él la planta es capaz de transformarlo en aminoácidos y éstos en proteínas (USDA-NRCS, 2011). La actividad y diversidad de nitrificantes y desnitrificantes se ven significativamente afectados por las especies de plantas (Tang *et al.*, 2020).

La rapidez con que la que los microorganismos desintegradores descomponen la materia orgánica depende de la relación C:N; si esta se encuentra en el rango de 15 a 20:1 se produce una descomposición con mayor rapidez y cuando dicha relación está por encima de 50 y menos de 10 la descomposición es lenta. De esta manera es probable que si el nitrógeno afecta la descomposición lo hace especialmente a través de la relación C:N del sustrato (Liu *et al.*, 2017).

Una relación C:N alrededor de 20 normalmente se encuentra presente en plantas jóvenes y gramíneas; sin embargo al madurar su tejido se genera una disminución del contenido de proteína y un aumento de lignina, esto resulta en un incremento de la relación a valores mayores a 30 (Fassbender, 1987).

En este proyecto se estudiaron los conceptos y teorías de la relación carbono – nitrógeno, así como su efecto en la absorción de nutrientes dependiendo la planta y el tipo de sustrato presente en la celda (Tezontle y Concha de ostión). Se realizaron análisis de nitrógeno total, carbono total y su evaluación y comparación cualitativa del C:N.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones junto al humedal artificial para tratamiento de aguas, mientras que los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Investigación en Recursos acuáticos (LIRA), ambos en el Tecnológico Nacional de México campus Boca del Río (19°05'48.19" N-96°06'29.70" O), ubicado en la Carretera Veracruz-Córdoba Km.12, C.P. 94290. Boca del Río, Ver., con una elevación media de 9 m sobre el nivel del mar y clima es cálido-subhúmedo con una temperatura promedio de 25.2 °C con precipitaciones de 909 mm al año.



Construcción del sistema

Para la construcción de las celdas prototipos (Figura 1), se utilizaron 8 tubos de PVC de alta densidad de 15 cm de diámetro y 90 cm de altura, con una base de cemento, los tubos fueron rellenos con 40% de concha de ostión y 60% tezontle; se utilizó un tinaco con capacidad de 1100 L y tubería PVC de media pulgada para para alimentar el sistema con agua residual sintética. El agua residual sintética se elaboró con 495 g de sacarosa, 33 g de sulfato de amonio y 3.3 g de fosfato de sodio dodecahidratado, en un volumen de agua de 1100 L.



Figura 1. Sistema humedal artificial prototipo montado inicial.

Medición de parámetros

Una vez instalado el sistema, se llevó a cabo un periodo de adaptación de un mes, mientras que la duración y seguimiento del ensayo fue de dos meses. Durante todo el proceso se realizó la medición de temperatura (tomada a 20 cm de profundidad en la base de las raíces de las plantas) y pH. Se realizaron mediciones de DBO para determinar la carga orgánica del sistema y la efectividad del proceso de depuración, utilizando un BODTrackII marca Hach, que consiste en la incubación de la muestra durante cinco días para determinar la concentración de oxígeno consumido por los microorganismos presentes.

Toma y procesamiento de muestras

Se seleccionaron ejemplares de *C. indica* y *X. robustum* presentes en el humedal artificial; el muestreo fue al azar, en la entrada y la salida de las celdas, tomando en cuenta el tamaño de la planta, estación del año, ubicación en la celda y el tiempo de retención. El tamaño de muestra de fue ocho plantas de las



cuales se analizaron tallo, hoja y raíz. Cada sección de las plantas se lavó y luego se colocó en un horno a 100°C durante al menos 72 h para obtener su peso; finalmente, para obtener la producción de biomasa, las plantas se pesaron mediante una balanza analítica digital. Se realizó la resta del peso inicial, el que se pesa antes de ser puesto a secar, menos el peso cuando las plantas ya se secaron y da el resultado expresado en gramos. Esos son los gramos de carbono generados por metro cuadrado del sistema.

Análisis estadísticos

A los datos obtenidos se les analizó media, coeficiente de variación, coeficiente de correlación y prueba de media. Se realizó un análisis ANOVA de un solo factor y análisis de Tukey.

Resultados y Discusión

Los valores de pH del sistema se resumen en el Cuadro 1, mientras que en la Figura 2 se pueden observar los valores de temperatura de la rizosfera de las plantas para cada especie.

Cuadro 1. pH del sistema (entrada y salida).

Entrada	Salida	Especie
7.2	6.8	<i>Canna indica</i>
7.2	6.7	<i>Xanthosoma robustum</i>

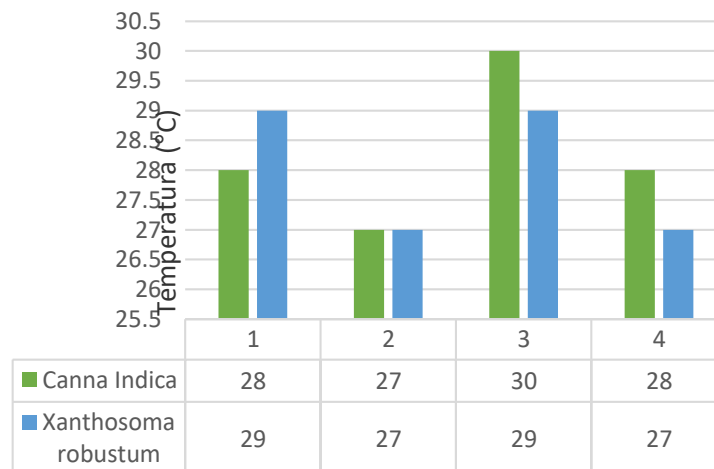


Figura 2. Temperatura de la rizosfera de las plantas.



En los resultados de las pruebas de DBO5 se puede observar qué entradas tuvieron una carga orgánica alta entre 334-397 mg/L de DBO y, pasados los cinco días, del proceso de incubación se lleva a cabo una remoción del 70-90%, siendo *C. indica* la planta con mayor consumo de materia orgánica (Cuadro 2).

Cuadro 2. Mediciones de DBO5 (mg/L) en plantas de humedal artificial.

<i>Xanthosoma robustum</i>		<i>Canna indica</i>	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
397	36	334	35
395	58	387	22
392	45	372	21

La DQO donde sus valores de entrada de *C. indica* en promedio se encuentra en 560 mg/L, mientras que los de salida se encuentran alrededor de los 48 mg/L, son similares a los de *X. robustum* 548 mg/L en entrada y 70 mg/L de salida (Cuadro 3).

Cuadro 3. Mediciones de DBO (mg/L) en plantas de humedal artificial.

<i>Canna indica</i>		<i>Xanthosoma robustum</i>	
Entrada	Salida	Entrada	Salida
560	70	580	60
570	40	590	90
550	35	583	60

Se analizó de manera visual la turbidez y en la Figura 3 se puede observar el agua de entrada al sistema (izquierdo) y salida (derecha), apreciándose la última más cristalina.

Durante el tiempo que duró el ensayo, se midió alto y ancho de las plantas (tallos, raíces y hojas), mediciones que se realizaron de acuerdo con cada una de las tres celdas (C1, C2 y C3), que se encontraban en operación; cada celda compartía características iguales de construcción y alimentación de agua residual sintética. Los resultados de un análisis de Tuckey muestran que no hubo diferencias significativas en el crecimiento de ninguna de las tres secciones de la planta medidas de *X. robustum* (Cuadro 4).



Figura 3. Turbidez del sistema humedal artificial.

Cuadro 4. Resultado de análisis de medias de las secciones medidas de las plantas de *Xanthosoma robustum* por el método de Tuckey.

Factor	N	Media	Agrupación
Tallo c3	5	13.40	A
Tallo c2	5	12.30	A
Tallo c1	5	11.30	A
Largo hoja c2	5	11.36	A
Largo hoja c1	5	10.44	A
Largo hoja c3	5	10.16	A
Ancho hoja c1	5	8.82	A
Ancho hoja c2	5	8.04	A
Ancho hoja c3	5	6.86	A

El crecimiento del tallo pasó por la fase de adaptación que fue de un mes y se pudo observar este proceso entre los puntos 1 y 2 donde se representa una decreciente en el tamaño del tallo. Después del primer mes de adaptación llevándose a cabo con 50% agua potable y 50% agua residual sintética, se observó que fue eficiente, ya que comenzó su fase de crecimiento y en el punto 4 y 5 se pudo observar como esta se encontraba con un crecimiento exponencial. En las siguientes gráficas se observa la tendencia de crecimiento de las plantas con respecto a las celdas (Figura 4a; Figura 4b). Debido a los eventos climatológicos, se afectaron directamente a las hojas, las rachas de viento fueron fuertes, y



marchitaron ciertas hojas, dando como resultado los picos como el punto 4 donde no se observa el largo de la hoja (Figura 4c).

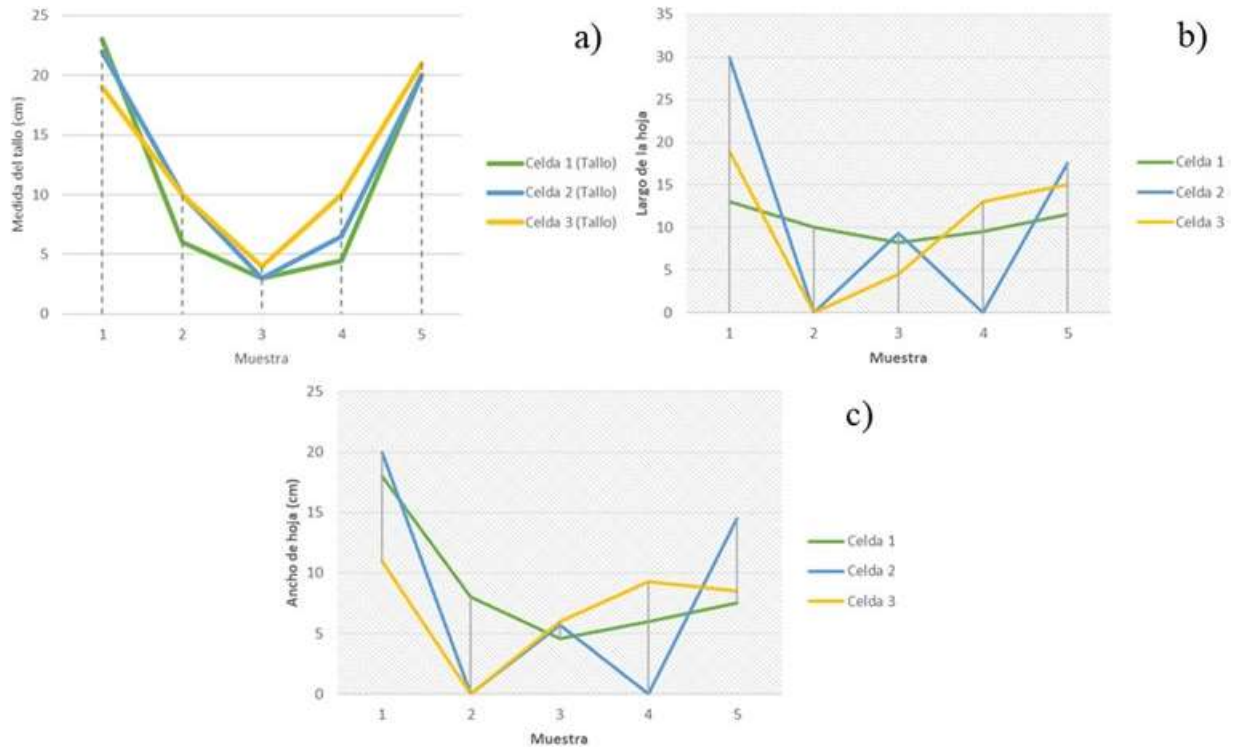


Figura 4. Tendencia de crecimiento de las plantas con respecto a las celdas. a) Análisis de crecimiento tallo de las plantas *Xanthosoma robustum*; b) Crecimiento del largo de la hoja *Xanthosoma robustum*; c) Crecimiento del ancho de la hoja *Xanthosoma robustum*.

Las plantas la especie *C. indica* mostraron las siguientes características de crecimiento de tallo, largo de la hoja y ancho de la hoja, desde sus medidas iniciales, durante su proceso de adaptación y la recolección final: según el análisis de Tuckey no hubo diferencias significativas en ninguno de los tres casos (Cuadro 5; Figura 5).

Cuadro 5. Medias Tuckey planta *Canna indica*.

Factor	N	Media	Agrupación
Tallo c2	5	9.90	A
Tallo c3	5	8.90	A
Tallo c1	5	4.40	A
Largo hoja C2	5	14.10	A



Factor	N	Media	Agrupación
Largo hoja C3	5	13.84	A
Largo hoja C1	5	10.94	A
Ancho hoja C3	5	7.26	A
Ancho hoja C2	5	7.00	A
Ancho hoja C1	5	5.300	A

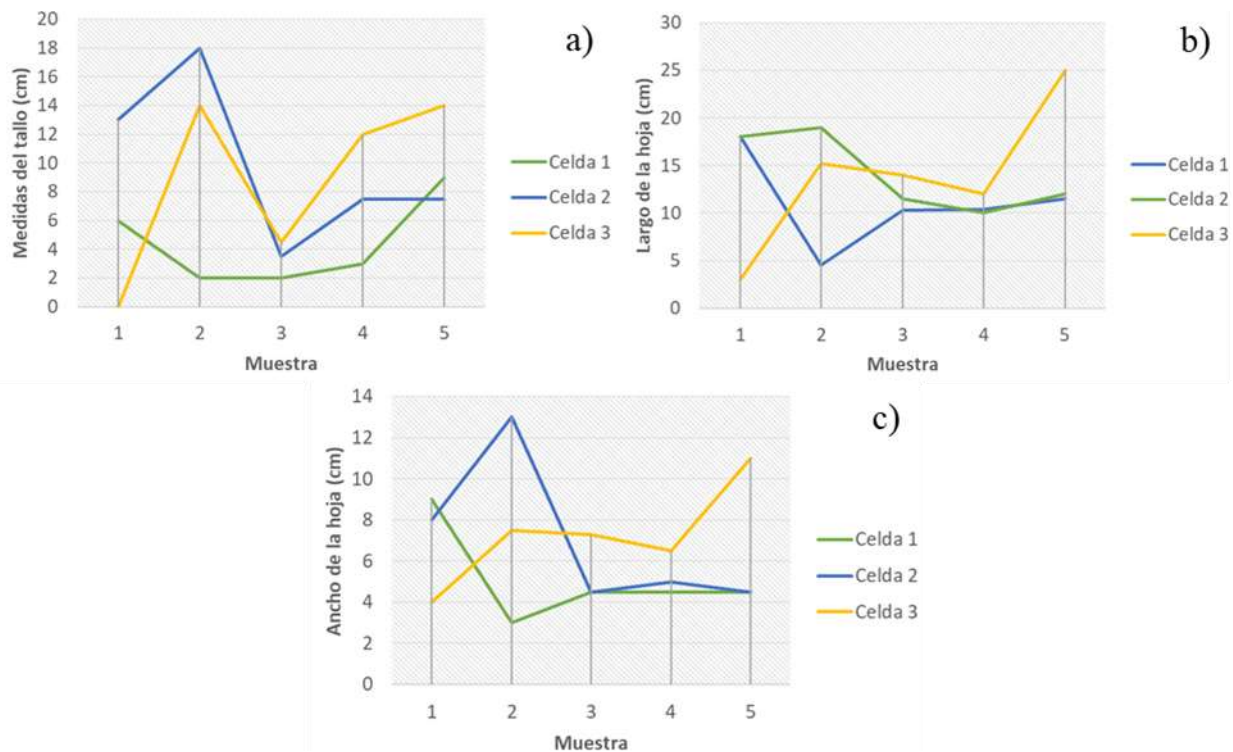


Figura 5. Características de crecimiento de *Canna indica* Vs. tiempo. a) Crecimiento del tallo; b) largo de la hoja; c) ancho de la hoja.

En el Cuadro 6 y en la Figura 6 se muestran los resultados obtenidos tanto de biomasa como de carbono, respectivamente, para ambas especies.

Cuadro 6. Pesos de la biomasa finales de la biomasa *Canna indica* y *Xanthosoma robustum*.

	<i>Canna indica</i>			<i>Xanthosoma robustum</i>		
Tallo (g)	3.9886	3.8736	3.9765	1.7613	1.7613	1.3557
Raíz (g)	0.026	0.174	0.165	1.8519	1.4225	1.4526
Hoja (g)	1.1491	1.4789	0.1329	0.779	0.02	0.5863

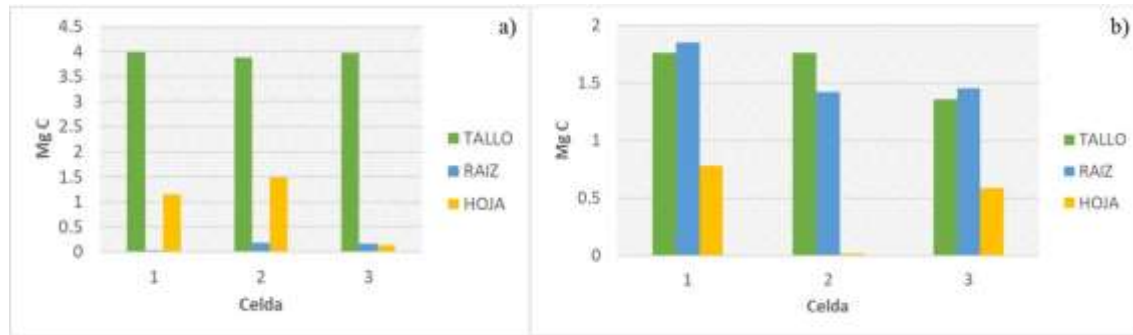


Figura 6. a) Gramos de carbono generado por m² del sistema *Canna indica*; b) Pesos finales en gramos de biomasa producida por metro cuadrado de *Xanthosoma robustum*.

El pH de los humedales naturales oscila en un rango que va de 7.1 a 9.4, con un valor medio de 7.84 (Figuroa *et al.*, 2009). Durante el proceso de adaptación y puesta en marcha del sistema se monitoreó el pH en donde se puede observar que cuenta con un pH en la entrada con un valor dentro del rango. Por su parte, las temperaturas de la rizosfera de las plantas oscilan entre los 27°C y 30°C, las temperaturas no afectaron el crecimiento de las plantas dentro del tiempo monitoreado dentro del estudio. Las plantas tuvieron un proceso de adaptación en el cual se concluye que son buenas soportando cargas de DBO de alrededor de 300-400 mg/L ya que estas utilizaron esta materia orgánica para crecer. Ambas especies de plantas son buenas removiendo materia orgánica.

En cuanto a la turbidez, cuando el sistema cuenta con sólidos suspendidos en él, el agua suele verse turbia. *C. indica* fue mejor llevando a cabo los procesos de remoción de sólidos suspendidos totales en el sistema, esto es debido a su tipo de raíz, ya que su rizosfera es más abundante por lo tanto las bacterias que ayudan a los procesos de remoción de materia orgánica tienen más área donde hacer la transferencia de nutrientes.

Las hojas mostraron un crecimiento desigual entre celdas, cabe mencionar que durante el tiempo del estudio se presentaron dos eventos de norte con rachas huracanadas que afectaron la estructura de las plantas, algunas hojas se marchitaron y se dio un crecimiento disparejo. Después de la fase de adaptación, debido a los eventos climatológicos las hojas se marchitaron; sin embargo, no tardaron mucho surgir nuevos brotes, ya que se contaba con el medio adecuado para su óptimo crecimiento y su sistema se encontraba adaptado. Tanto el largo y el ancho de la hoja muestran el mismo patrón de crecimiento.

Conclusiones



1. *Canna indica* cuenta con un proceso de remoción mayor sobre la planta *X. robustum*.
2. Se producen más gramos de biomasa con la planta *X. robustum* que con *C. indica*, lo que indica un mayor consumo de carbono.
3. Las plantas ornamentales *C. indica* y *X. robustum* mejoran la calidad del agua en cuestiones de remoción, se adaptan bien a procesos de humedales artificiales
4. *Canna indica* tiene tendencia a ser más eficiente en el proceso de remoción que *X. robustum*, pero esta tiende a capturar mayor cantidad de carbono del medio, ya que sus tallos y hojas son más grandes necesita más energía para crecer.

Agradecimientos

Al TecNM por el financiamiento otorgado al proyecto “Evaluación de la relación C/N en el proceso de absorción de nutrientes en las plantas (*Xanthosoma robustum* y *Canna indica*), en un sistema prototipo humedal artificial” No. A-012012-110221, en su convocatoria 2022 Proyectos de Investigación Científica.

Literatura Citada

- Dolores, M., y F. de la Mora. 2014. Fitodepuración en humedales. Conceptos generales. Manual de Fitodepuración:61–78.
- Fassbender, H. W. 1987. Química del Suelo. Soil Science 98(3):210.
- Figuroa, R., M. L. Suarez, A. Andreu, V. H. Ruiz y M. R. Vidal-Abarca. 2009. Caracterización ecológica de humedales de la zona semiárida en Chile Central. Gayana 73(1):76–94.
- Hernández, M. E. 2010. Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. Terra latinoamericana 28(2):139-147.



- Lefèvre, C., F. V. A. Rekik and L. Wiese. 2017. Pages for Web Pdf Cover. www.fao.org/publications
- Liu, Y., M. Jiang, X. Lu, Y. Lou and B. Liu. 2017. Carbon, Nitrogen and Phosphorus Contents of Wetland Soils in Relation to Environment Factors in Northeast China. *Wetlands* 37(1):153–161.
- Mena-Sanz, J. 2008. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. *CONAMA*, 25.
- Sakin, E. 2012. Relationships between of carbon, nitrogen stocks and texture of the Harran plain soils in Southeastern Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 18(4):626–634.
- Tang, S., Y. Liao, Y Xu, Z. Dang, X. Zhu and G. Ji. 2020. Microbial coupling mechanisms of nitrogen removal in constructed wetlands: A review. *Bioresource Technology*, 314(May):123759.
- Tilley, E. 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de. 2da ed. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (EAWAG). Suiza. 178 p.
- USDA-NRCS. 2011. Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. *USDA Natural Resources Conservation Service*, 2. <http://www.nrcs.usda.gov>
- Vymazal, J. 2020. Removal of nutrients in constructed wetlands for wastewater treatment through plant harvesting – Biomass and load matter the most. *Ecological Engineering* 155:105962.
- Yuan, C., F. Zhao, X. Zhao and Y. Zhao. 2020. Woodchips as sustained-release carbon source to enhance the nitrogen transformation of low C/N wastewater in a baffle subsurface flow constructed wetland. *Chemical Engineering* 392:124840.



CULTIVO DE *Monascus purpureus* PARA OBTENER PIGMENTOS DE INTERÉS BIOTECNOLÓGICO

Oswaldo Guzmán López^{397*}, Juan José Zamora Palma³⁹⁷, Alejandro Salinas Castro³⁹⁸, César Espinoza Ramírez³⁹⁸, Daniela Luis Yong³⁹⁸, Mahatma Gandhi Landa Cadena³⁹⁸ y Elmira San Martín Romero³⁹⁸

Resumen

Los hongos filamentosos tienen varias propiedades biológicas importantes que pueden ser de utilidad para el ser humano; dentro de estos microorganismos destaca el género *Monascus* que representa un grupo con importancia biotecnológica debido principalmente a su capacidad de producción de colorantes naturales, que son útiles en varios procesos industriales entre los que destacan el farmacéutico y el alimentario. Los cereales como el arroz, avena o trigo resultan ser buenos sustratos para el crecimiento de estos hongos, algunos los contaminan o dañan para su comercialización; sin embargo, también se puede aprovechar esta condición para obtener un beneficio. En este estudio se tuvo como objetivo el cultivar, por fermentación líquida, una cepa de *Monascus purpureus* para la obtención de pigmentos naturales, utilizando medios de cultivo a base de infusión de arroz o infusión de avena. Se realizó el cultivo en caja de Petri para medir la velocidad radial de la cepa en estudio en ambos sustratos y, posteriormente, se formularon unos medios líquidos para comparar la producción de pigmentos amarillos, naranjas o rojos, modificando la fuente de nitrógeno y zinc. La extracción de pigmentos se probó en caldo y en biomasa, esta última fue separada al final del cultivo por filtración al vacío, posteriormente se congeló a -20°C para después deshidratarla mediante liofilización y se extrajo con cloroformo-metanol 1:1. Los pigmentos se cuantificaron a partir de los extractos por espectroscopía visible a 400, 450 y 500 nm. La mayor velocidad radial en caja de Petri resultó ser la infusión de arroz; sin embargo, el medio con infusión de avena resultó mejor para la producción de pigmentos, lo cual puede ser de utilidad en futuros estudios para ver el tipo de compuestos que fueron los que se produjeron durante el cultivo.

³⁹⁷ Facultad de Ciencias Químicas Campus Coatzacoalcos, Universidad Veracruzana, Av. Universidad Km. 7.5, Col. Santa Isabel, Coatzacoalcos, Veracruz, México. C.P. 96538.

³⁹⁸ Centro de Investigación en Micología Aplicada, Universidad Veracruzana, Calle Médicos 5, Colonia Unidad Habitacional del Bosque, Xalapa, Veracruz, México. C.P. 91010.

*Autor de correspondencia: osguzman@uv.mx



Palabras clave: fermentación, colorantes naturales, sustratos

Introducción

El género *Monascus* es un grupo de hongos filamentosos que presentan gran importancia biotecnológica, porque se ha reportado que pueden producir colorantes naturales que podrían tener utilidad en varios procesos industriales (Pineda-Insuasti *et al.*, 2016). De igual manera, se ha descrito que produce otros metabolitos de importancia farmacológica como la monacolina K (una estatina precursora de la lovastatina). Cabe destacar que, la mayoría de las cepas de este género provienen de una modificación de solo tres especies principales: *M. pilosus*, *M. purpureus* y *M. ruber* (Kang *et al.*, 2014; Pan y Hsu 2014), siendo *M. purpureus* la especie más común, porque a partir de éste se produce el arroz rojo o angkak en Asia oriental (Pattanagul *et al.*, 2007; Wong y Bau, 1978).

Durante el cultivo de *M. purpureus* se comenzó a observar que producía pigmentos, los cuales fueron estudiados por diversos autores, en ellos se describen los compuestos principales que se generan, los amarillos, ankaflavina y monascina; los naranjas monascorubrina y rubropunctamina; y los rojos rubropuctamina y monascorubramina (Blanc *et al.*, 1994; Wong y Koehler, 1983). Posteriormente, se descubrió que dichos compuestos tenían propiedades antimicrobianas y los más estudiados en ensayos antibióticos (Ferdes *et al.*, 2009; Martinkova, 1999), esto a consecuencia de la gran resistencia que comenzaron a presentar las bacterias. Aunque también fueron estudiadas las actividades antifúngicas, pero éstas a menor escala (Ferdes *et al.*, 2009). Otro grupo de compuestos químicos estudiados son los antioxidantes, los cuales sirven para proteger el organismo de los radicales libres, moléculas altamente reactivas que pueden dañar el organismo a nivel celular, estos pueden disminuir el riesgo al desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades degenerativas (Aguilar-García *et al.*, 2007; Fardet *et al.*, 2008; Farnochi *et al.*, 2005; Lyana- Pathirana y Shahidi 2006; Schatzkin *et al.*, 2007). Considerando que los metabolitos antes mencionados se producen principalmente en la biomasa del hongo, se debe tener en cuenta el tipo de fermentación que se va a realizar, siendo la fermentación líquida (FL), que emplea nutrientes en solución, la que se caracteriza por mantener los parámetros de cultivo más controlados que la fermentación sólida (FS) y los metabolitos son más fáciles de recuperar; no obstante, los costos de operación son altos (Babitha *et al.*, 2007; Suarez y Nieto, 2016), los rendimientos en la FS han resultado bajos, por esta razón se ha estudiado la manera en la cual se



podrían optimizar los medios de la FL en los que el hongo puede crecer generando una mayor producción de biomasa y metabolitos. Entre los parámetros de operación se encuentra la temperatura, el pH, la aireación, la agitación, humedad del sustrato y la composición del medio (Pineda-Insuasti *et al.*, 2016), con respecto a la última, muchos estudios han hecho énfasis en la relación C:N que debe contener el medio (Chen y Jhons, 1993; Patrovsky *et al.*, 2019; Wong *et al.*, 1981). Los minerales que debería contener para lograr el mejor desempeño del hongo, es el zinc el más importante, debido a que este ayuda a la síntesis de los pigmentos en el hongo (Bau y Wong, 1979; McHan y Johnson, 1970). Por todo lo anterior, este trabajo tiene por objetivo estudiar el cultivo de *M. purpureus* en fermentación en medio líquido para producir colorantes naturales a partir de sustratos de arroz y avena y, además, modificando las concentraciones de nitrógeno y zinc en el medio de cultivo.

Materiales y Métodos

Reactivación de la cepa

Se llevó a cabo en Agar infusión de arroz y su composición se puede ver en la Cuadro 1. La cepa de *M. purpureus* fue otorgada por el Centro de Investigación en Micología Aplicada (CIMA), fue incubada durante 10 días, a una temperatura de $27^{\circ}\text{C} \pm 1$ y esta se usó para los inóculos posteriores.

Cuadro 1. Composición de medios de cultivo (g/L) (Bau y Wong, 1979; Velázquez *et al.*, 2016; Patrovsky *et al.*, 2019).

Medio de cultivo	Glucosa	Peptona de carne	Sulfato Manganoso	Sulfato de Zinc	Arroz	Avena	Papa	Agar
Infusión de arroz	10	3	2	0	200	0	0	0
Infusión de Avena	10	3	2	0	0	200	0	0
Infusión de Avena Modificado	10	10	2	1	0	200	0	0
Agar Papa Dextrosa	20	0	0	0	0	0	200	20

Infusión de los cereales y composición de los medios

Se hirvieron 200 g de los cereales avena y arroz en 1 L de agua destilada por un periodo de 5 a 10 minutos; se dejó enfriar y se filtró a través de una gasa con ayuda de un embudo de vidrio (Urcia y Guevara, 2002). Los medios utilizados fueron Infusión de arroz (Az), Infusión de Avena (Av), Infusión



de Avena Modificado (MAv) (Cuadro 1). Todos los medios se ajustaron a un pH de de 5.5 (Patrovsky *et al.*, 2019) con HCl 1 M y NaOH 1 M, se vertieron en matraces Erlenmeyer de 250 mL colocando 110 mL de los medios y se tuvo en total un triplicado de cada uno más su respectivo control, se esterilizó en una autoclave Felisa FE-396 a 121°C y una presión de 1.5 kg/cm² durante 20 minutos. En los medios sólidos la composición fue la misma solo se añadieron 15 g/L de agar nutritivo.

Velocidad de crecimiento radial

Para este ensayo se ocuparon cuatro medios distintos Agar Papa Dextrosa (PDA; Cuadro 1), Agar Infusión de arroz (Az), Agar Infusión de Avena (Av), Agar Infusión de Avena Modificado (MAv); la composición de los últimos tres medios de cultivo es la descrita en la Cuadro 1, solo se adicionó 20 g/L de agar en cada caso, posteriormente se inocularon con un 1 cm² de la cepa de *M. purpureus* reactivada en el centro de cada placa de agar. El crecimiento radial en los medios de cultivo fue evaluado diariamente, las cajas fueron marcadas con los cuatro ejes en la parte inferior externa para seguir el crecimiento de la colonia. Las mediciones del crecimiento radial se realizaron del centro a los extremos de la placa. La evaluación se llevó a cabo por triplicado. Para calcular la V_{CR} , se obtuvieron los valores de las pendientes a partir del gráfico de crecimiento del microorganismo en función del tiempo, tomando únicamente los valores lineales de la curva de crecimiento. De esta manera se obtuvieron los valores de la velocidad específica de crecimiento radial o velocidad de invasión, la cual se expresó en unidades de longitud por unidad de tiempo (mm/h).

Inoculación en medio líquido y extracción de la biomasa

La inoculación de *M. purpureus* en los medios de cultivo control y el de avena modificado se utilizó la muestra previamente reactivada, se tomaron tres fragmentos de agar con el hongo y se inoculó los matraces Erlenmeyer de 250 mL con 110 mL del medio y se puso a incubar por 14 días con una temperatura de 28°C ± 1 a 110 rpm (Patrovsky *et al.*, 2019). Al terminar la fermentación se separó la biomasa utilizando embudo de Büchner, papel filtro, un matraz Kitasato y una bomba de vacío, posteriormente, se congeló a -20°C para después deshidratarla mediante liofilización.

Extracción de pigmentos

Se realizó en frascos de vidrio para la biomasa se utilizó cloroformo y posteriormente metanol (Broder y Koehler, 1980) 100 ml de cada disolvente, mientras que para el caldo liofilizado se usó una mezcla de cloroformo: metanol 1:1 para tener un volumen final de 100 ml, se dejó reposar por 5 min para posteriormente sónicar durante 30 min dos veces, durante un día se dejó en reposo y se filtró con ayuda de un embudo de vidrio y algodón en frascos de vidrio.



Medición de pigmentos

Se utilizó la técnica espectrofotométrica de UV-Vis para medir los pigmentos a tres diferentes longitudes de onda, para los colores amarillos a 400 nm, los naranjas 450 nm y los rojos 500 nm, para los que reportaron valores de 4 UA se midieron con un factor de dilución 1:10 usando los disolventes correspondientes para diluir las muestras y como blancos, lo obtenido se reportó como UA/mL (Embaby *et al.*, 2018).

Resultados y Discusión

La cepa de *M. purpureus* fue capaz de crecer en todos los medios de cultivo que se evaluaron, como se muestra en la Cuadro 2. El medio con mayor V_{CR} fue el agar de arroz (Az, 0.1495 ± 0.021 mm/h), seguido por el agar de avena modificado (MAv, 0.1303 ± 0.031), el único medio de cultivo que mostró diferencia significativa con respecto al arroz fue el PDA (Cuadro 2).

Cuadro 2. Velocidad de crecimiento radial de *M. purpureus* en medios de cultivo de Az (Arroz), Av (Avena), MAv (Avena modificada) y PDA (Agar papa dextrosa).

Medio de cultivo	velocidad de crecimiento radial (mm/h)
PDA	0.1149 ± 0.017
Az	0.1495 ± 0.021
Av	0.1273 ± 0.014
MAv	0.1303 ± 0.031

Velázquez *et al.* (2016) reportaron la V_{CR} para el arroz y PDA (0.044 ± 0.002 y 0.085 ± 0.04 mm/h, respectivamente). De acuerdo con sus resultados se observó una diferencia con lo reportado a este trabajo, lo cual puede deberse a la composición del medio, debido a que Velázquez *et al.* (2016) utilizaron 40 g/L del cereal, malta como FN y 30 g/L de glucosa, resultando en que su velocidad de crecimiento radial sea menor. También se observó la diferencia en el crecimiento radial, el Az, PDA y Av comenzaron a crecer después de 48 h, mientras que el MAv tardó 96 h, a su vez la Av y Az terminaron de crecer a las 240 h (Figura 1).

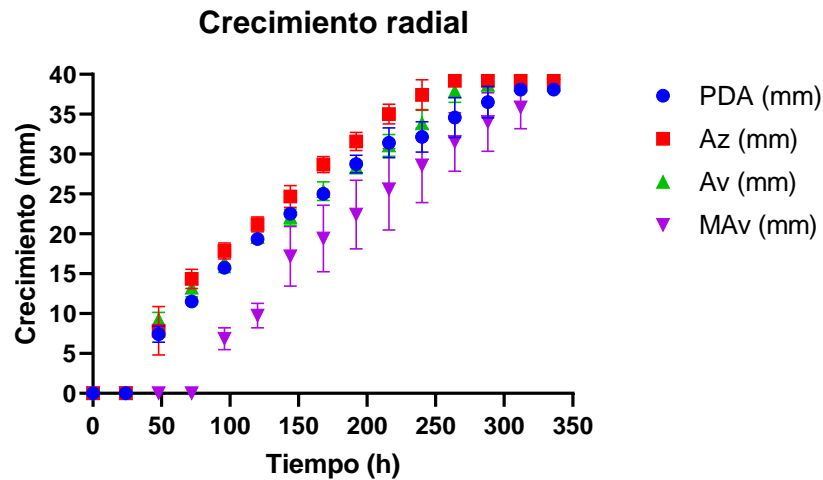


Figura 1. Crecimiento radial de *M. purpureus* en medios de cultivo de Az (Arroz), Av (Avena), MAV (Avena modificada) y PDA (Agar papa dextrosa).

Los pigmentos que más resaltaron fueron los amarillos estando presentes en todas las muestras (Cuadro 3), aunque las muestras de biomasa con mayor concentración de pigmentos amarillos fueron las muestras MAV de la biomasa extraídas con metanol y con cloroformo (4.598 ± 0.554 y 4.291 ± 0.832 UA_{390nm}/mL , respectivamente), a su vez en las muestras de caldo se obtuvieron más en Av (4.045 ± 0.522 UA_{390nm}/mL) y las mayores concentraciones de pigmentos rojos fue en las muestras de MAV de la biomasa extraídas con metanol (2.975 ± 0.341 UA_{495nm}/mL), también en las muestras de caldo la mayor concentración fue en MAV (2.661 ± 0.148 UA_{495nm}/mL), todas muestras de MAV demostraron tener mayor cantidad de pigmentos que las de Az, la muestra de Av expreso los valores más bajos en los pigmentos extraídos de la biomasa con metanol y Az con cloroformo. MAV produjo mayor cantidad de pigmentos naranjas en todas las muestras (Figura 2).

Cuadro 3. Absorbancia obtenida de los pigmentos extraídos con diversos disolventes de *M. purpureus* en medios de cultivo, Az (Arroz), Av (Avena) y MAV (Avena modificada).

Disolvente	Biomasa (UA/mL)					Caldo (UA/mL)			
	MeOH		Az	CHCl ₃		MeOH/CHCl ₃			
	MAv	Av		MAv	Av	Az	MAv	Av	Az
400	4.598 ± 0.554	1.487 ± 0.085	2.902 ± 0.227	4.291 ± 0.832	3.236 ± 0.496	1.265 ± 0.030	2.932 ± 0.484	4.045 ± 0.522	3.027 ± 0.040
450	2.286 ± 0.555	0.555 ± 0.131	1.314 ± 0.201	2.010 ± 1.558	0.589 ± 2.773	2.773 ± 1.536	1.536 ± 1.653		

Disolvente	Biomasa (UA/mL)					Caldo (UA/mL)			
	MeOH		CHCl ₃			MeOH/ CHCl ₃			
	0.102	0.023	0.006	0.047	0.109	0.077	0.178	0.395	0.319
500	2.975 ±	0.323 ±	1.421 ±	0.277 ±	0.720 ±	0.202 ±	2.661 ±	1.013 ±	1.764 ±
	0.341	0.002	0.011	0.039	0.069	0.042	0.148	0.037	0.375

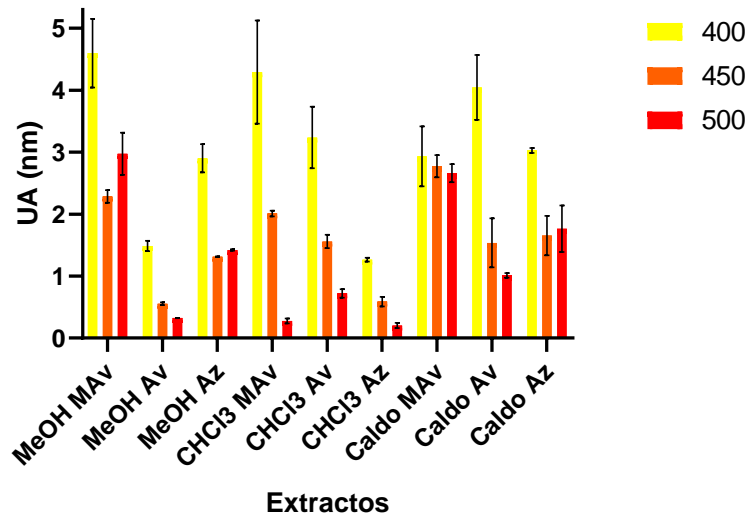


Figura 2.. Absorbancia de los pigmentos extraídos con diversos disolventes de *M. purpureus* en medios de cultivo, Az (Arroz), Av (Avena) y MAV (Avena).

Velázquez *et al.* (2016) reportaron las máximas absorbancias para medios de cultivo sólidos de arroz y agar extracto de malta (MEA) para los pigmentos amarillos (390 nm) y rojos (495 nm) (3.425 ± 0.32 y $3.205 \pm 0.71 UA_{390nm}$, 3.430 ± 0.34 y $2.755 \pm 0.75 UA_{495nm}$, respectivamente), para medios de cultivo líquidos la máxima concentración de pigmentos rojos la encontró con residuos de sábila ($0.757 \pm 0.055 UA_{495nm}$) y los amarillos con residuos de naranja, papaya y sábila (0.812 ± 0.015 , 0.741 ± 0.05 y $0.741 \pm 0.011 UA_{390nm}$). De acuerdo con los resultados se puede observar una gran diferencia con los reportados en este trabajo, se encuentran con una mayor concentración todos los pigmentos en los medios de cultivo líquidos, incluso se puede observar una concentración ligeramente mayor que en los medios de cultivos sólidos reportados por Velázquez *et al.* (2016).

El género *Monascus* es un hongo ascomiceto filamentoso descrito desde 1884 por el científico francés Van Tieghem; pertenece a la familia Monascaceae y, usualmente, es conocido como moho rojo (Vidyalakshmi *et al.*, 2009), la fermentación de este género en estado sólido tiene una larga historia de



tradición en Oriente en países asiáticos que se remonta al menos al siglo 1 d. C., según la literatura se han encontrado alrededor de 20 especies, pero la mayoría de las cepas de este género provienen de una modificación de solo tres especies principales: *M. pilosus*, *M. purpureus* y *M. ruber* (Pan and Hsu, 2014), son las de mayor importancia biotecnológica, por su uso tradicional en la comida oriental (Sabater-Vilar *et al.*, 1999), donde se han empleado como colorante y/o conservante del vino, el pescado, las carnes, el queso, el arroz, entre otros productos (Carvalho *et al.*, 2006; Pattanagul *et al.*, 2007). Por sus compuestos biológicamente activos presentan diversas aplicaciones como aditivos, principalmente, en las industrias cosmética, de alimentos y de medicamentos (Pattanagul *et al.*, 2007; Pisareva y Kujumdzieva, 2010).

Conclusiones

1. La cepa de *M. purpureus* fue capaz de crecer en todos los medios de cultivo, el medio de arroz mostró una velocidad radial superior al resto de medios con 0.1495 ± 0.021 mm/h, lo cual demuestra ser el medio óptimo para su crecimiento.
2. En cuanto a la producción de pigmentos el que obtuvo las mayores concentraciones en casi todos los extractos y en los tres pigmentos fue el medio de cultivo con avena, la única excepción fueron pigmentos amarillos extraídos del caldo en el cual la avena supero al medio antes mencionado, de esta manera el medio de cultivo en avena mostró ser un medio óptimo para extraer más pigmentos que los otros.
3. Estos hallazgos permiten dar un uso a cereales como arroz y avena para que puedan obtenerse colorantes naturales, los cuales pueden ser de mucho interés para la industria de alimentos o farmacéutica.

Literatura Citada

Aguilar-Garcia, C., G. Gavino, M. Baragaño-Mosqueda, P. Hevia and V. Gavino 2007. Correlation of tocopherol, tocotrienol, γ -oryzanol and total polyphenol content in rice bran with different antioxidant capacity assays. *Food Chemistry* 102(4):1228-1232.



- Babitha, S., C. Soccol and A. Pandey. 2007. Solid-state fermentation for the production of *Monascus* pigments from jackfruit seed. *Bioresource Technology* 98(8):1554-1560.
- Bau, Y. and H. Wong. 1979. Zinc effects on growth, pigmentation and antibacterial activity of *Monascus purpureus*. *Physiologia Plantarum* 46(1):63-67.
- Blanc, P., M. Loret, A. Santerre, A. Pareilleux, D. Prome, J. Prome, *et al.* 1994. Pigments of *Monascus*. *Journal of Food Science* 59(4):862-865.
- Broder, C. U. and P. E. Koehler. 1980. Pigments produced by *Monascus purpureus* with regard to quality and quantity. *Journal of Food Science* 45(3):567-569.
- Carvalho, J., A. Pandey, B. Oishi, D. Brand, J. Rodriguez-Léon and C. Soccol. 2006. Relation between growth, respirometric analysis and biopigments production from *Monascus* by solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal* 29(3):262-269.
- Chen, M. and M. Johns. 1993. Effect of pH and nitrogen source on pigment production by *Monascus purpureus*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 40(1):132-138.
- Embaby, A., M. Hussein and A. Hussein. 2018. *Monascus* orange and red pigments production by *Monascus purpureus* ATCC16436 through co-solid state fermentation of corn cob and glycerol: An eco-friendly environmental low cost approach. *PLOS ONE* 13(12):e0207755.
- Fardet, A., E. Rock and C. Rémésy. 2008. Is the *in vitro* antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected *in vivo*?. *Journal of Cereal Science* 48(2):258-276.
- Farnochi, M., A. Torres, N. Magan and S. Chulze. 2005. Effect of antioxidants and competing mycoflora on *Fusarium verticillioides* and *F. proliferatum* populations and fumonisin production on maize grain. *Journal of Stored Products Research* 41(2):211-219.



- Ferdes, M., C. Ungureanu, N. Radu and A. Chirvase. 2009. Antimicrobial effect of *Monascus purpureus* red rice against some bacterial and fungal strains. *Chemical Engineering Transaction* 17:1149-1154.
- Kang, B., X. Zhang, Z. Wu, Z. Wang and S. Park. 2014. Production of citrinin-free *Monascus* pigments by submerged culture at low pH. *Enzyme and Microbial Technology* 55:50-57.
- Liyana-Pathirana, C. and F. Shahidi. 2006. Antioxidant properties of commercial soft and hard winter wheats (*Triticum aestivum* L.) and their milling fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(3):477-485.
- Martinkova, L. 1999. Biological activities of oligoketide pigments of *Monascus purpureus*. *Food Additives and Contaminants* 16(1):15-24.
- McHan, F. and G. Johnson. 1970. Zinc and amino acids: Important components of a medium promoting growth of *Monascus purpureus* *Mycologia*. 62(5):1018-1031.
- Pan, T. and W. Hsu. 2014. *Monascus*-Fermented Products. *Encyclopedia of Food Microbiology* 815-825.
- Patrovsky, M., K. Sinovska, B. Branska and P. Patakova. 2019. Effect of initial pH, different nitrogen sources, and cultivation time on the production of yellow or orange *Monascus purpureus* pigments and the mycotoxin citrinin. *Food Science & Nutrition*. 7(11):3494-3500.
- Pattanagul, P., R. Pinthong, A. Phianmongkhol and N. Leksawasdi. 2007. Review of angkak production (*Monascus purpureus*). *Chiang Mai J Sci* 34(3):319-328.
- Pineda-Insuasti, J. A., L. B. Ramos-Sánchez y C. P. Soto-Arroyave. 2014. Producción de *Pleurotus ostreatus* por fermentación en estado sólido: una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 48(2):13-23.



- Pineda-Insuasti, J., A. Duarte-Trujillo, K. Ayala-Pastaz, C. Soto-Arroyave y C. A. Pineda-Soto. 2016. Producción de metabolitos por *Monascus* spp.: una revisión. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar 50(2):43-52.
- Pisareva, E. I. and A. Kujumdzieva. V. 2010. Influence of carbon and nitrogen sources on growth and pigment production by *Monascus pilosus* C1 strain. Biotechnology and Biotechnological Equipment 24(1):501-506.
- Sabater-Vilar, M., R. Maas and J. Fink-Gremmels, J. 1999. Mutagenicity of commercial *Monascus* fermentation products and the role of citrinin contamination. Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis 444(1):7-16.
- Schatzkin, A., T. Mouw, Y. Park, A. Subar, V. Kipnis, A. Hollenbeck *et al.* 2007. Dietary fiber and whole-grain consumption in relation to colorectal cancer in the NIH-AARP Diet and Health Study. The American Journal of Clinical Nutrition. 85 (5):1353-1360.
- Suárez A., C. e I. Nieto. 2013. Cultivo biotecnológico de macrohongos comestibles: una alternativa en la obtención de nutraceuticos. Revista Iberoamericana de Micología 30(1):1-8.
- Urcia A, F. y R. M. Guevara. 2002. Eficacia de medios de cultivo con infusiones de variedades de papa en la identificación del *Trichophyton rubrum*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública.19(4):206-208.
- Velázquez A., M., J. Benavente V., J. Morlett C. y C. Aguilar G. 2016. Producción de pigmentos por *Monascus* spp. en medio sólido empleando residuos agroindustriales. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (69):89-95.
- Vidyalakshmi, R., R. Paranthaman, S. Muruges and K. Singaravadiel. 2009. Stimulation of *Monascus* pigments by intervention of different nitrogen sources. Global J. Biotechnol Biochem 4(1):25-8.



Wong, H. and Y. Bau, Y. 1978. A comparison of conidial and ascospore germination of *Monascus purpureus*. Transactions of the British Mycological Society. 70(2):277-282.

Wong, H. and P. Koehler. 1981. Production and isolation of an antibiotic from *Monascus purpureus* and its relationship to pigment production. Journal of Food Science 46(2):589-592.



CRECIMIENTO INICIAL EN DIÁMETRO BASE Y ALTURA TOTAL DE SEIS CLONES DE *Hevea brasiliensis* Müell. Arg

María del Carmen Pablo Mendoza^{399*}, Rolando Misael Tlaxcala Méndez³⁹⁹ y Olga Santiago Trinidad³⁹⁹

Resumen

En el cultivo del hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg) se consideran dos periodos, el primero es el preproductivo que va desde el establecimiento de la plantación hasta el inicio de “pica” cuando los tallos alcanzan 50 cm de circunferencia a una altura de 1.20 m sobre el suelo y el segundo es el productivo cuando la plantación está en condiciones aptas para la extracción de látex. En este sentido, los productores requieren clones de crecimiento rápido que logren los 50 cm circunferencia en el menor tiempo posible, es por ello la importancia de los estudios enfocados en evaluar las tasas de crecimiento en diámetro y altura de clones promisorios; por lo anterior, se planteó el objetivo de analizar el crecimiento inicial del diámetro base (DB) y altura total (H) de seis clones de hule a) IAN-873 (testigo comercial); b) RRIM-527; c) RRIM-600; d) IAN-754; e) GU-204 y f) IAN-710 bajo las condiciones edafoclimáticas de Tezonapa, Veracruz. Para ello, se empleó el modelo de regresión lineal simple (MRLS) donde el parámetro del intercepto representó el tamaño inicial promedio en DB o H y el parámetro de la pendiente indicó la tasa de crecimiento mensual en DB o H; adicionalmente, para detectar diferencias entre interceptos y pendientes entre clones se desarrolló una prueba de adicionalidad incorporando variables dummy al MRLS. Los resultados indicaron que el clon IAN 710 fue quien obtuvo el mayor tamaño inicial promedio en DB con 0.93 cm y en H con 0.784 m; no obstante, su tasa de crecimiento fue menor al resto de los clones con 0.120 cm/mes en DB y 0.117 m/mes en H, respectivamente; en cambio, el clon IAN 873, aun cuando el tamaño inicial promedio obtuvo valores menores con 0.729 cm en DB y 0.624 m, en H, sus tasas de crecimiento mensuales fueron sobresalientes con 0.154 cm/mes en DB y 0.158 m/mes en H, respectivamente. Por todo lo anterior, se concluye que el clon IAN 873 tiene la mayor tasa de crecimiento en DB y H durante los primeros 24 meses en campo bajo las condiciones agroecológicas de Tezonapa.

³⁹⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental El Palmar. Carretera Tezonapa – El Palmar grande km. 18, CP 95080, Tezonapa, Veracruz, México. Autor para correspondencia: pablo.maria@inifap.gob.mx



Palabras clave: regresión lineal, Tezonapa, variables dummy

Introducción

El cultivo del hule se introdujo a México en 1882 por compañías inglesas y holandesas, en los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Ramírez-Jaramillo *et al.*, 2018). El Campo Experimental El Palmar (CEPAL) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el Municipio de Tezonapa, Veracruz, cuenta con bancos de conservación de germoplasma de 88 clones de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg (Hule), procedentes de varios países; de todos ellos, actualmente el clon IAN-873 es el más empleado por los productores de la región para el establecimiento de nuevas plantaciones comerciales de hule (PCH). Por lo anterior, es importante continuar con las evaluaciones de nuevos materiales, actividad que debe ser constante, así como lo hacen otros países líderes en la producción de hule a nivel mundial como Malasia, Indonesia y Brasil. México, cuenta con una superficie plantada de 29,741.4 ha, con una producción de 89,323.36 t con un valor de \$1'131,019.16 (miles de pesos) según el SIAP, producción en la que participan alrededor de 4,855 productores de hule, en su mayoría con pequeñas superficies y niveles de producción bajos (Moctezuma, 2018).

Las áreas tropicales del Sureste de México pueden considerarse como potenciales para incrementar la superficie de PCH (Rojo-Martínez *et al.*, 2011), en este sentido, en la actualidad existen aproximadamente 500,000 ha con potencial productivo para su establecimiento en los estados de Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Tabasco (Izquierdo-Bautista *et al.*, 2011). Por otro lado, el látex del árbol de hule es importante ya que tiene más de 40,000 usos (médicos, industriales y cosméticos), debido a que sus propiedades son únicas como la resistencia, maleabilidad a temperaturas altas y dispersión eficiente del calor, por lo que se considera un producto prácticamente imposible de sustituir de los derivados del petróleo y los sintéticos (Pérez-Romero *et al.*, 2021; Vargas-Canales *et al.*, 2016).

Si bien es cierto que el Sureste de México tiene un área potencial importante para el cultivo del hule, la información e investigación generada en los diferentes eslabones de la cadena de este cultivo es escasa, principalmente en los temas de crecimiento inicial e identificación de enfermedades que afectan durante la etapa pre-productiva de las plantaciones. Es ese sentido, la mayoría de las investigaciones publicadas en el cultivo del hule se han realizado en el extranjero (Sugebo *et al.*, 2022); en México, las



investigaciones se han enfocado en los temas de: producción de látex (Barragán-Hernández *et al.*, 2017), identificación del agente causal de la antracnosis [*Hevea brasiliensis* (Will. Ex A. Juss.) Mull. Arg.]; delimitación de áreas potenciales para el establecimiento de plantaciones comerciales (Pérez *et al.*, 2021; Ramírez-Jaramillo *et al.*, 2018); evaluaciones financieras (Moctezuma, 2019; Vargas-Canales *et al.*, 2016); diagnósticos de las problemáticas del cultivo (Izquierdo-Bautista *et al.*, 2011); estudios de especialización y competitividad de la producción de hule (Vargas-Canales *et al.*, 2019); estudios de biomasa y carbono (López-Reyes *et al.*, 2016; Monroy y Navar, 2004); estudios sobre producción maderable (Monroy-Rivera *et al.*, 2006); estimaciones de producción de látex mediante modelos alométricos (Rojo-Martínez *et al.*, 2002) y sistemas de producción de planta en vivero (Santiago *et al.*, 2015).

Por lo anterior, dado el limitado conocimiento de las tasas de crecimiento, el objetivo del presente estudio fue evaluar el crecimiento inicial de seis clones de hule, bajo las condiciones edafoclimáticas de Tezonapa, Veracruz.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

El experimento se ubica en el (CEPAL) del INIFAP, ubicado entre las coordenadas 18°30'56.77" latitud N y 96° 45'32.18" longitud O, a una altitud de 180 m. El clima es de tipo cálido húmedo, con precipitación de 2,885 mm anuales. La temperatura media es de 24.4°C con una mínima de 16.1°C y una máxima de 35°C. Los suelos son acrisoles y vertisoles, profundos y con buen drenaje natural con textura migajón arcillo-arenosa y con pH de 4.8 a 6.1 (Monroy y Navar, 2004).

Material vegetal

En julio de 2021 se estableció el sitio experimental con seis clones de hule injertados en un marco de plantación de 3 x 6 m abarcando 5,000 m², los clones fueron: a) IAN-873 (testigo comercial); b) RRIM-527; c) RRIM-600; d) IAN-754; e) GU-204 y f) IAN-710. Mensualmente se registraron los datos de diámetro base en cm (DB a 5 cm arriba del punto de unión patrón-injerto) con un vernier, altura total en m (H desde la base del árbol hasta el ápice) con un estadal de 6 m y la edad de la plantación en meses (M), el registro de los datos se realizó durante un periodo de 24 meses.



Análisis de las tasas de crecimiento mediante el modelo de regresión lineal simple

Para cuantificar las tasas de crecimiento se aplicó la metodología propuesta por Montero-Solís *et al.* (2011), en la que a través del modelo de regresión lineal simple (MRLS) y su ajuste por medio del método de mínimos cuadrados ordinarios se estimaron los parámetros del crecimiento inicial promedio y de los parámetros de las tasas de crecimiento mensual promedio de las variables de DB y H; asimismo, para detectar la existencia de diferencias significativas entre los clones en el MRLS, este se complementó con una prueba de adicionalidad incorporando variables Dummy al factor clon. Los datos se procesaron en el software R Studio con el paquete estadístico lm.

$$Y = \alpha + \beta \times (X) + \varepsilon$$

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_3 Z_3 + \alpha_4 Z_4 + \alpha_5 Z_5$$

$$\beta = \beta_0 + \beta_1 Z_1 + \beta_2 Z_2 + \beta_3 Z_3 + \beta_4 Z_4 + \beta_5 Z_5$$

Donde, Y es la variable dasométrica respuesta (DB o H); X es la variable regresora de la edad (M); α_0 es el tamaño inicial promedio del clon base (IAN 873); $\alpha_i Z_i$ adicionalidad al tamaño inicial promedio del clon referencia, que representan la condición inicial del i-ésimo clon que puede ser GU204, IAN 710, IAN 754, RRIM 527 o RRIM 600; β_0 es el incremento mensual promedio de clon base (IAN 873); $\beta_i Z_i$ es la adicionalidad al incremento mensual promedio del clon de referencia, que también puede ser el i-ésimo clon de GU204, IAN 710, IAN 754, RRIM 527 o RRIM 600, respectivamente (pendiente de la recta).

Resultados y Discusión

Tasa de crecimiento en diámetro base

De acuerdo a la prueba de adicionalidad por clon en el MRLS a una probabilidad de rechazo de $p \leq 0.05$, el parámetro del intercepto indica que el clon base IAN 873 registró un diámetro base inicial promedio de 0.729 cm y no se observaron diferencias significativas con los clones GU 204 (0.680 cm), IAN 754 (0.739 cm), RRIM 527 (0.707 cm), RRIM 600 (0.750 cm), solo se presentó una diferencia significativa con el clon IAN 710 (0.930), todos por adición al clon IAN 873, toda vez que el total de las plantas



tenían la misma edad de injerto en vivero (11 meses). Por otro lado, el análisis sugiere que la mayor tasa de crecimiento en DB lo obtuvo el clon base IAN 873 con 0.154 cm/mes, el resto de los clones presentaron diferencias significativas; cabe resaltar que el clon IAN 710 obtuvo la menor tasa de crecimiento en DB con 0.120 cm/mes (Cuadro 1; Figura 1). El MRLS obtuvo valor en el coeficiente de determinación ajustado de 0.631.

Cuadro 1. Resultados de la prueba de adicionalidad del diámetro base (DB) en función del tiempo (M) en el modelo de regresión lineal simple con variables Dummy.

Clon	Parámetro	Estimador	Adicionalidad (DB en cm)	Error Estándar	Valor de t	Valor de rechazo Pr> t
IAN 873	α_0	0.729	0.729	0.048	15.144	< 2e-16
GU 204	α_1	-0.049	0.680	0.068	-0.716	0.474144
IAN 710	α_2	0.201	0.930	0.068	2.952	0.003169
IAN 754	α_3	0.010	0.739	0.068	0.147	0.883467
RRIM 527	α_4	-0.022	0.707	0.068	-0.320	0.748811
RRIM 600	α_5	0.020	0.750	0.068	0.301	0.763416
IAN 873	β_0	0.154	0.154	0.003	45.657	< 2e-16
GU 204	β_1	-0.015	0.139	0.005	-3.200	0.001379
IAN 710	β_2	-0.034	0.120	0.005	-7.149	9.83E-13
IAN 754	β_3	-0.017	0.136	0.005	-3.671	0.000244
RRIM 527	β_4	-0.024	0.130	0.005	-5.019	5.36E-07
RRIM 600	β_5	-0.032	0.122	0.005	-6.644	3.33E-11

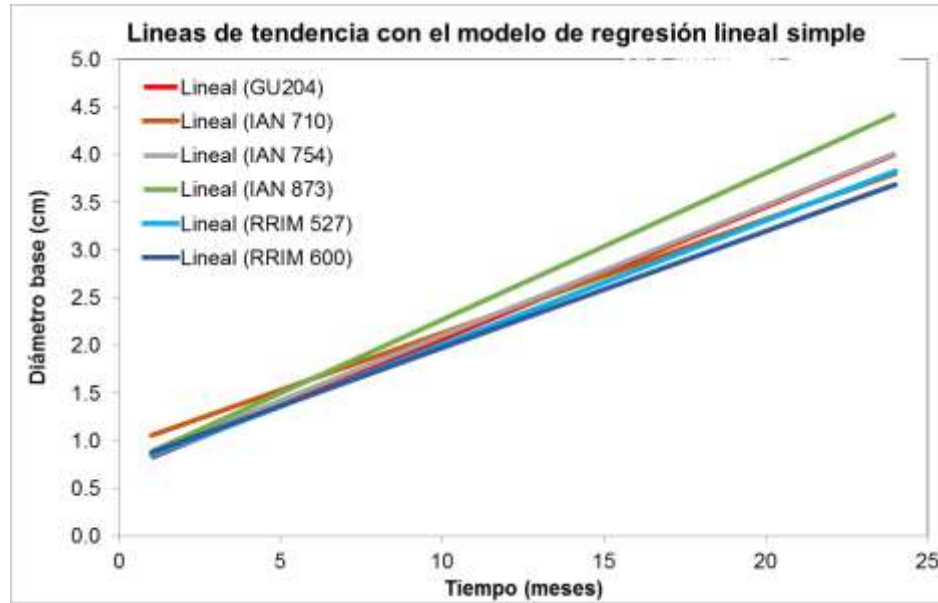


Figura 1. Líneas de regresión lineal del diámetro base (DB) en función del tiempo (M) por clon.

Tasa de crecimiento en altura total

En cuanto a la variable H, el valor inicial promedio para el clon base (IAN 873) fue de 0.624 m y no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) el resto de los clones por adición al IAN 873. Sin embargo, la mayor tasa de crecimiento en H lo obtuvo el clon base IAN 873 con 0.158 m/mes; asimismo, el clon GU 204 no presentó diferencias significativas (0.153 m/mes), mientras que el resto de los clones presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por adición al clon base. El clon con menor tasa de crecimiento en H fue el IAN 710 con 0.117 m/mes (Cuadro 2; Figura 2)).

Cuadro 2. Resultados de la prueba de adicionalidad de la altura total (H) en función del tiempo (M) en el modelo de regresión lineal simple con variables Dummy.

Clon	Parámetro Estimador	Adicionalidad H en m	Error Estándar	Valor de t	Valor de rechazo Pr> t
IAN 873	a0	0.624	0.050	12.435	< 2e-16
GU 204	a1	-0.064	0.071	-0.903	0.3668
IAN 710	a2	0.125	0.071	1.758	0.0788
IAN 754	a3	-0.132	0.071	-1.855	0.0637
RRIM 527	a4	-0.025	0.071	-0.349	0.7274
RRIM 600	a5	-0.093	0.071	-1.310	0.1904

Clon	Parámetro Estimador	Adicionalidad H en m	Error Estándar	Valor de t	Valor de rechazo Pr> t
IAN 873	b0	0.158	0.004	44.885	< 2e-16
GU 204	b1	-0.004	0.005	-0.879	0.3797
IAN 710	b2	-0.040	0.005	-8.074	8.22E-16
IAN 754	b3	-0.010	0.005	-2.105	0.0354
RRIM 527	b4	-0.019	0.005	-3.902	9.64E-05
RRIM 600	b5	-0.034	0.005	-6.876	6.79E-12

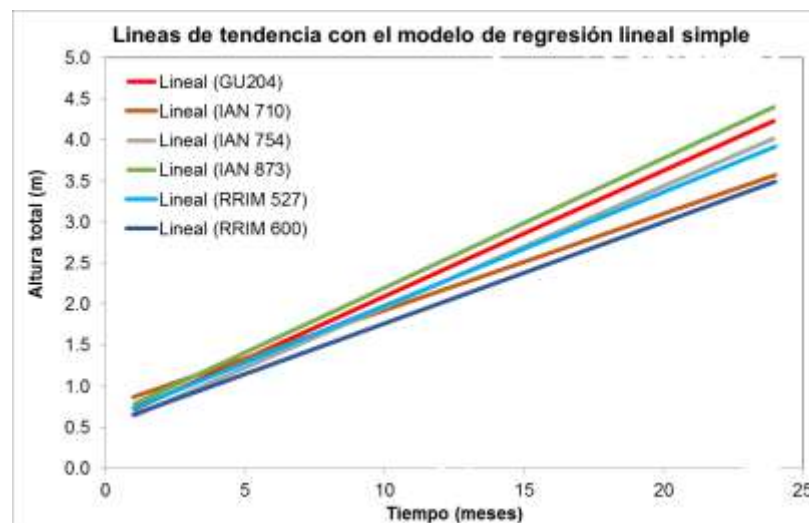


Figura 2. Líneas de regresión lineal de la altura total (H) en función del tiempo (M) por clon.

Por otra parte, los histogramas de residuos sugieren una distribución normal para el modelo del DB en función del tiempo (M); sin embargo, para el modelo de la H en función de M no se cumple con el supuesto. Asimismo, al representar los residuos frente a los valores ajustados por el modelo, estos tienden a distribuirse de forma cónica por lo que no tienen una misma variabilidad sobre el eje 0 y, por lo tanto, se asume problemas de heterocedasticidad. No obstante, estos problemas se pueden corregir mediante una transformación logarítmica o una ponderación de los datos para hacer el análisis más sensible a las pruebas de hipótesis. Sin embargo, este primer análisis, mostró un comportamiento de los valores iniciales promedios y de las tasas de crecimiento tanto en DB como en H en función de M, lo que indicó el clon base IAN 873, en términos generales, es el que obtuvo mejores valores y el clon IAN 710 aun cuando sus valores iniciales al establecer la plantación eran mayores, su tasa de crecimiento en

DB y H fue el más bajo durante los primeros 24 meses (Figura 3). Ortiz (2021) menciona que el clon IAN 873 a los 10 meses de edad presenta una H de 2.64 m y un DB de 2.26 cm, valores que coinciden con la predicción del MRLS desarrollado en el presente estudio para dicho clon.

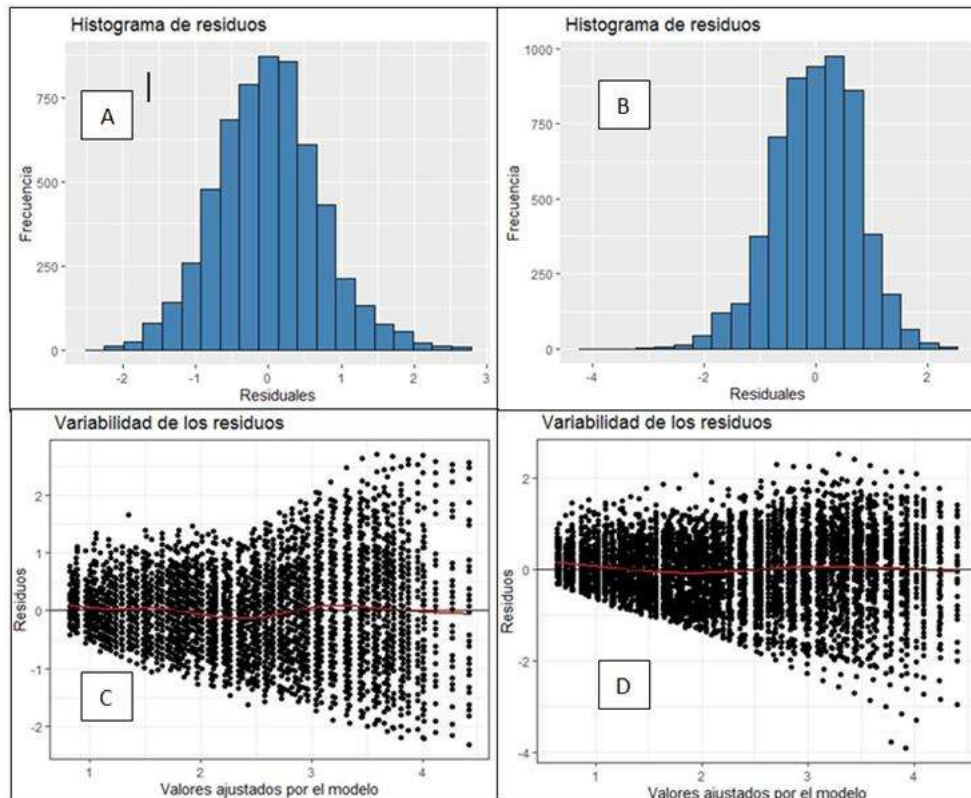


Figura 3. Histograma de residuos y variabilidad de residuos del modelo de diámetro base (DB) en función del tiempo (M) (A y C) y de la altura total (H) en función del tiempo (M) (B y D).

Conclusiones

1. De acuerdo a la prueba de adición en el MRLS al establecer la plantación el clon IAN 710 fue quien obtuvo el mayor tamaño inicial promedio de DB con 0.93 cm y de H con 0.784 m; no obstante, su tasa de crecimiento fue menor al resto de los clones con 0.120 cm/mes en DB y 0.117 m/mes en H, respectivamente.
2. Por el contrario, el clon IAN 873 aun cuando el tamaño inicial promedio obtuvo valores menores con 0.729 cm en DB y 0.624 m en H, sus tasas de crecimiento mensuales fueron mayores con 0.154 cm/mes en DB y 0.158 m/mes en H, respectivamente.



3. Por todo lo anterior, se concluye que el clon IAN 873 tiene la mayor tasa de crecimiento en DB y H durante los primeros 24 meses en campo bajo las condiciones agroecológicas de Tezonapa, el clon IAN 710 tiene la menor tasa de crecimiento en DB y H con diferencias estadísticamente significativas.

Literatura Citada

- Barragán-Hernández, R., M. Domínguez-Domínguez, G. Ramírez-Valverde, C. F. Ortiz-García y P. Martínez-Zurimendi. 2017. Producción de látex en el tablero alto de árboles de hule (*Hevea brasiliensis*) estimulado con ácido-2-cloroetil-fosfónico. *Agrociencia* 51(2):229-243.
- Izquierdo-Bautista, B. H., D. M. Domínguez, Z. A. Martínez, M. V. Velázquez y A. V. Córdova. 2011. Problemática en los procesos de producción de las plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Muell arg.) en Tabasco, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:513 – 524.
- López-Reyes, L. Y., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi, J. Zavala-Cruz, A. Gómez-Guerrero y S. Posada-Cruz. 2016. Carbono almacenado en la biomasa aérea de plantaciones de hule (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.) de diferentes edades. *Madera y bosques* 22(3):49-60.
- Monroy, C. y J. de J. Návar. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Madera y Bosques* 10(2):29-43.
- Monroy-Rivera, C. R., O. A. Aguirre C. y J. Jiménez P. 2006. Productividad maderable de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, México. *Ciencia UANL* 9(3).
- Moctezuma, L. G. 2018. Evaluación financiera y de potencial productivo del paquete tecnológico para el establecimiento de *Hevea brasiliensis* (willd. Ex a. Juss) müll. Arg. en Tabasco. *Revista Mexicana de Agronegocios* 44:128-137.



- Ortiz, C. E. 2021. Selección temprana de clones de hule (*Hevea brasiliensis*), en Tezonapa, Veracruz. p. 1069 – 1084. In: Zetina, L. R., V. O. H. Tosquy, P. A. L. Ángel, R. A. Utrera, H. M. V. Vazquez, E. V. A. Esqueda y M. C. Perdomo (ed.). Ciencia y tecnología para el campo mexicano: Retos y Oportunidades.
- Pérez-Miranda, R., M. E. Romero-Sánchez, A. González-Hernández, E. Velasco-Bautista, E. and A. G. Ramírez-García. 2021. Potential areas to establish rubber plantations (*Hevea brasiliensis* Willd. ex A. Juss) Müll. Arg.) in Oaxaca, Mexico. Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical 1(2):25-40.
- Ramírez-Jaramillo, G., M. Lozano-Contreras y Cano-González, A. 2018. Áreas con potencial productivo para el cultivo de hule (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) en México. Revista del Centro de Graduados e Investigación 33(71):44-49.
- Rojo-Martínez, G. E., J. Jasso-Mata, J. Vargas H., A. Velázquez-Martínez y D. J. Palma L. 2002. Predicción de la producción de látex en plantaciones comerciales de hule (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) en Oaxaca, México. Revista Fitotecnia Mexicana 26(3):183-190.
- Rojo, M. G. E., R. R. Martínez y M. J. Jasso. 2011. El cultivo del hule en México. Universidad Autónoma Indígena de México, Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. México. 344 p.
- Santiago, T. O., H. J. J. Vargas, A. Aldrete, U. J. López y G. A. M. Fierros. 2015. Sustratos y tamaños de contenedor en el desarrollo de *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 6(31):94-111.
- Sugebo, B., D. Yebeyen and A. Adugna. 2022. Latex yield variation among *Hevea brasiliensis* clones grown under the agro-climate of South-West Ethiopia. Trees, Forests and People 9:100285.
- Vargas-Canales, J. M., M. I. Palacios-Rangel, A. I. Acevedo-Peralta and J. A. Leos-Rodríguez. 2016. Profitability analysis for natural rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) production in Oaxaca, Mexico. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente 22(1):45-58.



Vargas-Canales, J. M., M. I. Palacios-Rangel, A. I. Acevedo-Peralta, Leos-Rodríguez, S. D. F. y R. V. M. Vélez N. 2013. Desempeño inicial de clones de caucho en el municipio de Puerto Carreño, Vichada, Colombia. Colombia Forestal 16(2):186-199.



AGROECOSISTEMAS





USO Y MANEJO TRADICIONAL DE LOS SOLARES EN COMUNIDADES RURALES DE JESÚS CARRANZA, VERACRUZ

Juana Ortiz Timoteo⁴⁰⁰ y Odilón Sánchez Sánchez^{400*}

Resumen

Los solares, como parte de los agroecosistemas, son proveedores de un buen número de satisfactores esenciales para el desarrollo de la familia campesina. La principal función de los solares es la producción de alimentos, sin embargo, también generan diversos productos secundarios con especies multipropósito: frutales, medicinales, ornamentales, hortalizas, condimentos, entre otras. El objetivo de este trabajo fue documentar los usos de las especies vegetales, así como las estrategias y prácticas de manejo llevadas a cabo por los campesinos en los solares de tres comunidades rurales del municipio de Jesús Carranza, Veracruz. Los solares, compuestos por patio, casa y traspatio, son espacios donde se llevan a cabo diversas labores agrícolas como el control de malezas, poda, control de plagas y prácticas rituales. El área de estudio se integró por los ejidos Ricardo Flores Magón (Magón), Nueva Esperanza (Esperanza) y Niños Héroe de Chapultepec (Zetina). Se aplicaron cuestionarios y entrevistas abiertas a una muestra de 30 personas, así como se llevó a cabo observación directa para la documentación del uso de las especies vegetales y las prácticas de manejo utilizadas por los campesinos. Se registraron 56 especies útiles en el ejido La Esperanza, 38 en el ejido Zetina y 58 en el ejido Magón. Se concluye que los campesinos de las tres comunidades estudiadas continúan aprovechando todas las especies presentes en los solares; se identificó que el uso predominante es el alimenticio, sin embargo, cultivan una diversidad de plantas y árboles con usos medicinales, condimenticos, ornamentales, especies de sombra, para la fabricación de utensilios, bebidas, madera y leña. El manejo de los solares sigue siendo tradicional, incluye prácticas de limpieza (corte y deshierbe manual), poda de los árboles más grandes y la reutilización de la hojarasca. A través de los solares, los campesinos mantienen sus tradiciones y costumbres, obtienen productos básicos para el autoconsumo durante todo el año y una proporción, aunque menor, les ayuda a obtener ingresos extra por la venta de los productos excedentes, o por intercambio en la misma comunidad o en áreas vecinales.

⁴⁰⁰ Centro de Investigaciones Tropicales de la Universidad Veracruzana. *Autor de correspondencia: odsanchez@uv.mx.



Palabras clave: agroecosistemas, habitantes locales, conocimiento campesino, especies útiles

Introducción

La conservación de los agroecosistemas es esencial para la seguridad alimentaria, ya que proporcionan los recursos necesarios para la producción agropecuaria. El conocimiento agrícola tradicional transmitido en las comunidades campesinas a través de la observación detallada, la tradición oral, las técnicas y las experiencias de vida, es de gran valor (Toledo, 1989, en Gómez y Gómez, 2006). Los solares, como parte de los agroecosistemas, desempeñan un papel crucial en la autosuficiencia alimentaria de los campesinos, ya que satisfacen sus necesidades utilizando recursos naturales y sistemas agroforestales (Gómez y Gómez, 2006). Estos solares, también conocidos como huertos familiares o cultivos de traspatio, son importantes para la conservación del germoplasma *in situ* y combinan la sustentabilidad ecológica y socioeconómica, permitiendo a los grupos indígenas y campesinos en México obtener productos básicos para la subsistencia (Rebollar *et al.*, 2008).

Un solar se define como el área adyacente a la vivienda familiar donde se cultiva una diversidad de plantas, incluyendo árboles, arbustos y hierbas, con diversos usos, que están estrechamente relacionadas con los animales domésticos. Además, los solares contribuyen al sustento alimentario y a la economía familiar al mantener una producción continua a lo largo del año, debido a la presencia de diferentes especies vegetales con ciclos de producción escalonados (Aké *et al.*, 2002). Por lo tanto, resulta de gran importancia investigar el conocimiento campesino tradicional, que constituye una fuente indispensable de información sobre el manejo de los solares. Lamentablemente, este conocimiento se está perdiendo actualmente, lo que resulta en una disminución de la diversidad de los sistemas agroforestales y el abandono de especies vegetales útiles para las comunidades. En este contexto, es esencial documentar la información tradicional para determinar las propiedades y el potencial de uso real de las especies presentes en los solares, así como las prácticas de manejo empleadas (Cárdenas *et al.*, 2002). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue documentar los usos de las especies vegetales, así como las estrategias y prácticas de manejo llevadas a cabo por los campesinos en los solares. Surgiendo así, las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué especies de plantas se encuentran en los solares? ¿Cuáles son sus usos y qué prácticas de manejo se implementan? ¿Se han producido modificaciones en estas prácticas o se han mantenido en su forma original?



Materiales y Métodos

Los tres ejidos rurales de estudio pertenecen al Municipio de Jesús Carranza, ubicado en el sureste de Veracruz; los cuales fueron Ricardo Flores Magón (Magón), con una población total de 244 habitantes y una altitud de 77 msnm; Nueva Esperanza (Esperanza), con una población de 282 habitantes y situada a 33 msnm; y Niños Héroe de Chapultepec (Zetina), conformada por 343 habitantes y con una altitud de 48 msnm. En la zona de estudio prevalece un clima cálido y húmedo, caracterizado por lluvias tanto en verano como en invierno. La precipitación promedio es de 2300 mm, alcanzando ocasionalmente más de 3000 mm durante el periodo de máxima intensidad. La temperatura promedio en la zona es de 25°C (Toss, 2006).

El enfoque cualitativo utilizado se basó en las propuestas de diversos autores, como Hernández-X. (1971), Martínez-Alfaro (1978), García-Frapolli *et al.* (2008) y Aguilar *et al.* (2008). Específicamente, se emplearon métodos de observación directa, cuestionarios y entrevistas abiertas (Ander, 2003). Inicialmente, se llevó a cabo un reconocimiento previo en el área (Hernández-X., 1971; Martínez-Alfaro, 1978; y Aguilar *et al.*, 2008) para seleccionar las comunidades de estudio. Se realizaron visitas a las autoridades de los ejidos con el objetivo de presentar el proyecto y obtener el permiso para llevar a cabo la investigación. El método de muestreo utilizado fue el de bola de nieve, que consistió en identificar informantes clave y solicitarles que recomendaran a otros posibles participantes (Salamanca y Crespo, 2007; Magaña *et al.*, 2010). Se entrevistaron a 10 personas adultas (hombres y mujeres) por comunidad con conocimientos sobre el uso de las plantas y las prácticas de manejo, lo que resultó en un total de 30 informantes clave (Morón *et al.*, 2005).

En el cuestionario se recopilaron datos generales como nombre, ocupación, edad, nivel educativo, lengua indígena, servicios de salud y se observó el tipo de vivienda. Además, se llevaron a cabo entrevistas abiertas para obtener información sobre el tamaño del solar, las especies de plantas, sus nombres comunes y/o locales, los usos, las partes utilizadas, la época de producción (cosecha), las prácticas de manejo, el origen de las plantas, los productos para autoconsumo y/o venta, y los precios de venta. También se compiló información relacionada con las especies para la obtención de leña proveniente del solar, monte y potreros, y se incluyeron preguntas sobre los animales domésticos (para autoconsumo o venta), las plantas para recolección y los animales de caza y pesca. Por último, se realizó un registro fotográfico de las especies de plantas y se recolectaron muestras de árboles que se encontraban en floración y/o fructificación. La evaluación del conocimiento y uso de las especies se



analizó utilizando el método propuesto por Monroy-Ortiz y Monroy (2004), que describe el conocimiento tradicional de los campesinos sobre las plantas mencionadas. A partir de esto, se determinó la dominancia cultural (dominancia de uso) de las familias y especies, y se estimaron los diferentes usos de las especies vegetales. La dominancia cultural de las familias se calculó registrando el número de especies y variedades mencionadas por cada familia. Mediante el análisis de la frecuencia de uso, se identificaron las especies de plantas más utilizadas para satisfacer necesidades en función de las diferentes familias botánicas presentes en cada localidad.

Resultados y Discusión

Aspectos generales

La edad promedio de las personas entrevistadas en las comunidades de Esperanza y Magón fue de 46 años. En Zetina, fue ligeramente mayor, alcanzando los 49 años. Semejante a lo que registraron Flota-Bañuelos *et al.* (2016), en un estudio de solares en zonas rurales de siete municipios de Campeche, donde la edad promedio fue de 46 años. En algunos municipios de la región sureste del estado de Veracruz, se conserva el uso del idioma chinanteco, principalmente en Uxpanapa y Jesús Carranza. En estas comunidades, los individuos de mayor edad aún se comunican en su dialecto. Sin embargo, los niños y jóvenes han dejado de practicarlo debido a la educación en español, la falta de interés en aprenderlo y la migración hacia áreas urbanas. Benz *et al.* (2000), reportaron que en un estudio realizado en la Sierra de Manantlán, el conocimiento sobre el uso de las plantas se estaba desvalorando por la pérdida de la lengua indígena y al desarrollo urbano. En las tres comunidades estudiadas, todos los entrevistados hablaban español. En Esperanza, el 80% de ellos hablaban Chinanteco y el 10% Ojiteco. En Magón, el 90% hablaban Chinanteco y el 10% ningún dialecto. Por otro lado, en Zetina únicamente hablaban español.

La mayoría de los habitantes de las comunidades rurales se dedican al trabajo agrícola. Sin embargo, en la actualidad, muchos de sus hijos optan por estudiar carreras no relacionadas con la agricultura y buscan oportunidades educativas fuera de las comunidades, debido a la dureza del trabajo en el campo expresaron algunos. En cuanto a las ocupaciones de los entrevistados, en Esperanza el 70% eran campesinos y el 30% amas de casa. En Magón, el 70% eran campesinos, el 20% amas de casa y el 10% estudiantes. Por su parte, en Zetina el 90% eran campesinos y el 10% amas de casa. Cabe mencionar



que las mujeres también desempeñan labores agrícolas y pueden ser consideradas campesinas, ya que colaboran con sus esposos en las tareas de siembra y cosecha.

Componentes de los solares en las comunidades

Para los habitantes de estas comunidades, el "*solar*" se refiere al terreno en el que se encuentran sus viviendas, acompañadas de plantas, árboles y animales domésticos (para consumo y como mascotas). De acuerdo a los entrevistados, el solar se divide en tres áreas principales: a) el patio, donde se encuentran plantas herbáceas como las ornamentales (que brindan un aspecto agradable), condimenticias y algunas medicinales, además de contar con dos árboles para proporcionar sombra; b) la casa-habitación, donde se encuentran las áreas para dormir y cocinar; y c) el traspatio o parte trasera del solar, donde generalmente se ubican árboles frutales, arbustos comestibles y el corral para pollos y guajolotes. Como límites del solar, utilizan principalmente tulipanes, limonarias y ocasionalmente el cocuite. En los solares se puede observar una gran diversidad de plantas, tanto árboles como arbustos y herbáceas. Gaytán *et al.* (2001), registran tres componentes de los solares de San Miguel Tlaixpán, Texcoco: casa-habitación, patio o jardín y el huerto. El solar, de acuerdo a los campesinos participantes en este estudio, es un sitio donde se incluyen árboles, arbustos y plantas herbáceas de usos múltiples, asociados a cultivos y animales domésticos y silvestres, que se manejan de acuerdo con los intereses de los habitantes. Este concepto coincide con lo que han definido varios autores como Torquebiau 1992; Caballero 1992; Lok 1998; Mariaca 2012; y Pulido *et al.*, 2008.

Terán y Rasmussen (1994), mencionan que en un solar se ubican la casa, cocina, un cuarto de baño, lavadero, pozo, gallinero y chiqueros. Dentro del solar de estudio, se identificaron las siguientes estructuras:

- Casa: Las viviendas se encuentran dentro de los solares y están construidas con cemento, madera o una combinación de ambos. El piso es de cemento y el techo es de lámina y concreto.
- Cocina: Es una construcción más pequeña que la casa principal y se ubica al lado o en la parte trasera de esta; está construida con madera, el piso es de tierra y el techo de cartón y en ocasiones de palma. Dentro de esta, se encuentra el fogón usado para cocinar y hacer tortillas.
- Lavadero o bateas: se colocan sobre piedras, bloques o postes de madera enterrados con tablas.
- Baño: se encuentra ubicado en la parte trasera del solar, a cierta distancia de las casas. Está construido con madera o, a veces, con materiales como bloques; el techo es de cartón o lámina. Además, se construye un cuarto adjunto que se utiliza para bañarse.



- Cercas: para delimitar el solar siembran tulipanes (*Hibiscus rosa-sinensis*), limonarias (*Murraya exotica*) y cocuite (*Gliricidia sepium*). También existe una separación entre el solar y el huerto de hortalizas. Para ellos, el huerto es una parte del terreno dentro del solar que está cercada y en donde se cultivan tomate, cebollín, hierbabuena, albahaca y quelite, entre otros.

Descripción del solar

Tamaño: Los solares en las comunidades rurales presentan una variabilidad en cuanto a su tamaño, influenciado por factores como la superficie de la comunidad y el tamaño de las casas. En La Esperanza, el tamaño promedio del solar fue de 2313 m². En Zetina, fue de 1540 m², y se observó una mayor presencia de especies ornamentales. En Magón, el tamaño promedio fue de 1398 m², y se destacó por una mayor diversidad de plantas; sin embargo, algunos solares han ido disminuyendo de tamaño debido a la construcción de viviendas para los hijos que contraen matrimonio. Este parámetro varía de acuerdo a la región y país, por ejemplo, Gaytán *et al.* (2001), señalaron que el tamaño de los solares de San Miguel Tlaixpán, Texcoco osciló entre los 1500–2000 m²; así como el tamaño de huertos familiares en tres comunidades de la Península Ibérica, registrado por Reyes-García *et al.*, (2010), fue de 422 a 705 m².

Antigüedad: el tiempo de establecimiento de los solares es diferente en las tres comunidades estudiadas: Esperanza, Zetina y Magón. Algunos solares han sido habitados durante 50 años, mientras que otros fueron adquiridos más recientemente, hace unos 10 años. Los solares que tienen más tiempo de establecidos, en algunos casos, se traduce en una mayor diversidad de especies de plantas.

Eliminación de vegetación natural: Durante la construcción de las casas y en ocasiones para ampliar las viviendas, se han eliminado algunas especies de plantas nativas. Otras especies se han conservado debido a su utilidad y valor para los habitantes, ya sea como frutos para el consumo y venta o sus ramas, producto de la poda, pueden ser aprovechadas como leña o material para cerca de sus huertos.

Responsabilidad del manejo del solar: El mantenimiento del solar es responsabilidad de toda la familia, aunque en ocasiones el esposo y la esposa se encargan de estas tareas. Las prácticas de manejo son fundamentales para mantener limpio el solar. Reyes-García *et al.* (2010), reportaron que el manejo de los huertos en la Península Ibérica, se realizaba en conjunto entre hombres y mujeres. A diferencia de lo que reportaron Flota-Bañuelos *et al.* (2016), que, en Campeche, la responsabilidad del manejo del solar es de la mujer y de las hijas. A continuación, se describen las principales prácticas de manejo del solar identificadas en este estudio:



- Control de maleza: la eliminación de maleza se realiza de forma manual, ya sea a mano o utilizando un machete. Además, se barren y recogen las hojas caídas; en algunas ocasiones, se amontonan en una parte del terreno para obtener abono natural y mejorar la fertilidad del suelo.
- Podas: algunas personas realizan podas en las plantas con el objetivo de reducir la sombra a las plantas más pequeñas. También se cortan las ramas secas de los naranjos, para estimular el crecimiento de nuevas ramas y la producción de frutos.
- Control de plagas: las hormigas y las arrieras fueron las principales preocupaciones, ya que se alimentan de las hojas; para su control se aplica insecticida (Arribo) en polvo.
- Prácticas rituales: en ocasiones se llevan a cabo prácticas rituales para el cuidado de las plantas. Por ejemplo, algunos cuelgan trapos rojos en las plantas como una forma de protección, buscando que crezcan saludables y produzcan frutos de buena calidad. Esta costumbre se observa en la papaya, el coco y el plátano. Además, al sembrar palmas de coco, suelen colocar sal en el hoyo de siembra y, una vez que las palmas se desarrollan y fructifican, aplican sal en el follaje para obtener un sabor de agua más dulce. Estas prácticas rituales reflejan la importancia cultural y simbólica que tiene la relación entre los habitantes y sus plantas, tradiciones que forman parte de la riqueza cultural y la cosmovisión.

Diagnóstico de especies

Composición florística del solar: La llegada de los españoles introdujo nuevas especies y generó cambios culturales en los que las especies locales fueron reemplazadas por aquellas traídas de otros países. Actualmente, este fenómeno ocurre con mayor frecuencia en especies con potencial comercial, como la madera. En la Esperanza se registraron 56 especies útiles con diversos usos, pertenecientes a 38 familias botánicas. Las familias más representativas fueron *Leguminosae*, con cinco especies, seguidas de *Rubiaceae*, *Rutaceae* y *Lamiaceae*, con tres especies. En Zetina se identificaron 38 especies de plantas con distintos usos, distribuidas en 30 familias. Las familias mejor representadas fueron *Leguminosae*, *Lamiaceae* y *Rutaceae*, con tres especies, seguidas de *Anacardiaceae*, con dos especies. En Magón se registraron 58 especies de plantas agrupadas en 37 familias, con diversos usos locales. Las familias más representativas, con mayor número de especies, fueron *Rutaceae*, con cuatro especies, seguida de *Lamiaceae* y *Moraceae*, con tres especies.

En las tres comunidades se registraron un total de 83 especies agrupadas en 48 familias. Las familias mejor representadas fueron *Rutaceae*, con seis especies, seguida de *Leguminosae*, con cinco especies. El número de especies y familias en un agroecosistema indica el nivel de diversidad. Chablé-Pascual *et*



al. (2015), identificaron 330 especies en los solares de Tabasco; por su parte, Flota-Bañuelos *et al.* (2016), registraron 223 especies en los solares de Campeche; y en Puebla se reportaron 130 especies en los solares. En San Miguel, Oaxaca, el número de especies registradas fue menor a 62 (Manzanero *et al.*, 2009). En cuanto a la familia más representativa fue similar a lo reportado por De la Cruz (2009), en Tihuatlán, Veracruz

Estructura de la vegetación

Forma vegetativa: Aunque los árboles son las especies más destacadas en los ecosistemas, las hierbas también desempeñan un papel importante en la alimentación de las personas, ya que se utilizan como condimentos y medicinales (como remedios). En cuanto a la forma vegetativa de los solares, se puede observar que, en las tres comunidades, las plantas herbáceas son las más abundantes, seguidas de los árboles y, por último, los arbustos (Figura 1).

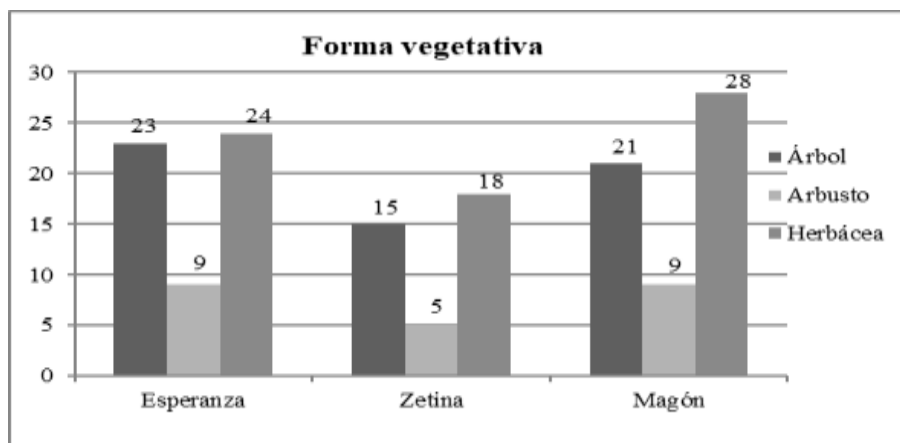


Figura 1. Número de especies de acuerdo a las formas vegetativas en los solares de las tres comunidades del, municipio de Jesús Carranza, Ver.

En estas comunidades, las especies herbáceas fueron dominantes en términos de forma vegetativa (37 especies), seguidas de los árboles (31 especies) y, por último, los arbustos (15 especies). Otros autores también reportaron que los huertos familiares se constituyen por una gran diversidad de especies vegetales que se desarrollan en tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo (Vogl *et al.* 2004; Lope-Alzina y Howard 2012).

Especies vegetales predominantes

En los solares, una de las especies más abundante fue la naranja (*Citrus sinensis*), ya que en la zona este arbusto presenta una alta producción, y un comercio para obtener ingresos económicos. En la



Esperanza aparte del naranjo, se mencionaron al acuyo (*Piper auritum*), cedro (*Cedrela odorata*), plátano (*Musa acuminata*) y ciruela (*Spondias purpurea*). En Zetina se mencionaron las rosas (*Rosa sp.*), plátano, cedro (*Cedrela odorata*) y albahaca (*Ocimum basilicum*). En Magón se encontraron el orégano (*Origanum vulgare*), rosas (*Rosa sp.*), ciruela (*Spondias purpurea*) y nanche (*Byrsonima crassifolia*). Algunas especies se encuentran en proceso de domesticación como la ciruela.

Usos de las especies vegetales

Las especies de plantas nativas son muy significativas para las comunidades y es importante preservarlos *in situ* dentro de los solares. Las especies de plantas pueden presentar diversos usos y cada una puede ser usada de diferente forma. Por esto, los solares constituyen un sistema de conservación *in situ* de las especies nativas de la zona. Se registraron nueve categorías de uso en las especies de plantas reportadas: alimenticia, sombra, condimenticia, medicinal, ornamental, bebida, utensilio, madera y leña. En Campeche se reportaron usos similares: consumo humano, sombra, medicina humana y animal, alimentación animal, ornato, venta, madera: (Flota-Bañuelos *et al.*, 2016). De acuerdo a Huai y Halmiton (2009), se encontró que el uso de las especies va cambiando conforme a la preferencia y al interés económico, por ejemplo; en la zona árida de México se registraron usos ornamentales, comestibles y medicinales; en el norte de Brasil, se incluyeron los maderables, sombra, forrajeros, sustitutos de jabón y mágicos; en una comunidad de China, también se agregó el de especias.

En las comunidades estudiadas, el mayor uso que le dan a las plantas es el alimenticio. En la Esperanza se registraron 27 especies de plantas alimenticias, 16 para sombra, 10 para bebidas (agua de frutas y coco), nueve ornamentales, ocho condimenticias, ocho medicinales, cinco como utensilio, tres para madera y una para leña. En Zetina se registraron 19 especies de plantas alimenticias, 12 para sombra, 10 ornamentales, ocho medicinales, siete para bebidas, seis condimenticias, dos como utensilio, una para madera y una para leña. En Magón se registraron 34 especies de plantas alimenticias, 15 para sombra, 12 medicinales, 11 para hacer bebidas, 10 ornamentales, cinco para utensilio y una para leña. Algunas de las especies de plantas presentan más de dos usos. El mayor uso de las plantas en las tres comunidades fue el alimenticio (Figura 2). Similar a lo mencionado por Zanábriga *et al.* (2007), donde el uso más representativo fue el comestible en Tuxpán, Guerrero. Mientras que, en Solferino, Quintana Roo, predominó el uso de construcción (La Torre e Islebe, 2003).

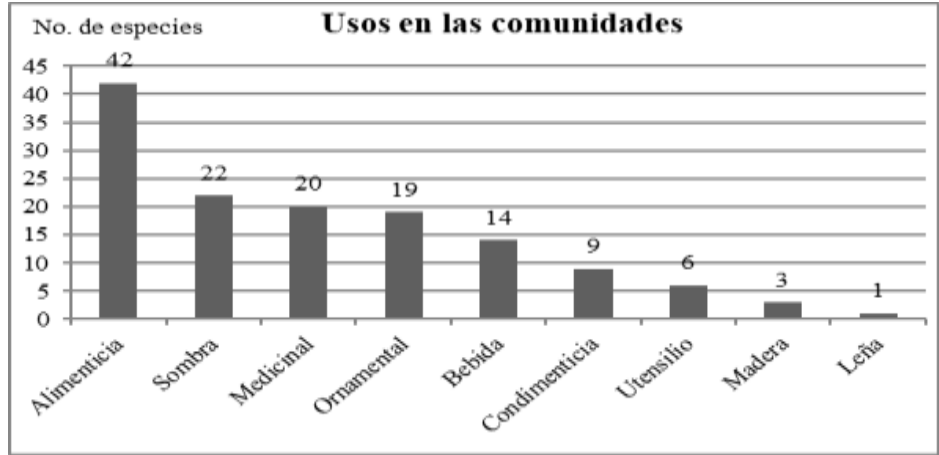


Figura 2. Usos de las plantas de los solares en el área de estudio, municipio de Jesús Carranza, Ver.

Partes de las plantas y su uso

Los entrevistados de cada comunidad, mencionaron que la parte que más usaban de las plantas eran los frutos. En la Esperanza y en Zetina después de los frutos, aprovechaban todo el árbol. En cambio, en Magón, la parte que más usaban eran los frutos, seguido de las hojas (Figura 3).

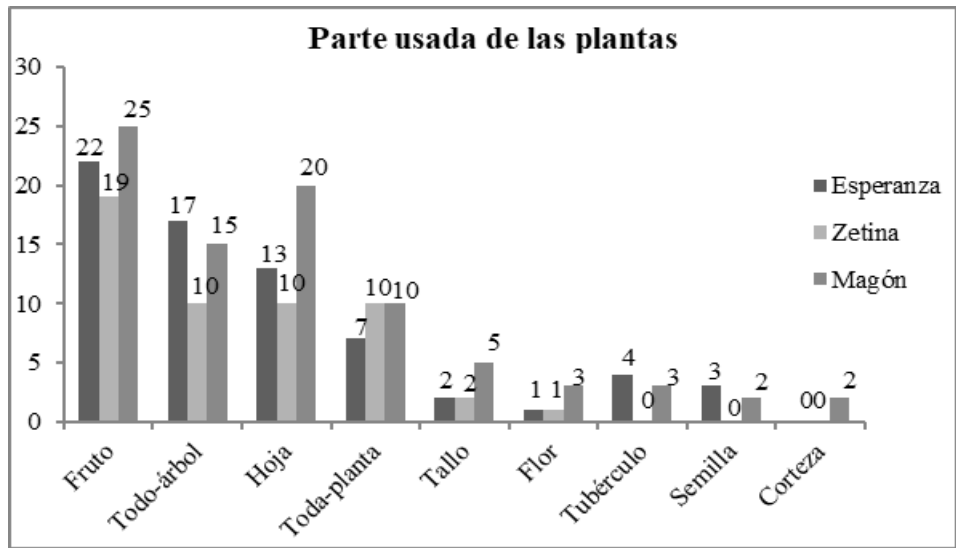


Figura 3. Parte usada de la planta por comunidad estudiada en el municipio de Jesús Carranza, Ver.

De acuerdo a las partes usadas en general por las tres comunidades destacan los frutos, seguido de las hojas y todo el árbol o planta. (Figura 4).

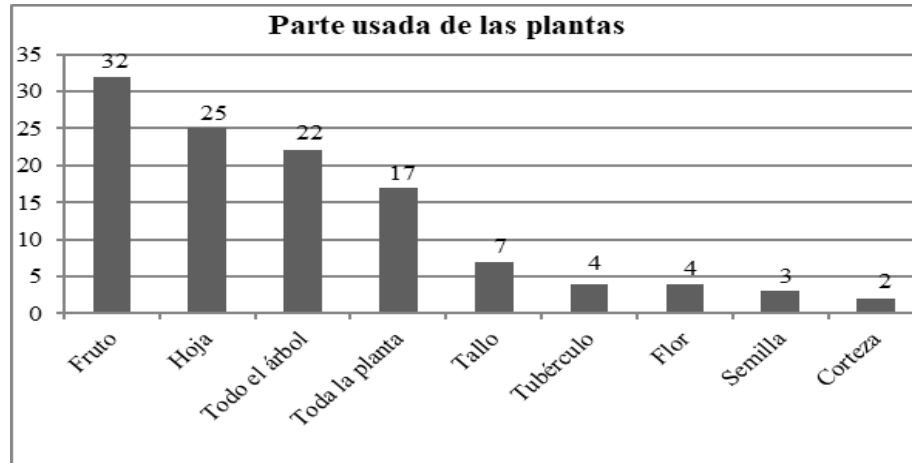


Figura 4. Parte usada de las plantas en el área de estudio, municipio Jesús Carranza, Veracruz.

Autoconsumo y venta

Los productos obtenidos del solar son utilizados para autoconsumo, solo se venden algunos excedentes; los frutos son consumidos por las familias y así evitan comprarlos. Estos productos también sirven de alimento para los animales, pues además del maíz, comen frutas (papayas, naranjas, aguacates).

Animales domésticos

Otra estrategia de alimentación en las localidades es a través de animales domésticos y/o de corral, principalmente gallinas, guajolotes y cerdos. Estos animales son consumidos por los habitantes en días importantes, en las festividades y en cualquier día del año. Además, de consumir la carne de las gallinas, también consumen los huevos, con esto las familias ahorran al no comprar huevos “de granja”. La alimentación para estas aves es básicamente de maíz que produce el campesino. Los animales domésticos que se mencionaron en La Esperanza fueron pollos, guajolotes, patos, marranos y becerros. En Zetina se mencionaron pollos, guajolotes, marranos, cotorros, perros y gatos. Por el contrario, en Magón, se mencionaron pollos, guajolotes, cotorros, pericos, perros y chachalacas. La mayoría de estos animales forman parte del consumo familiar, a excepción de los que sirven de mascotas. En total se reportaron 10 especies por las tres comunidades, que da un valor más alto a lo reportado en Campeche (Flota-Bañuelos *et al.*, 2016), quienes mencionaron siete especies; y el valor es menor en comparación con las 17 especies encontradas en Tabasco por Chablé-Pascual *et al.* (2015), así como por Mariaca (2012) en la península de Yucatán, donde también registraron 17 especies.



Especies de plantas para leña

Los árboles que usan para leña para el fogón son ubicados en los potreros, en el monte y en la orilla del río, de estos árboles, se utilizan las ramas y el palo seco, también, se utiliza cualquier palo seco que encuentran tirado y que sirva para leña. En La Esperanza se mencionaron algunas especies como: *Gliricidia sepium* (cocuite) es el más usado; después le sigue *Manilkara zapota* (chicozapote), *Psidium guajava* (guayaba) y *Tabebuia rosea* (roble). En Zetina mencionaron *Citrus sinensis* (naranja) como la más utilizada para leña; después a *Gliricidia sepium* (cocuite), *Inga vera* (chalahuite) y *Byrsonima crassifolia* (nanche). En Magón se mencionaron algunas como *Citrus sinensis* (naranja), la más usada; *Gliricidia sepium* (cocuite), *Manilkara zapota* (chicozapote) y *Byrsonima crassifolia* (nanche).

Plantas silvestres recolectadas

Aunque la mayor parte de las selvas ha sido sustituida por potreros, existen parches de vegetación o a lo que los campesinos llaman “la montaña”, donde las personas recolectan leña, o extraen madera de *Cedrela odorata* (cedro) y *Swietenia macrophylla* (caoba). De las plantas comestibles que se extraen del monte, se encuentra la palma del chichón, llamado también chochos (*Astrocaryum mexicanum*), de la cual se consume la flor. En la Esperanza se registraron algunas plantas que son recolectadas como el *Astrocaryum mexicanum* (chichón), ya que se comen la flor y los frutos. También, *Dialium guianensis* (paque) que puede ser usado para madera y el fruto es comestible. Además, se mencionó que alrededor de la montaña, recolectan hierbamora (*Solanum nigrus*) y quelite (*Amaranthus hybridus*), que son alimenticios; y buscan hoja de pozol (*Calathea lutea*) para hacer los tamales. Por otro lado, en Zetina se mencionaron el chichón, *Chamaedorea tepejilote* (tepejilote), *Pouteria sapota* (zapote), paque, tomate chiquito (*Physalis pubescens*), y *Capsicum annuum* (chiltepín), y cerca del potrero alrededor de la montaña buscan quelite, hierbamora y hoja de pozol. Asimismo, en Magón se registró al chichón y tepejilote; y cerca de la montaña recolectan hoja de pozol y quelite.

Animales silvestres de caza

Algunos animales de caza son *Cuniculus paca* (tepezcuintle), *Sus scrofa* (jabalí), *Dasyus novemcinctus* (armadillo o toche). En la pesca es común la captura de la mojarra y *Macrobrachium carcinus* (acamayas). Esta actividad para complementar la dieta es muy común en la mayoría de las comunidades rurales, en ciertos casos algunas especies pueden ser vendidas. En la Esperanza pescan muy poco, generalmente mojarra, camarón (*Penaeus* spp.), y charales. El cincuenta por ciento de los entrevistados mencionó que ya no pescan y solo compran algunas mojarras. En esta comunidad, dejaron de cazar porque ha disminuido la cantidad de animales y es difícil encontrarlos, por lo que



optan por comprar mojarra, tepezcuintle, jabalí (*Sus scrofa*) y toche. Por otro lado, en Zetina se mencionó que prohibieron la pesca, y solo la practican dos días de la Semana Santa; pescan mojarra, camarón y jolote blanco. Aquí, también la mitad de los entrevistados mencionó que ya no pescan nada. Ninguna persona caza animales, sino que compran mojarra, tepezcuintle, toche, venado (*Odocoileus virginianus*) y mayacaste. En Magón algunos mencionaron que pescan mojarra, sin embargo, más de la mitad de los entrevistados dijo que ya no lo hacían. En esta comunidad nadie se dedica a la caza. Sin embargo, cuando llegan a vender sus productos, compran mojarra, tepezcuintle, toche o armadillo y camarón.

Conclusiones

Los agricultores, mediante su conocimiento tradicional y prácticas de manejo, continúan aprovechando todas las especies de plantas presentes en los solares con diversos fines: alimentación, medicinal, condimentación, ornamentación, sombra, utensilios, bebidas, madera y leña. De esta manera, mantienen sus tradiciones y costumbres, obteniendo productos básicos para el autoconsumo durante todo el año. Estas comunidades de estudio conservan su conocimiento tradicional, especialmente en las comunidades Chinantecas, donde se utilizan las especies de plantas en una mayor variedad de usos. El manejo y uso de los productos obtenidos de estos sistemas se centra principalmente en el autoconsumo, así como en el intercambio o regalo, incluyendo también a los animales domésticos. Las prácticas de manejo de los solares siguen siendo tradicionales, incluyendo la limpieza (corte y deshierbe manual), poda de los árboles más grandes y la recolección y agrupamiento de hojarasca.

Los solares en las comunidades del grupo étnico Chinanteco presentan una mayor diversidad de especies de plantas en comparación con la comunidad de Zetina. Esto se debe a su capacidad para adaptarse y gestionar sus recursos naturales en beneficio propio. Sin embargo, en Zetina, han mantenido su arraigo cultural del lugar del que provienen (Misantla, Veracruz), lo cual se refleja en la mayor presencia de plantas de naranjo. Es de suma importancia que la población continúe manteniendo sus sistemas tradicionales. Una forma de lograrlo es mediante la inclusión de especies arbóreas como corredores para la obtención de abono verde, así como la incorporación de especies para cortinas rompevientos y cercas vivas, con el objetivo de diversificar los sistemas. Además, resulta fundamental que los proyectos de sistemas agroforestales integren los elementos del conocimiento tradicional



campesino con enfoques agroecológicos, buscando así la conservación de las especies nativas de la región, así como la producción de alimentos, forraje, madera y frutas para el autoconsumo y la venta.

Literatura Citada

- Aguilar, C.W., Baños O., Quezada, D., Gurri, F., y Castillo J.B. 2008. Yaxcol and their peasant's adaptative survival strategies with an agroecological approach in Sahcabá, Hocabá, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8 (001); 29-36.
- Aké, G.A., Ávila, M. y Jiménez, J. 200). Valor de los productos directos del agroecosistema solar: el caso de Hocabá, Yucatán, México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 3 (1); 7-18.
- Ander-Egg, E. 2003. Métodos y técnicas de investigación social IV. Técnicas para la recogida de datos. Editorial LUMEN/HVMANITAS, Argentina.
- Benz, B.E., J. Cevallos E., F. Santana M., J. Rosales A., y S. Graf M. 2000. Losing knowledge about plant use in the Sierra de Manantlán Biosphere Reserve, Mexico. *Economic Botany*, 54 (2); 183-191.
- Caballero, J. 1992. Maya homegardens: past, present and future. *Etnoecológica*, 1 (3); 5-54.
- Cárdenas, L.D., Marín, C.A., Suárez, L.S., Guerrero, A.C., y Nofuya, P. 2002. Plantas Útiles de Largato Cocha y Serranía de Churumbelo en el departamento de Putumayo. Bogotá: Editorial PRODUMEDIO.
- Chablé-Pascual, R., Palma-López, D.J., Vázquez-Navarrete, C.J., Ruiz Rosado, O., Mariaca-Méndez, R., y Ascencio-Rivera, J.M. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4); 23-39.



- De la Cruz, O.J.C. 2009. El huerto familiar como sistema agroforestal en Francisco Villa, Tihuatlán, Veracruz. Tesis de División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Flota-Bañuelos, C., Ramírez-Mella, M., Dorantes-Jiménez, J., José-García, G., Bautista-Ortega, J., Pérez-Hernández, P. *et al.*, 2016. Descripción y diversidad de solares familiares en zonas rurales de Campeche, México. *Agroproductividad*, 9 (9); 38-43.
- García-Frapolli, E., Toledo, V.M. y Martínez-Alier, J. 2008. Apropiación de la Naturaleza por una Comunidad Maya Yucateca: Un Análisis Económico-Ecológico. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7; 27-42.
- Gaytán, A.C., H. Vibrans, H. Navarro G. y M. Jiménez V. 2001. Manejo de los huertos familiares periurbanos de San Miguel Tlaixpán, Texcoco Estado de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 069: 39-62.
- Gómez-Espinoza, J.A. y Gómez-González, G. 2006. Saberes tradicionales agrícolas indígenas y campesinos: rescate, sistematización e incorporación a la IEAS. *Ra Ximhai*, 2 (1); 97-126.
- Hernández-X., E. 1971. Exploración etnobotánica y su metodología. Colegio de Posgraduados. Escuela Nacional de Agricultura Chapingo, México.
- Huai, H. y A. Halmiton. 2009. Characteristics and functions of traditional homegardens: a review. *Frontier Biology China*, 4 (2): 151-157.
- La Torre-Cuadros M.A. y G.A. Islebe 2003. Traditional ecological knowledge and use of vegetation in Southeastern México: a case study from Solferino, Quintana Roo. *Biodiversity and Conservation*, 12: 2455-2476.
- Lok, Rossana (ed.), 1998, Huertos caseros tradicionales en América Central: características, beneficios e importancia, desde un enfoque multidisciplinario, Costa Rica, CATIE, Iturriaba.



- Lope-Alzina, D.G., y Howard, P.L. 2012. The structure, composition and functions of homegardens: focus on the Yucatan Peninsula. *Etnoecológica*, 9,(1): 17-41.
- Magaña, M.A., Gama, L.M., y Mariaca, R. 2010. El uso de las plantas medicinales en las comunidades mayachontales de Nacajuca, Tabasco, México. *Polibotánica*, 29, 213-262.
- Mariaca, R. 2012. La complejidad del huerto familiar maya del sureste de México. p. 7-97 p., *In*: Mariaca M. R. (ed.). *El huerto familiar del sureste de México*, México, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental del Estado de Tabasco/Ecosur. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México.
- Martínez-Alfaro, M.A. 1978. Posible metodología a seguir en el estudio de las plantas medicinales. *Estudios de Antropología Médica*, 1: 75-83.
- Manzanero, M.G.I., A. Flores M. y E.S. Hunn. 2009. Los huertos familiares Zapotecos de San Miguel Talea de Castro, Sierra Norte de Oaxaca, México. *Etnobiología* 7: 9-29.
- Monroy-Ortiz, C., y Monroy, R. 2004. Análisis preliminar de la dominancia cultural de las plantas útiles en el estado de Morelos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 74, 77-95.
- Morón, M.A., Figueras, E., García, I., e Higuera, P.B. 2005. Técnicas de investigación en Pedagogía Social. Fuentes de documentación e información. *Pedagogía social*.
- Pulido, M.T., Pagaza-Calderón, E.M., Martínez-Ballesté, A., Maldonado-Almanza, B., Saynes, A., y Pacheco, R.M., 2008, Homegardens as an alternative for sustainability: Challenges and perspectives in Latin America. p. 55-79. *In*: Albuquerque, U.P., y Alves-Ramos, M. (eds.), *Current Topics in Ethnobotany*, India, Research Signpost, Kerala.
- Rebollar-Domínguez, D.S., Santos-Jiménez, V.J., Tapia-Torres, N.A., y Pérez-Olvera, C.P. 2008. Huertos familiares, una experiencia en Chanchah Veracruz, Quintana Roo. *Polibotánica*, 025, 135-154.



- Reyes-García, V., S. Villa, L. Aceituno-Mata, L. Calvet-Mir, T. Garnatje, A. Jesch, J.J. *et al.* 2010. Gendered Homegardens: A Study in Three Mountain Areas of the Iberian Peninsula. *Economic Botany*, 64 (3): 235-247.
- Salamanca, C.A.B., y Crespo, C.M. 2007. El muestreo en la investigación cualitativa. *Nure Investigación*, 27.
- Terán, S., y Rasmussen, C. 1994. La milpa de los mayas. La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el noroeste de Yucatán, Yucatán, Gobierno del Estado de Yucatán/DANIDA.
- Torquebiau, E. 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 41, 2, 189-207.
- Toss, G.N. 2006. Diagnóstico municipal del Municipio de Jesús Carranza, Ver. Gobierno del Estado.
- Vogl, C.R., Vogl-Lukasser, B., y Puri, R.K. (2004). Tools and methods for data collection in ethnobotanical studies of homegardens. *Field Methods*, 3 (16): 285-306.
- Zanábriga, P.F., M.A.L. Adame, G.L. Herrera, U.F. Bernabé, C.J. Peto, P.G. Mondragón, *et al* 2007. Uso y manejo de los huertos familiares en Tuxpan, Guerrero, México. Nota científica estudiantil divulgativa en IX Simposio Internacional y IV Congreso Nacional de Agricultura Sostenible.



ÁFIDOS QUE DISEMINAN AL CTV RAZA SEVERA EN ÁLAMO, CAZONES Y TIHUATLÁN, VERACRUZ

Juan A. Villanueva Jiménez⁴⁰¹, Martha Escarlet Beristain Moreno^{401*} y Francisco Osorio Acosta⁴⁰¹

Resumen

El virus de la tristeza de los cítricos o CTV (*Citrus tristeza virus*) causa una de las enfermedades más dañinas e importantes en los cítricos. La transmisión de este virus se produce de forma natural a través de áfidos vectores, así como por medio de injerto de corteza, yemas, brotes y tejido foliar. El objetivo de esta investigación fue identificar los áfidos asociados en la diseminación del CTV, raza severa, en los municipios de Álamo Temapache, Cazones de Herrera y Tihuatlán, Veracruz. Se realizaron visitas a huertas comerciales de naranja, mandarina y toronja en la temporada de otoño invierno de 2019, 2020 y 2021, periodo en el que las especies de áfidos se encuentran presentes. Se colectaron áfidos vectores, para posteriormente determinar las especies y mantener un pie de cría por cada especie colectada. Se georreferenció cada sitio de muestreo y se elaboró un mapa de la distribución de las especies determinadas. Para la identificación de aislados de CTV, se colectaron áfidos de campo y se colocaron en tubos Eppendorf™ que contenían 1 mL de RNA later™ para su conservación; posteriormente se extrajo el ARN y se determinaron los aislados de CTV presentes en cada especie colectada. Se encontraron cuatro especies de áfidos: *Aphis spiraecola*, *Toxoptera aurantii*, *Aphis gossypii* y *Aphis citricidus*. *A. spiraecola* fue la especie más recurrente en las colectas, seguida de *T. aurantii*. Solo se encontró a *A. citricidus* en dos sitios de muestreo del municipio de Tihuatlán. Las dos especies con mayor presencia del CTV-raza débil (T30), y que permiten su transmisión fueron *A. spiraecola* y *A. citricidus*; la raza severa T3 fue detectada en *T. aurantii*.

Palabras clave: Aphididae, cítricos, vectores del CTV, virus de la tristeza de los cítricos

⁴⁰¹ Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. *beristain.martha@colpos.mx



Introducción

El virus de la tristeza de los cítricos o CTV (*Citrus tristeza virus*) es una enfermedad que ha causado daños severos en la mayoría de las regiones cítricas del mundo; se ha dispersado a casi todos los países productores de cítricos, principalmente a través del movimiento de material vegetal infectado (Iracheta *et al.*, 2012). La transmisión de este virus puede ocurrir por medio de injerto de corteza, yemas, brotes y tejido foliar; sin embargo, en campo es más común que la epidemia se propague a través de la transmisión natural que realizan los áfidos vectores (González y Zawadski, 2019).

Las principales especies encargadas de propagar el virus son *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), conocida actualmente como *Aphis citricidus* (Kirkaldy) y *Aphis gossypii* (Glover) (Palacios *et al.*, 2020), aunque se han determinado varias especies más. La diversidad del CTV es amplia; existen variantes o razas del virus que han surgido por la recombinación de cepas, las cuales pueden ser asintomáticas u ocasionar síntomas diferentes (Herrera-Isidró *et al.*, 2009). Harper (2013) y Rivas-Valencia *et al.* (2020) han reportado seis aislados o cepas de CTV en México: T3, T30, T36, T68, VT y RB. Los principales síntomas relacionados con el virus son: amarillamiento de brotes, pérdida de vigor, colapso y decaimiento, seguido de muerte prematura de árboles (Hernández-Morales *et al.*, 2021). En 1983, el CTV se detectó por primera vez en Tamaulipas; está ampliamente distribuido en el País, donde prevalecen las razas “débiles” o “nobles”, es decir, las que no causan daños significativos a las plantas infectadas (Rocha-Peña *et al.*, 1995; Rivas-Valencia *et al.*, 2017). No obstante, durante 2016 y 2017 se detectó un brote de “raza severa” en el estado de Veracruz, la cual se caracteriza por ocasionar la muerte de las plantas en pocos meses (SENASICA, 2020).

Por ello el CTV está siendo monitoreado y manejado por los Comités Estatales de Sanidad Vegetal de cada estado cítrico del país, a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-031-FITO-2003, en la que se establece la Campaña contra el Virus Tristeza de los Víttricos y la NOM-079-FITO-2002, que establece los Requisitos Fitosanitarios para la Producción y Movilización de Material Propagativo Libre de CTV y Otros Patógenos Asociados a los Cítricos (SENASICA, 2015). Diversos autores consideran a varias especies de los géneros *Toxoptera* spp. y *Aphis* spp. como los principales vectores del CTV. Sin embargo, no se ha generado investigación para determinar específicamente las especies que tiene la capacidad de transmitir a la “raza severa” del virus presente en México. Por ello el objetivo del presente trabajo fue identificar los áfidos asociados en la diseminación del CTV raza severa, en los municipios de Álamo-Temapache, Cazonos de Herrera y Tihuatlán, Veracruz.



Materiales y Métodos

Se realizaron seis muestreos en huertas comerciales de naranja, mandarina y toronja, ubicadas en los municipios de Tihuatlán, Cazones de Herrera y Álamo Temapache, Veracruz, en la temporada de otoño invierno de 2019, 2020 y 2021, periodo en el que las especies de áfidos vectores se encuentran presentes, debido a la presencia de temperaturas frescas o invernales. Por cada sitio de muestreo se anotó la información geográfica, con la que se elaboró un mapa de distribución de las especies colectadas en los tres municipios, incluyendo aquellas positivas a CTV raza severa.

Preparación de jaulas entomológicas y material vegetal

Se adquirieron plantas de lima persa, naranja valencia, mandarina freemont, toronja río red y limón mexicano, provenientes de un vivero certificado; se establecieron en un invernadero, con malla antiáfidos, para prevenir la entrada de áfidos vectores y reducir el ingreso de otras plagas. Las plantas se podaron mensualmente con el fin de obtener brotes tiernos, para posteriormente iniciar el establecimiento de los pies de cría de las especies de áfidos vectores colectados en campo. Para prevenir o controlar infestaciones iniciales de minador, ácaros, piojo harinoso o *Diaphorina citri*, se aplicaron jabones y aceites minerales. Se elaboraron jaulas entomológicas con tubo de PVC y fundas de tela organza blanca; las jaulas se establecieron en invernadero y en el laboratorio de Sanidad Vegetal-Entomología ubicado en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.

Colecta y pie de cría de áfidos asociados al CTV

Se realizaron visitas a huertas comerciales de naranja, mandarina y toronja, principales cítricos cultivados en la región de estudio. Se colectaron brotes de plantas que presentaron síntomas de CTV. Se buscaron brotes con enroscamiento en las hojas y presencia de hormigas, que indican la presencia de áfidos; los brotes con áfidos se colocaron en bolsas de papel y se anotaron los datos de colecta; posteriormente se transportaron en una hielera con geles refrigerantes para mantener los brotes frescos. De las colonias de áfidos colectados en campo, se seleccionaron hembras aladas en frascos con alcohol al 70% con ayuda de un pincel, para proceder a su identificación taxonómica. En el laboratorio de Sanidad Vegetal-Entomología del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, se colocaron los áfidos en cajas de Petri de vidrio y se observaron con un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi dv4®. Los individuos de campo que se encontraban en buen estado se colocaron en brotes de lima persa, naranja valencia, mandarina fremont, limón mexicano o toronja río red; el tallo de los brotes se insertó en un vial que contenía agua y la abertura con el tallo se selló con papel Parafilm para evitar que



se ahogaran los insectos; estos brotes se colocaron dentro de jaulas entomológicas. Con el fin de limpiar las colonias de hongos y parasitoides provenientes de campo, se utilizaron “arenas experimentales”, consistentes en cajas Petri de plástico con una ventana en la tapa superior, cubierta con tela de organza; en la caja Petri se colocó un foliolo del brote cítrico, al cual se le cubrió por el haz y por los bordes con algodón. Se colocó el algodón sobre la base de la caja Petri, dejando el envés hacia arriba; el algodón humedecido mantuvo la hoja viva por cuatro días y se formó una “isla” donde se mantuvieron los áfidos en observación. Se inició una colonia con los insectos vivos que no cambiaban de color o no mostraban micelio. Una vez establecidas las colonias, se pasaron a jaulas entomológicas en laboratorio e invernadero.

Identificación de especies

Los ejemplares alados conservados en alcohol al 70% y colectados en campo se sumergieron en ácido láctico al 80% por 20 días para su aclaración; posteriormente se colocaron en medio de montaje Hoyer sobre porta y cubreobjetos. Los ejemplares se colocaron en posición dorsoventral con ayuda de una micro-aguja entomológica (Walter y Krantz, 2009). Los áfidos ya montados se observaron con ayuda de un microscopio de contraste de fases Carl Zeiss Primostar®. Las especies se identificaron siguiendo las claves dicotómicas de Holman *et al.* (1991) y Simbaqueba *et al.* (2014).

Identificación de aislados de CTV en áfidos y plantas

Los áfidos colectados se colocaron en tubos Eppendorf™ de 1.5 mL que contenían 1 mL de RNA latter™ para su conservación en refrigeración hasta la extracción de ARN. En hojas de cítricos, se cortó la nervadura central y se colocó en 1 mL de RNA latter™ y se conservó en refrigeración. El ARN se extrajo utilizando el Quick-RNA™ Miniprep de Zymo Research; para los áfidos se utilizaron cinco a ocho insectos por muestra y para el tejido vegetal 300 mg. El RT-PCR se realizó en el termociclador Techne TC-512 y se utilizó el Access RT-PCR System de Promega, con los cebadores para los aislados T36, B165, T3, VT, T30 y Generic, reportados por Roy *et al.* (2010), siguiendo el tiempo de incubación y ciclos del mismo autor. La electroforesis se llevó a cabo con un gel de agarosa (Bioline™) al 1% en TAE (Thermo Scientific™) en el aparato BIO-RAD™ PowerPac Basic, durante 1 h a 90 v. El marcador molecular fue de 100pb de Golgbio. Para la visualización del gel, primero se tiñó con Diamond™ nucleic acid dye de Promega™; posteriormente se colocó en un transiluminador de Major Science™, modelo UVCI-1200.



Trasmisión con vectores a plantas

Para el proceso de transmisión, con ayuda de un pincel, se tomaron los áfidos de las colonias establecidas en las jaulas entomológicas y se colocaron en cajas de Petri de plástico (una caja de Petri por especie). Después de un periodo de ayuno de 1 h, se colocaron aproximadamente 150 áfidos de la misma especie en una planta con CTV; se dejaron en la planta durante 32 h para cumplir con el periodo de adquisición del virus. Una vez concluidas las 32 h, se colocaron 15 áfidos en una planta sana de lima persa, para que los insectos realizaran el probado de las hojas y, por ende, la transmisión del virus (Campolo *et al.*, 2014). Dicho proceso se realizó con *A. gossypii*, *A. spiraecola*, *T. aurantii* y *A. citricidus*, con diez repeticiones por cada especie; una vez que realizaron el probado de la planta, los áfidos se eliminaron manualmente.

Resultados y Discusión

Durante los recorridos realizados en las huertas de cítricos en los tres municipios del estado de Veracruz, se pudo apreciar la extensa cantidad de parcelas que ya contaban con daños severos, ocasionados por el CTV. Los daños en las plantaciones de cítricos se observaron principalmente en huertas de naranja y mandarina. Cazones de Herrera es el municipio que cuenta con mayores daños, posiblemente por haber sido el primero en dar positivo a CTV “raza severa”, de acuerdo con la información proporcionada por el CESAVEVER. Con el resultado de las colectas en campo y a su identificación, se encontraron las siguientes especies vectoras: *Aphis citricidus*, *A. spiraecola*, *A. gossypii* y *Toxoptera aurantii* (Figura 1).



Figura 1. Áfidos vectores colectados en campo, A) *A. spiraecola*, B) *Toxoptera aurantii*, C) *Aphis citricidus*.



En el Cuadro 1 se muestran los municipios y el número de sitios donde se encontró cada una de las especies colectadas durante la época de invierno 2019, 2020 y 2021. La especie que más predominó en los tres municipios fue *A. spiraecola*, seguida de *T. aurantii*. Esta situación es diferente a la reportada en la Península de Yucatán por Patiño-Arellano *et al.* (2012), con un 87.2% de población de *A. citricidus*, seguido de *T. aurantii* y *A. spiraecola*. Sin embargo, coincide con lo reportado por Gaona *et al.* (2000), en Tamaulipas, donde *T. aurantii* y *A. spiraecola* fueron las especies más abundantes. Muñoz *et al.* (2008) observaron que la interacción entre varias especies de insectos en el mismo hospedero puede influir en la dinámica poblacional y la distribución de alimento. Ello puede dar lugar al dominio de una sola especie, ya que deja a las demás con poco alimento y poca distribución; esto puede justificar la mayor abundancia de *A. spiraecola* y *T. aurantii* en todos los sitios de muestreo.

Cuadro 1. Especies de áfidos vectores del CTV, colectadas en los tres municipios citrícolas de estudio en Veracruz, México.

Municipio	<i>Toxoptera aurantii</i>	<i>Aphis citricidus</i>	<i>Aphis spiraecola</i>	<i>Aphis gossypii</i>
Cazones	9 sitios	1 sitios	9 sitios	1 sitio
Tihuatlán	16 sitios	2 sitios	14 sitios	1 sitio
Álamo Temapache	8 sitios	3 sitios	10 sitios	1 sitio
Total	33	6	33	3

Durante estas colectas se observó que no había presencia generalizada de brotes en las huertas, por lo que las poblaciones de áfidos eran muy bajas. También se observó la presencia de enemigos naturales, que contribuyó a que las poblaciones fueran reducidas, tal y como lo mencionan Satar *et al.* (2014); con ello se favorece la poca propagación del virus. Durante los recorridos se pudo observar la presencia de plantas hospederas, que pueden ser el principal factor de la presencia de algunas especies de áfidos vectores, cuyos hospederos no son los cítricos, tal es el caso de *A. gossypii*, que se encontró en plantas de *Capsicum annuum* L.

En la Figura 2 se puede apreciar la distribución de las cuatro especies colectadas en los tres municipios citrícolas del estado de Veracruz. *A. citricidus* solo se encontró en tres puntos de muestreo dentro del municipio de Álamo Temapache. La abundancia de esta especie fue diferente a lo reportado en la literatura, donde se menciona que *A. citricidus* es la especie más abundante, en comparación con otras especies vectores del CTV. A pesar de no ser la especie con mayor presencia y distribución en la zona,

EFSA *et al.* (2019) y Sáenz *et al.* (2019) indican que sigue siendo el principal vector capaz de propagar al menos dos tipos de cepas de CTV que causan daños en cítricos con portainjerto de naranja agría (*Citrus aurantium*).

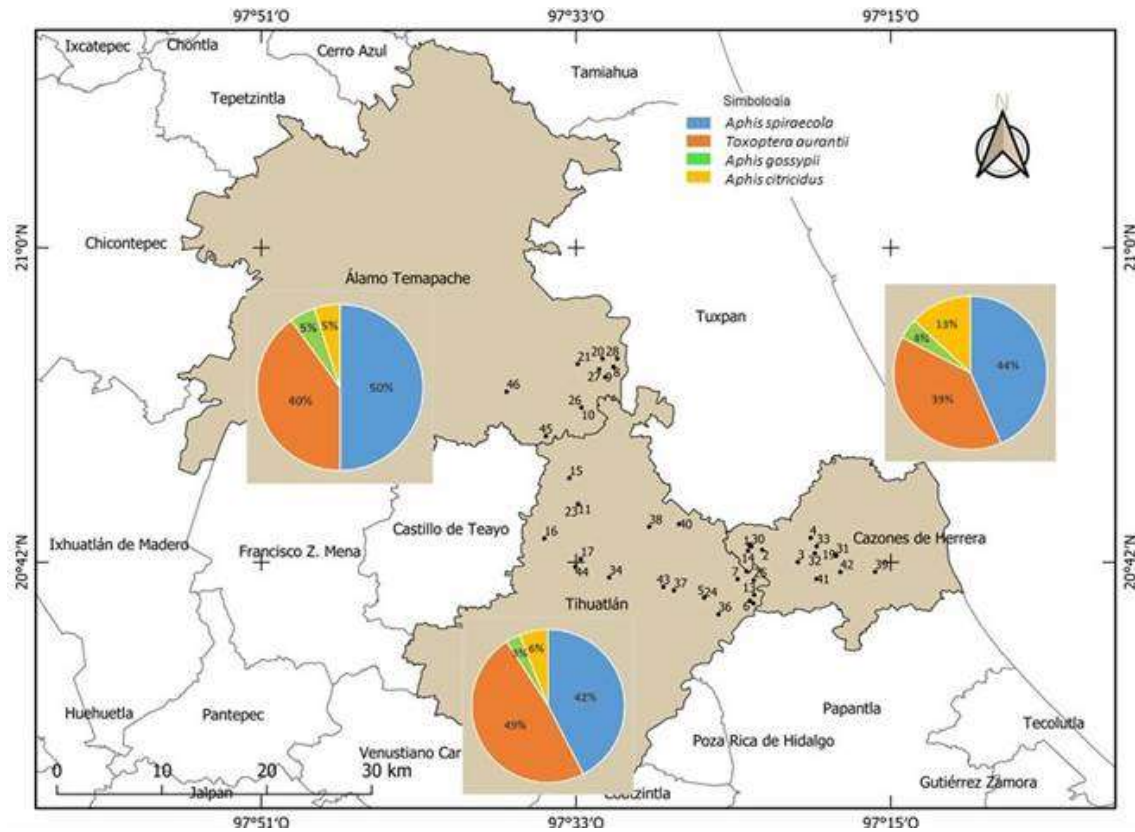


Figura 2. Mapa de distribución de las especies de áfidos colectados en Álamo Temapache, Cazones de Herrera y Tihuatlán, Veracruz.

Sin embargo, aun con esta distribución de especies, estos vectores se encontraron en brotes tiernos de huertas citrícolas, tanto en aquellas con síntomas de CTV, como en algunas sin síntomas visibles. Muñoz *et al.* (2016) mencionan que los áfidos se alimentan de brotes y tallos nuevos de árboles de cítricos, similar a lo observado durante las colectas de campo en 2019-2020. Si bien, no tan alto como se pensaba, existe el potencial vectorial del CTV en la región. Es probable que la presencia de las especies de áfidos y su abundancia cambie año con año, de acuerdo con las condiciones ambientales y de vegetación de hospederos alternos presentes en cada zona citrícola. Ello también dependerá del manejo que se le da al cultivo; tal es el caso de variedades a las que se les realizan abundantes podas, las cuales favorece el desarrollo de nuevos brotes y una mayor cantidad de hojas por brotes, alimento



principal de los áfidos (Mohamed y Nidhal, 2018). Aun siendo temporada de invierno, no se encontraron poblaciones muy altas de áfidos, lo que posiblemente esté relacionado con la sequía que se presentó durante la época de verano en los años 2019 y 2020, misma que afectó el desarrollo y abundancia de brotes nuevos de invierno. EFSA *et al.* (2019) indican que los áfidos necesitan fuentes abundantes de alimento que le permiten desarrollar alas para dispersarse y buscar nuevos hospederos para comenzar nuevas colonias.

Rivas-Valencia *et al.* (2017) mencionan que las condiciones de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial influyen en la capacidad reproductiva de los vectores y su transmisión viral, ya que pierden su capacidad de reproducción a una temperatura ambiente $\geq 30^{\circ}\text{C}$.

Las colonias de áfidos se establecieron mejor en condiciones de laboratorio ya que, por las altas temperaturas exteriores, no permitieron que las especies se establecieran en el invernadero durante 2019 y 2020. Solo *A. gossypii* fue capaz de adaptarse a las condiciones del invernadero; mientras que *T. aurantii*, *A. spiraecola* y *A. citricidus* solo se pudieron establecer en laboratorio, a temperaturas cercanas a 24°C y HR no menores de 65% en plantas de lima persa, naranja, mandarina y toronja. Sin embargo, aunque se establecieron las colonias de *A. citricidus* y *A. spiraecola*, ambas comenzaron a disminuir hasta su extinción, debido a que comenzaron a elevarse las temperaturas ambientales durante el 2020, incluso dentro del laboratorio.

Identificación de aislados de CTV en áfidos y plantas

Se detectó a la cepa T30 (206 pb) de CTV en los áfidos colectados en campo y conservados en RNA later, en Álamo Temapache (*T. aurantii*, *A. citricidus* y *A. spiraecola*), Cazonas (*A. citricidus*) y Tihuatlán (*A. citricidus*, *T. aurantii* y *A. spiraecola*). Esta cepa fue la predominante, con un alto porcentaje de positivos (65.3%). La cepa T3 presentó solo un positivo (11.11%), presente en *T. aurantii*. Aunque se considera que es un buen indicador de la limitada presencia de la raza severa, esta información puede no ser representativo de toda la población, siendo necesaria una exploración más amplia, complementada con secuenciación viral.

La mayor detección de CTV por medio de PCR en áfidos se realizó en *A. spiraecola* y *A. citricidus*, con 24.5% de muestras positivas cada una, seguida de *T. aurantii* con 14.3% y *A. gossypii* con 2%. Esto es un indicativo de cuáles pueden ser las principales especies de áfidos en la diseminación del CTV en el norte de Veracruz. Las pruebas de transmisión de áfidos a plantas en invernadero resultaron en la transmisión de la cepa T30 (206 pb) en un 40.7%, con las diferentes especies de pulgones. Del 100% de muestras positivas, *A. spiraecola* y *A. citricidus* transmitieron el 41.67%, mientras que *T.*



aurantii representó el 16.67%. Esto indica que la principal cepa transmitida por los áfidos colectados es la T30 y las dos principales especies son *A. spiraecola* y *A. citricidus*. Sin embargo, la cepa T3 que representa la raza severa está presente con un bajo porcentaje en los sitios muestreados. No descartamos que exista otra cepa severa, por corroborar en un futuro proyecto.

Conclusiones

1. *Aphis spiraecola* fue la especie de áfido vector con mayor presencia en los tres municipios, a diferencia de *Aphis citricidus*, que solo se encontró en el municipio de Tihuatlán.
2. La baja densidad poblacional de *A. citricidus* puede estar relacionada con las condiciones climatológicas desfavorables a la especie que presentó la región durante 2019.
3. Las especies de áfidos con mayor porcentaje de positivos a CTV y con el mayor porcentaje de transmisión a plantas en invernadero fueron *A. spiraecola* y *A. citricidus*.
4. La cepa que se transmitió en mayor proporción fue la T30 y en muy bajo porcentaje la cepa severa T3, detectada solo en *Toxoptera aurantii*.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario y la Dirección General de Sanidad Vegetal-SENASICA; el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Veracruz, por conducto del Ing. Mario González Moreno, del Coordinador de la Campaña Rogelio Sarmiento Tejeda y del Presidente del Comité Ricardo Hernández Campos, apoyó este trabajo. De igual forma, a los doctores Gustavo Mora (Colpos) y Patricia Rivas (INIFAP) por facilitar los cebadores del CTV.



Literatura Citada

- Campolo, O., E. Chiera, A. Malacrinó, F. Laudani, A. Fontana, G. R. Albanese and V. Palmeri. 2014. Acquisition and transmission of selected CTV isolates by *Aphis gossypii*. J. Asia-Pacific Entomol. 17:493-498.
- EFSA (European Food Safety Authority: Schrader, G., M. Camilleri, R. M. Ciubotaru, M. Diakaki and S. Vos). 2019. Pest survey card on *Toxoptera citricida*. EFSA supporting publication 2019: EN-1573. p. 16.
- Gaona G., G., E. Ruiz C. y R. Peña M. 2000. Los pulgones (Homoptera: Aphididae) y sus enemigos naturales en la naranja, *Citrus sinensis* (L.), en la zona centro de Tamaulipas, México. Acta Zool. Mex. 81:1-12.
- González C., J. C. y K. J. Zawadski. 2019. Aplicación de la biotecnología en cítricos para el desarrollo de plantas libres de patógenos en Paraguay. RECyT. 31:16-21.
- Harper, S. J. 2013. Citrus tristeza virus: Evolution of complex and varied genotypic groups. Front. Microbiol. 4(93):1-18.
- Hernández-Morales, L. M., E. García-Pérez, J. I. Cortés-Flores, A. Villegas-Monter y J. A. Mora-Aguilera. 2021. Fertilización integral en árboles de naranjo Marrs en producción con síntomas de Virus de la Tristeza de los Cítricos (VTC) y Huanglongbing (HLB). Rev. Fitotec. Mex. 44:59-66.
- Herrera-Isidró, L., J. C. Ochoa-Sánchez, R. Rivera-Bustamante y J. P. Martínez-Soriano. 2009. Sequence diversity on four ORFs Citrus tristeza virus correlates with pathogenicity. Virol. J. 116(6):1-10.
- Holman, J., R. Peña-Martínez y R. Bujanos-Muñiz. 1991. Guía para la identificación y análisis de los pulgones alados (Homoptera: Aphididae) del Bajío, México. Folia Entomol. Mex. 83:5-67.



- Iracheta C., M. M., L. C. Arrieta G. and M. A. Rocha P. 2012. Detection of *Citrus tristeza virus* with antibodies developed to the recombinant p25 capsid protein by direct tissue blot immunoassay. *Rev. Mex. Fitopatol.* 30:31-42.
- Mohamed, B. and A. Nidhal. 2018. Effect of pruning severity on the vegetative growth, density and population dynamics of the spirea aphid, *Aphis spiraecola* in citrus orchard. *J. Entomol. Zool. Stud.* 6:311-319.
- Muñoz R., P., J. L. Ponce S., E. A. Quintanar A., D. Valdés M. y G. Villareal R. 2016. Una amenaza agrícola mundial: el virus de la tristeza de los cítricos y su vector el pulgón café *Toxoptera citricida*. *Artrópodos y Salud.* 3:30-36.
- Muñoz S., T., A. H. García, M. J. Pérez, J. R. Boyero, J. M. Vela and E. Martínez-Ferri. 2008. Effects of rootstock and flushing on the incidence of three insects on 'Clementine de Nules' citrus trees. *Environ. Entomol.* 37:1531-1537.
- Norma Oficial Mexicana NOM-031-FITO-2000, Por la que se establece la campaña contra el virus tristeza de los cítricos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=762092&fecha=10/08/2001 [consultado el 1 de diciembre de 2021].
- Norma Oficial Mexicana NOM-079-FITO-2002, Requisitos fitosanitarios para la producción y movilización de material propagativo libre de virus tristeza y otros patógenos asociados a cítricos. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=733575&fecha=22/05/2002 [consultado el 1 de diciembre de 2021].
- Palacios, M. F., J. Figueroa, L. Foguet, L. Villafañe y B. Stein. 2020. Estudio de la población del virus de la tristeza de los cítricos en cultivares de limoneros injertados en naranjo agrio y *Citrus macrophylla*. *Rev. Ind. Agríc. Tucumán.* 97(1):27-33.



- Patiño-Arellano, S. A., E. Rodríguez-Leyva, G. Mora-Aguilera, R. Lomelí-Flores y O. Díaz-Gómez. 2012. Composición y fluctuación de áfidos vectores del virus de la tristeza de los cítricos en la península de Yucatán, México. *Entomol. Mex.* 11:370-374.
- Rivas-Valencia, P., E. Loeza-Kuk, S. Domínguez-Monge y C. T. Lomas-Barrie. 2017. Infección crónica del virus de la tristeza de los cítricos en árboles de *Citrus sinensis/C. aurantium* en un régimen térmico restrictivo en Yucatán. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 23:187-202.
- Rivas-Valencia, P., S. Domínguez-Monge, R. Santillán-Mendoza, E. Loeza-Kuk, O. Pérez-Hernández, C. G. Rodríguez-Quibrera and C. Lomas-Barrié. 2020. Severe *Citrus tristeza virus* Isolates from Eastern Mexico Are Related to the T36 Genotype Group. *Amer. J. Plant Sci.* 11:1521-1532.
- Rocha-Peña, M. A., R. F. Lee, R. Lastra, C. L. Niblett, F. M. Ochoa-Corona and S. M. Garnsey. 1995. Citrus tristeza virus and its aphid vector *Toxoptera citricida*. *Plant Dis.* 79:437-445.
- Roy, A., G. Ananthakrishnan, J. S. Hartung and R. H. Brlansky. 2010. Development and application of a multiplex reverse-transcription polymerase chain reaction assay for screening a global collection of citrus tristeza virus isolates. *Phytopathol.* 100(10):1077-1088.
- Sáenz P., C. A., E. O. Hernández, B. Estrada D., W. A. Poot P., R. Delgado M. y R. Rodríguez H. 2019. Principales enfermedades en cítricos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10:1653-1665.
- Satar, S., G. Satar, M. Karacaoglu, N. Uygun, N. G. Kavallieratos, P. Stary and C. G. Athanassiou. 2014. Parasitoids and hyperparasitoids (Hymenoptera) on aphids (Hemiptera) infesting citrus in east Mediterranean region of Turkey. *J. Insect Sci.* 14(1):178.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2015. Normas Oficiales Mexicanas en Materia de Sanidad Vegetal. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/normas-oficiales-mexicanas-en-materia-de-sanidad-vegetal> (consultado el 1 de septiembre de 2021).



SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2020. Plagas reglamentadas de los cítricos. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-de-los-citricos-110863> (consultado el 1 de septiembre de 2021).

Simbaqueba, C., R., F. Serna y F. J. Posada-Flórez. 2014. Curaduría, morfología e identificación de áfidos (Hemiptera: Aphididae) del museo entomológico UNAB. Primera aproximación. Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. 18:222-246.

Walter, D. E. and G. W. Krantz. 2009. 7. Collecting, rearing and preparing specimens. p. 807. .In: Krantz, G. W. and D. E. Walter (eds.). A Manual of Acarology. 3rd ed. Texas. Tech University Press.



RENOVACIÓN DE LA COLECCIÓN DE TRABAJO DE PAPAYO (CTP) NATIVO DE MÉXICO MEDIANTE CONSERVACIÓN *ex situ in vivo*

David Sósol Reyes⁴⁰², Alejandra Soto Estada^{402*} y Juan A. Villanueva Jiménez⁴⁰²

Resumen

El papayo (*Carica papaya* L.) es una especie frutícola originaria del sur de México y América Central que se distribuye en diferentes zonas tropicales del mundo. En México, prevalece una alta diversidad de ejemplares nativos de *C. papaya* que se han adaptado a diferentes ambientes y representan una fuente de germoplasma para la selección de características particulares; sin embargo, existe pérdida de diversidad genética de esta especie. En el Campus Veracruz se encuentra la Colección de Trabajo de Papayo (CTP), la cual se ha utilizado para realizar diferentes estudios. El objetivo fue renovar la Colección de Trabajo de Papayo nativo de México mediante la conservación *ex situ in vivo*, en el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz. Se utilizaron semillas de 29 accesiones. Para la germinación, las semillas se remojaron en ácido giberélico a una concentración de 200 ppm por 24 h, se colocaron en toallas húmedas e incubaron a 35°C y 80% de humedad relativa. Se estableció una plantación *ex situ in vivo* con las plántulas obtenidas de cada accesión. Iniciada la floración, se polinizó manualmente para evitar la polinización cruzada. Los frutos obtenidos de estas flores se cosecharon en estado de madurez fisiológica para la extracción de la semilla. Se lograron germinar semillas de 28 accesiones. El número de plantas varió en cada accesión. De la accesión A77a se obtuvo el mayor número de plantas (22), seguido de las accesiones A203M1 (18), A70a (16) y A203M2 (15). En campo se mantuvieron 24 accesiones; sin embargo, solo se logró obtener frutos de 20 accesiones, a los cuales se les extrajo las semillas. La cantidad de esta dependió del número de frutos polinizados por accesión, y se utilizará para continuar con el mantenimiento de la CTP. Con lo anterior, se promueve la conservación de las accesiones de la CTP nativo de México para futuras investigaciones.

Palabras clave: accesiones, *Carica papaya* L., germoplasma

⁴⁰² Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Autor de correspondencia: alejandras@colpos.mx



Introducción

El papayo (*Carica papaya* L.) es una especie frutícola originaria del sur de México y América Central que se distribuye en diferentes zonas tropicales del mundo debido a su demanda, rentabilidad e importancia económica (Chávez-Pesqueira y Nuñez-Farfán, 2016). Actualmente, México es el quinto país productor de *C. papaya* 'Maradol' (FAOSTAT, 2021). En los últimos años, se han desarrollado subtipos de la 'Maradol' con la finalidad de resolver problemáticas de comercialización, calidad del fruto y plagas (Beristain, 2019); sin embargo, el establecimiento de plantaciones comerciales ha ocasionado el desplazamiento y pérdida de variedades nativas que se producen localmente y se han adaptado a diferentes condiciones ambientales desfavorables (Fonseca-Carreño *et al.*, 2019). En México, existen una alta diversidad de ejemplares nativos de *C. papaya* que representa una fuente de germoplasma que puede permitir la selección de características particulares en esta especie (Hernández-Salinas *et al.*, 2021). Los ejemplares nativos se han desarrollado en ambientes distintos, con limitantes bióticas y abióticas, lo que les ha permitido seleccionar estrategias genéticas para adaptarse. Algunas características que resaltan son la tolerancia a la sequía y a plagas, así como su valor alimenticio, su firmeza y vida de anaquel; varias de ellas son de importancia cultural para las etnias y grupos sociales locales (Peña *et al.*, 2017). Actualmente, los recursos fitogenéticos se encuentran en un proceso de erosión genética debido a las diferentes actividades humanas y efectos del cambio climático. Por ello, es necesario conservar estos recursos ya que pueden poseer características de importancia para el desarrollo de variedades mejor adaptadas a condiciones desfavorables en escenarios actuales y futuros (Vegas *et al.*, 2013).

En el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz se encuentra bajo resguardo la CTP. Las accesiones que la conforman se han utilizado para realizar estudios de variación morfológica *in situ* de frutos (Hernández-Salinas *et al.*, 2019); comportamiento de las accesiones ante la inoculación de PRSV-p (Flores-Bautista *et al.*, 2019); distribución eco-geográfica (Hernández-Salinas *et al.*, 2021); y crecimiento y morfología floral (Aguirre, 2018). Para continuar realizando investigación sobre la CTP, se requiere la renovación constante de la semilla de las accesiones de papaya, ya que, al ser recalcitrante, pierde su capacidad de germinación en un periodo máximo de tres años (Hofmann y Steiner 1989). Además, es necesario mantener el germoplasma para disminuir el riesgo de erosión genética (Soriano-Melgar *et al.*, 2016). Por lo tanto, se planteó como objetivo renovar la Colección de



Trabajo de papayo (CTP) nativo de México mediante conservación *ex situ in vivo*, en el Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

Materiales y Métodos

Germinación de semilla

Se utilizaron semillas de 29 accesiones de papaya que pertenecen a la CTP. Dichas semillas se obtuvieron de frutos cosechados de las accesiones de papayo mantenidas *ex situ* en 2019. Debido a los problemas de viabilidad de la semilla, la germinación de éstas se realizó en siete fechas del año 2022 (13 de enero, 11 de febrero, 04 de abril, 05 de mayo, 29 de mayo, 14 julio y 15 de agosto). En cada fecha de germinación se utilizaron 50 semillas por accesión (350 semillas por cada accesión), con excepción de las accesiones A118a, A48b y A198a ya que se contaba con menor número de semillas. Primeramente, se realizó un tratamiento pre-germinativo siguiendo la metodología de Hernández (2017) que consistió en desinfectar las semillas con hipoclorito de sodio al 5% durante 5 min, enjuagarlas con agua destilada y sumergirlas en una concentración de 200 ppm de ácido giberélico por 24 h. Después, las semillas se colocaron en toallas de papel, las cuales se enrollaron en forma de “taco”. Los tacos se humedecieron y colocaron dentro de una cámara ambiental a 35°C y 80% de humedad relativa. Una vez emergida la radícula, las semillas se colocaron en charolas germinadoras de plástico con sustrato Cosmo Peat® y se mantuvieron en ambiente cerrado bajo malla sombra hasta que las plántulas presentaron seis hojas verdaderas, momento en el que se realizó su trasplante a bolsas negras de 17 x 26 cm. A las plántulas se les dio manejo de plagas, riego y fertilización hasta que se realizó su trasplante en campo.

Establecimiento de la parcela

Se establecieron plantas de 28 accesiones de papayo (*Carica papaya* L.) en una parcela del campo experimental del Campus Veracruz del Colegio de Postgraduados, ubicado en las coordenadas 11°11'40" LN y 96°20'25" LO. Las accesiones provienen de los estados de Tamaulipas (1), San Luis Potosí (4), Veracruz (2), Guerrero (6), Oaxaca (2), Tabasco (6), Chiapas (3) y Campeche (4). Previo a su establecimiento, se realizó la preparación del terreno en un área de 2,500 m². El arreglo topológico que se utilizó fue de 1.5 m entre plantas y 2 m entre hileras. Durante la etapa de desarrollo de las plantas, se instaló un sistema de riego por goteo. Los riegos se realizaron dependiendo de las



condiciones ambientales y de los requerimientos de las plantas. También se realizaron actividades de fertilización y control de plagas y arvenses. El control de arvenses fue manual, evitando el uso de herbicidas.

Polinización

Una vez iniciada la floración, se realizó la polinización manual en flores femeninas (Figura 1) y hermafroditas (Figura 2); esto con la finalidad de evitar la polinización cruzada entre las accesiones. Para la polinización de flores femeninas, primero se seleccionó la flor a polinizar (Figura 1A). Posteriormente, se escogió una flor masculina en madurez, a punto de su apertura floral, (Figura 1B) y manualmente se eliminaron los pétalos hasta dejar el androceo descubierto (Figura 1C). Después, la flor femenina seleccionada se abrió manualmente y en el gineceo se depositó el polen de la flor masculina (Figura 1D). Inmediatamente, la flor polinizada se cubrió con una bolsa de papel encerado debidamente etiquetada y se amarró con hilo sobre el pedúnculo de la flor (Figura 1E).



Figura 1. Proceso de polinización manual de flores femeninas de las accesiones de la Colección de Trabajo de Papayo. A, flor femenina; B, flor masculina; C, androceo (estambres); D, deposición de polen en flor femenina; E, cubierta y etiquetado de flores polinizadas.

Para polinizar las flores hermafroditas, se seleccionaron flores cerradas a punto de su apertura floral (Figura 2A); éstas se cubrieron con una bolsa encerada etiquetada (fecha, número de accesión y sexo de la flor) (Figura 2B), la cual se amarró con hilo sobre el pedúnculo de la flor (Figura 2C). En ambos casos, cuando los frutos se desarrollaron, se retiró la bolsa encerada y se etiquetaron con la misma información. Estos frutos se cosecharon para la obtención de semilla.



Figura 2. Proceso de polinización de flores hermafroditas de las accesiones de papayo de la Colección de Trabajo de Papayo. A, flor hermafrodita; B, información de etiquetado; C, cobertura de flor polinizada.

Obtención de semilla

Los frutos se cosecharon en la etapa de madurez fisiológica (cuando el epicarpio presentó 90% de coloración amarillo-naranja), se trasladaron al laboratorio de Sanidad Vegetal (sección entomología) del Campus Veracruz y se cortaron transversalmente para extraer las semillas. Estas se frotaron y enjuagaron con agua corriente, con la finalidad de eliminar la sarcotesta (capa mucilaginosa). Las semillas lavadas se secaron en servilletas de papel sobre charolas plásticas a temperatura ambiente (25-28°C) durante 3 a 5 días. Finalmente, las semillas secas se colocaron en bolsas de papel trilaminado debidamente etiquetadas y se resguardaron en el laboratorio para su conservación y uso posterior en el mantenimiento y otras investigaciones sobre la CTP.

Resultados y Discusión

En las distintas fechas de germinación, de las 29 accesiones se obtuvieron plántulas de 28 accesiones; sin embargo, la germinación fue heterogénea (Figura 3). De la accesión A77a se obtuvieron 22 plántulas, seguido de las accesiones A203M1, A70a y A203M2 con 18, 16 y 15 plántulas respectivamente. En contraste, de la A81 no se obtuvieron plántulas; debido a esto, será necesario germinar las semillas remanentes o volver a recolectar el ejemplar en función de su ubicación. Además, se pudo observar que 10 accesiones obtuvieron entre seis y 14 plántulas, mientras que de 14 accesiones se obtuvieron de una a cinco plántulas (Figura 3). La heterogeneidad en la germinación permite inferir que algunas accesiones tienen mayor tiempo de viabilidad que otras. Algunos autores como Chin *et al.*



(1984) y Hofmann y Steiner (1989) mencionan que las semillas de papaya son de tipo recalcitrante; sin embargo, Von Carlowitz *et al.* (2010) las clasifican de tipo intermedia, lo cual indica que el estado de viabilidad del embrión de las semillas de papayo puede ser variable entre accesiones de la misma especie.

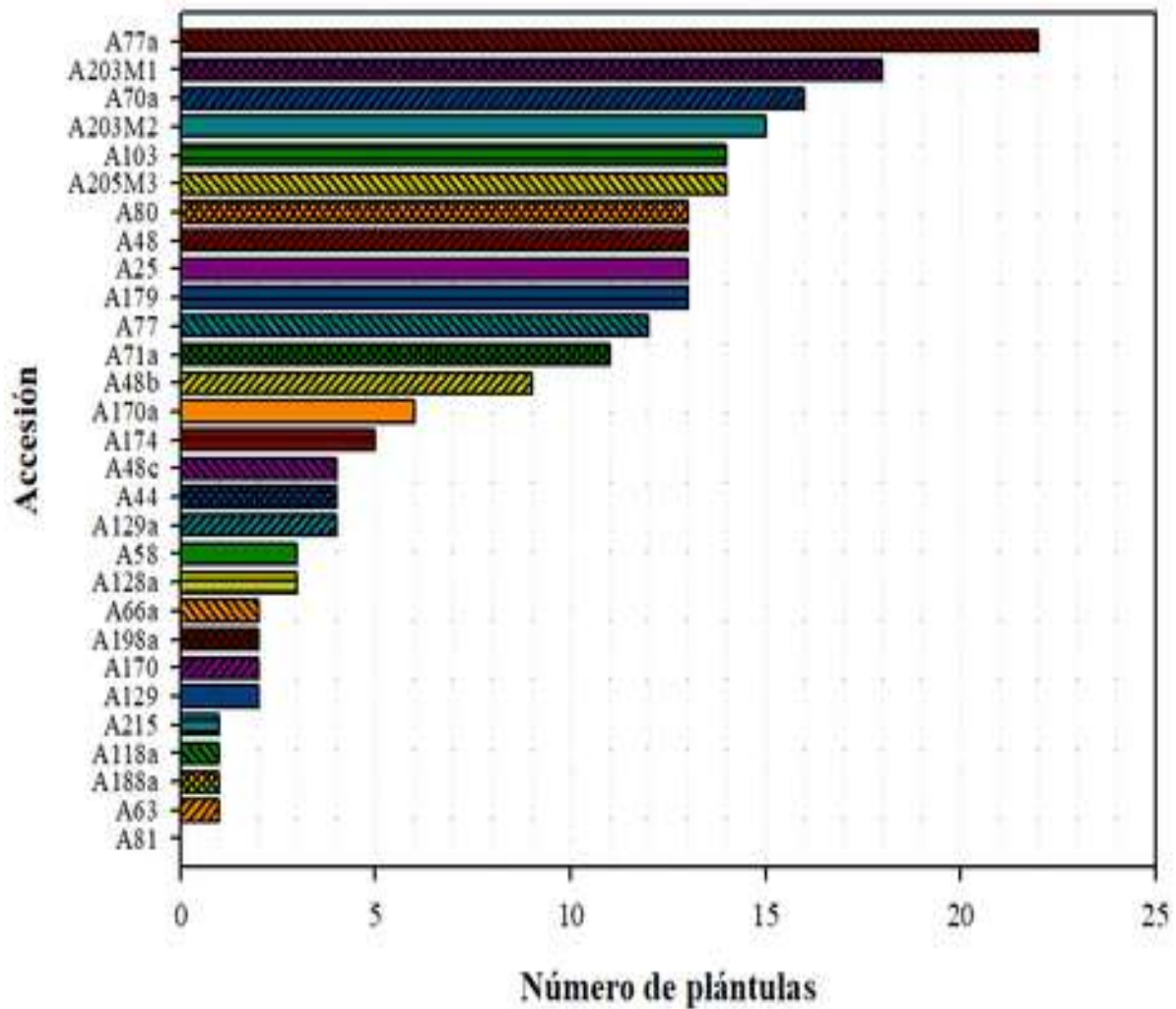


Figura 3. Número total de plántulas obtenidas de la germinación de semillas de las 29 accesiones de papayo.

Debido a la heterogeneidad en la germinación, al momento de establecer la plantación para la renovación de la CTP, se contó con un número desigual de plantas. Por ello, en el trasplante, inicialmente se establecieron 24 accesiones, pero con distinto número de plantas debido a la fecha tardía de germinación de algunas accesiones como A77, A71a, A48c, A170a y A81 (Figura 4).

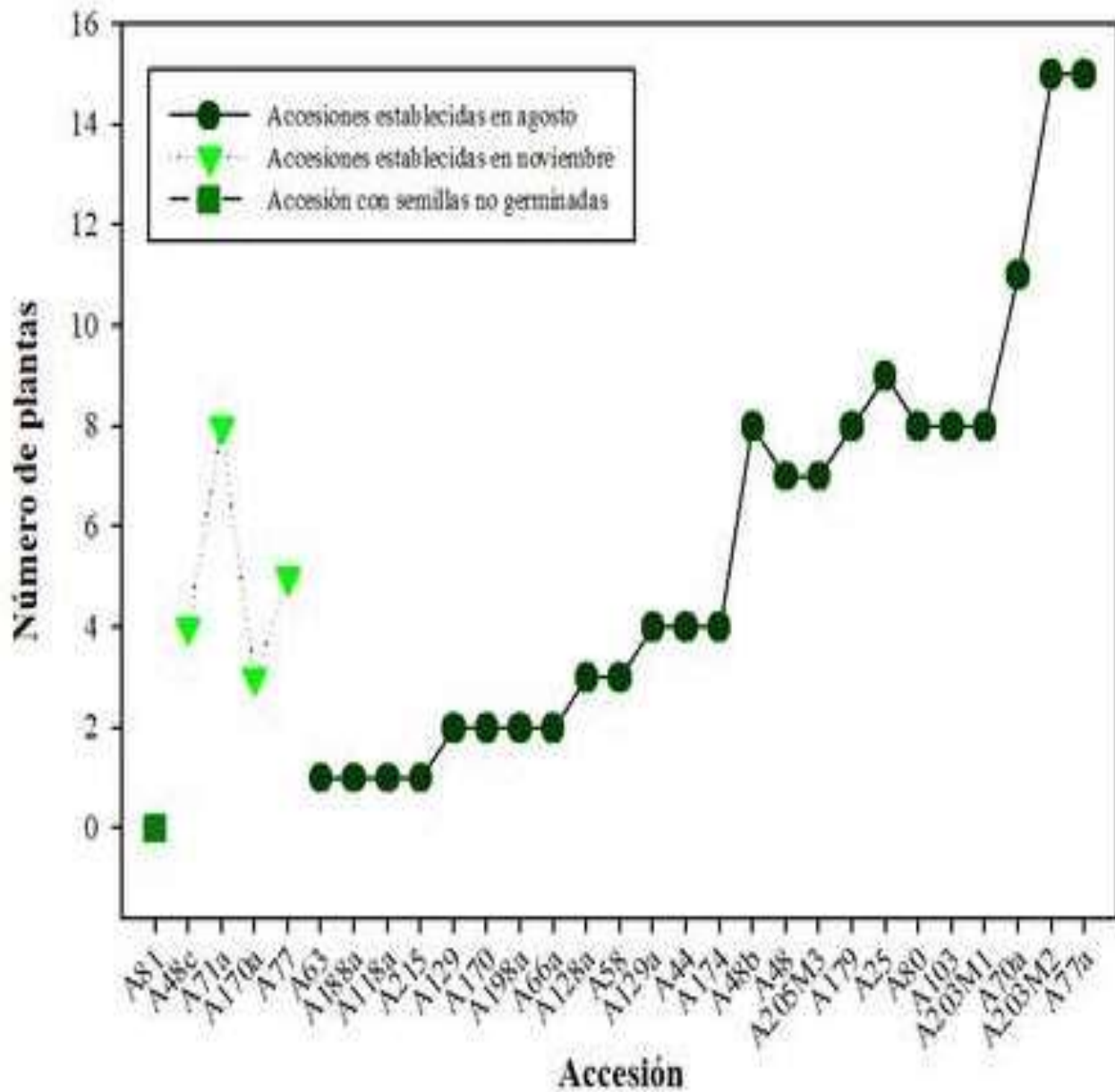


Figura 4. Comparación entre el número de plantas de las accesiones de papayo trasplantadas en diferentes fechas para el mantenimiento *ex situ* de la CTP.

Uno de los problemas que se presentó fue la muerte de plantas por damping off, por lo que se realizaron replantes para mantener el mismo número de plantas que se establecieron inicialmente; sin embargo, no se lograron conservar *in vivo* a las accesiones A63, A118a, A170a y A129a. Con base en estos resultados se realizarán otras pruebas de germinación para estas accesiones con la semilla disponible ya que los frutos obtenidos de plantas femeninas mediante polinización libre no son



recomendables para la obtención de semilla y su conservación. En términos de germoplasma se debe de evitar el intercambio genético entre accesiones, el cual se produce a través de la polinización cruzada y pone en riesgo la conservación del acervo genético de *C. papaya* (Ruiz-Gil *et al.*, 2023).

A partir de los 75 días posteriores al trasplante de las accesiones en campo se inició la polinización manual, pero no en todas las accesiones, ya que éstas presentaron diferente etapa de floración. Durante el desarrollo de las plantas, las accesiones A48, A66a, A103, A44, A71a, A48b, A80, A48c, A58 y A170 presentaron síntomas de antracnosis (*Colletotrichum* spp.) en la etapa de floración y amarre de fruto. Se conoce que los agentes causales de antracnosis no solo infectan las frutas, sino también otros órganos como hojas y flores. Por lo que se convierten en el inóculo primario para la infección de frutos en precosecha (Zakaria, 2021). Esta sintomatología permite hipotetizar que estas accesiones podrían tener mayor susceptibilidad a esta enfermedad. Al respecto, se ha reportado que diferentes especies de este género pueden formar complejos de la enfermedad; además, algunas especies tienen huéspedes específicos, mientras que otras infectan múltiples huéspedes (Phoulivong *et al.*, 2012). No obstante, existen otros patógenos como *Fusarium equiseti*, *Fusarium chlamydosporum*, *Cladosporium cladosporioides* y *Alternaria alternata* que también pueden causar daño en hojas flores y frutos (Vásquez-López *et al.*, 2012).

Se obtuvieron frutos de 20 accesiones; el número de éstos varió por accesión (Figura 5). De la accesión A179 se obtuvo el mayor número de frutos polinizados (78), mientras que de las accesiones A203M1, A203M2 y A77a fue hasta 60 frutos. En contraste, las accesiones A48, A66a, A103, A44, A71a, A48b, A80, A48c, A58 y A170 produjeron menos de 10 frutos debido a los problemas de sanidad explicados anteriormente. Cuatro accesiones tuvieron solamente una planta en crecimiento; de estas, las accesiones A128a, A129 y A188a fueron plantas masculinas, mientras que la de A215 fue femenina. Por lo tanto, de estas accesiones no se obtuvieron frutos polinizados. Es importante resaltar que algunas plantas masculinas (de cinco accesiones) desarrollaron frutos, los cuales fueron alargados y de mayor tamaño; esto debido a las interacciones genotipo-medio ambiente (Vázquez *et al.*, 2010).

La cantidad de semilla obtenida por fruto por accesión fue variable y suficiente para usarla en un lapso no mayor de dos años y continuar con la conservación de la CTP. La semilla obtenida se utilizará para la conservación y mantenimiento de la CT y para realizar estudios a corto plazo de resistencia al virus de la mancha anular del papayo (PRSV-p) y de no preferencia a ácaros fitófagos. Cabe señalar que, al momento de su extracción, se observó daño por mosca de la papaya (*Toxotrypana curvicauda*) en los frutos de las accesiones A203M1, A203M2 y A77a. Esta especie es considerada como la principal

plaga insectil de papayo silvestre, las larvas se alimentan del tejido interior del fruto y de la semilla (Rodríguez-Cabello, 2019).

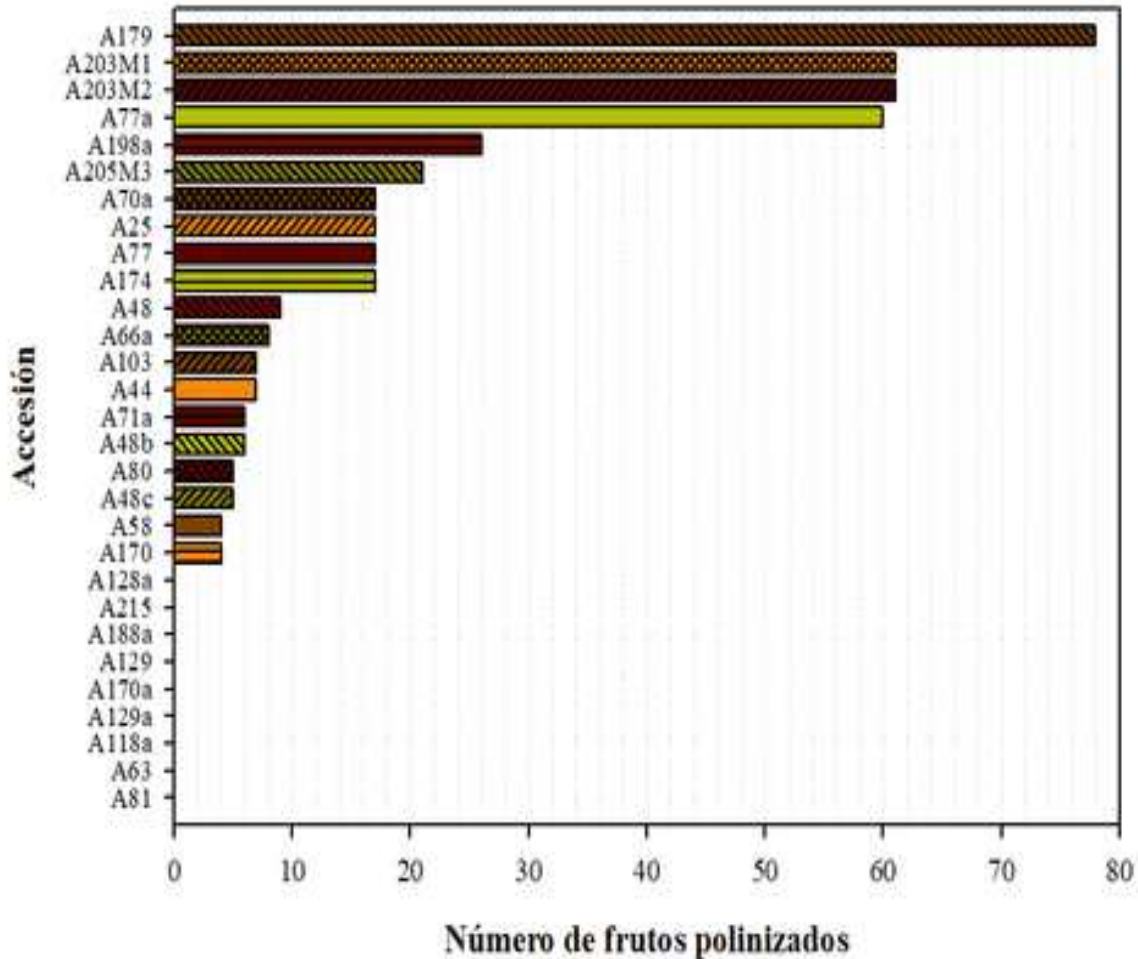


Figura 5. Frutos obtenidos de las accesiones de papayo mediante polinización manual.

Conclusiones

Con la producción de semilla, *ex situ in vivo*, mediante la polinización manual, se renovó la Colección de Trabajo de Papayo nativo del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, lo que permitirá su mantenimiento y conservación. Los problemas que se presentaron permitirán desarrollar investigaciones que ayuden a solventarlos; por ejemplo, la viabilidad de la semilla, problemas



fitosanitarios (PRSV-p y ácaros). Además, la CTP podrá contribuir al desarrollo de otros temas de investigación a través de nuevos proyectos.

Agradecimientos

Se agradece a los encargados del resguardo de la Colección de Trabajo de Papayo del Campus Veracruz y al Colegio de Postgraduados por el apoyo financiero para realizar el presente trabajo.

Literatura Citada

- Aguirre, H. R. L. 2018. Crecimiento, morfología floral y expresión sexual de genotipos no comerciales y comerciales de papayo (*Carica papaya* L.). Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
- Beristain, M. M. E. 2019. Efecto de *Tetranychus merganser* sobre la calidad del fruto de papayo y su control biológico en la Cona Central Costera de Veracruz. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
- Chávez-Pesqueira, M. and J. Nuñez-Farfán. 2016. Genetic diversity and structure of wild populations of *Carica papaya* in Northern Mesoamerica inferred by nuclear microsatellites and chloroplast markers. *Annals of Botany* 118 (7): 1293-1306.
- Chin, H. F., Y. L. Hor and M. B. Mohd Lassim. 1984. Identification of Recalcitrant Seed. *Seed Science and Technology*, 12: 429-436.
- Fonseca-Carreño, N., J. Salamanca-Merchan y Z. Vega-Baquero. 2019. La agricultura familiar agroecológica, una estrategia de desarrollo rural incluyente. *Temas Agrarios* 24 (2): 96-107.



- Flores-Bautista, R., C. Ávila-Reséndiz, J. A. Villanueva-Jiménez, C. Nava-Díaz and E. N. Becerra-Leor. 2019. Performance of native accessions of *Carica papaya* inoculated with PRSV-p using *Aphis nerii*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 37: 147-158.
- Hernández, H. J. L. 2017. Calidad física y fisiológica y deterioro de semillas en almacén de accesiones de papayo (*Carica papaya* L.) nativas de México. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
- Hernández-Salinas, G., A. Soto-Estrada, E. García-Pérez, A. Pérez-Vázquez, M. Rocandio-Rodríguez y L. Córdova-Téllez. 2019. Variación morfológica *in situ* de *Carica papaya* L. nativa de México. *Revista de Fitotecnia Mexicana* 42: 47-55.
- Hernández-Salinas, G., M. Luna-Cavazos, A. Soto-Estrada, E. García-Pérez, A. Pérez-Vázquez y L. Córdova-Téllez. 2021. Distribution and eco-geographic characterization of *Carica papaya* L. native to Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*: 1-18.
- Hofmann, P. and A. M. Steiner. 1989. An Updated List of Recalcitrant Seeds. *Landwirtschaftliche Forschung* 42: 310-323
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2021. Top 10 country production of papayas. https://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity (Consultado el 02 de junio 2023).
- Peña, F. D., P. G. Villena, A. J. Aguirre, y C. Jiménez M. 2017. Diversidad genética de accesiones de la familia *Caricaceae* en el sur de Ecuador. *Maskana* 8: 85-102.
- Phoulivong, S., E. H. C. McKenzie, and K. D. Hyde. 2012. Cross infection of *Colletotrichum* species; a case study with tropical fruits. *Current Research in Environmental & Applied Mycology* 2 (2): 99-111.



- Rodríguez-Cabello, C. J. 2019. Monitoreo y evaluación del papayo silvestre (*Carica papaya* L.) en la cuenca Almendares-Vento de la provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales* 40: 1-30.
- Ruiz-Gil, P. J., A. Wegier, V. Alavez, S. Rosas-Plaza, J. Nuñez-Farfán and M. Chávez-Pesqueira. 2023. Wild papaya shows evidence of gene Flow from domesticated Maradol papaya in Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*.
- Soriano-Melgar, L., L. Alcaraz-Méndez, M. Rodríguez-Álvarez y S. Real-Cosío. 2016. Colecta y conservación *in vitro* y *ex situ* de recursos fitogenéticos de *Carica papaya* L. *Agroproductividad* 9 (4): 28-32.
- Vázquez, G., E., H. Mata V., R. Ariza F., y F. Santamaría B. 2010. Producción y manejo postcosecha de Noreste Campo Experimental las Huastecas, Tamaulipas, México. 180 p.
- Vásquez-López, A., E. Hernández-Castro, J. A. Mora-Aguilera, C. Nava-Díaz y F. Sánchez-García. 2012. Etiología y epidemiología de la necrosis de flores y frutos juveniles del papayo (*Carica papaya* L.) en Guerrero, México. *Agrociencia* 46: 757-767.
- Vegas, A., A. Miliani, D. Rodríguez, Y. Zambrano, J. L. Vicente-Villardón y J. R. Demey. 2013. Diversidad genética de la colección venezolana de la familia Caricáceas. *Interciencia* 38(3): 171-178.
- Von Carlowitz, P., G. Wolf and E. Kemperman. 2010. *Carica papaya*. *Species Plantarum* 2: 96-99.
- Zakaria, L. 2021. Diversity of *Colletotrichum* Species Associated with Anthracnose Disease in Tropical Fruit Crops – A Review. *Agriculture* 11, 297.



EVALUACIÓN DEL ANTAGONISMO DE *Bacillus* spp. SOBRE HONGOS FITOPATOGÉNICOS DE LIMA PERSA (*Citrus x latifolia* Tan.)

Teresa de Jesús Lira Hernández⁴⁰³, Beatriz Gutiérrez Rivera^{403*}, Ana Line Vázquez Larios⁴⁰³, Paula Natalia Robledo Narváez⁴⁰³, Francisco Hernández Rosas⁴⁰⁴ y Ángel Cárdenas Cágal⁴⁰⁴

Resumen

Lima persa (*Citrus x latifolia* Tan.) es el cítrico de mayor importancia en producción y participación económica en el estado de Veracruz. Sin embargo, su producción se ve afectada por enfermedades de origen fúngicas. Una forma de disminuir el uso de fungicidas químicos es el empleo de Agentes de Control Biológico (ACB) como lo son las bacterias del género *Bacillus*. En el presente estudio se evaluó el efecto antagónico *in vitro* de *Bacillus velezensis* (Bv) y dos cepas de *Bacillus subtilis* (Bs1 y Bs2) sobre los agentes causales de muerte descendente (*Lasiodiplodia* sp.) y antracnosis (*Colletotrichum* sp.), aislados previamente en huertas de lima persa en Tierra Blanca, Veracruz. Para ello, se realizó la evaluación en placas que contenían agar papa dextrosa, colocándose un disco de 5 mm del fitopatógeno y posteriormente, un disco de los antagonistas sobre cada punto cardinal de la misma, los radios de crecimiento del patógeno se midieron cada 24 h hasta que los testigos llenaron las cajas; con las mediciones obtenidas se determinó el Porcentaje de Inhibición de Crecimiento Radial (PICR).

Dos de las tres cepas de *Bacillus* mostraron inhibición en los fitopatógenos evaluados, *Bacillus subtilis* (Bs2) mostró los PICR más elevados, el cual fue 66.69 y 61.78%, al ser confrontados con las cepas de *Lasiodiplodia* sp. (Las1 y Las2), respectivamente. El mayor efecto de Bs1 fue sobre la cepa *Colletotrichum* sp. (colle) con un 49.7% de inhibición. En el caso de *Bacillus velezensis* (Bv), este no mostró tener un efecto antagónico significativo, al solo ejercer un 8.4% de inhibición micelial sobre Las1 y una nula inhibición sobre las otras tres cepas evaluadas. Estos resultados muestran el potencial como ACB de las cepas de *Bacillus subtilis* Bs1 y Bs2 frente a *Lasiodiplodia* sp. y *Colletotrichum* sp., agentes causales de muerte descendente y antracnosis en lima persa.

⁴⁰³ Tecnológico Nacional de México (TecNM, Campus Tierra Blanca). *beatriz.gutierrez@itstb.edu.mx

⁴⁰⁴ Colegio de Postgraduados (Colpos), campus Córdoba.



Palabras clave: fitopatógeno, confrontación, inhibición, agente de control biológico

Introducción

El limón persa (*Citrus x latifolia* Tan.) se produce en veinticinco estados de México, siendo el principal productor el estado de Veracruz, con una participación en superficie de 52,990 ha y producción de 858,602 t, lo que representa el 53.9% de la producción nacional (SIAP, 2022). Sin embargo, la producción se ve afectada por diversos factores, entre los que destacan las enfermedades fúngicas como mancha grasienta (*Mycosphaerella citri*), antracnosis (*Colletotrichum* spp.), gomosis (*Phytophthora* spp.) y muerte descendente (*Lasiodiplodia* spp.) (Sáenz *et al.*, 2019; Leyva *et al.*, 2021).

En Veracruz se ha reportado la presencia de *L. pseudotheobromae*, *L. theobromae*, *L. subglobosa* y *L. iraniensis* como los agentes causales de la muerte descendente y chancros en huertos comerciales de limón persa de la región de Martínez de la Torre, Tlapacoyan y Papantla (Bautista *et al.*, 2019). Por otro lado, *Colletotrichum* spp., se reporta como el causante de manchas foliares marrones, orificios en hojas, tizón de las ramillas, así como lesiones necróticas y caída prematura en frutos, provocando pérdidas pre y poscosecha significativas en las regiones citrícolas (Ruiz *et al.*, 2014).

Para el control de enfermedades se han empleado principalmente plaguicidas sintéticos, sin embargo, los residuos de estos productos se movilizan contaminando el ambiente circundante afectando a otros organismos y, provocando con ello un severo impacto al medioambiente que genera contaminación de suelos y la pérdida de biodiversidad (Gálves *et al.*, 2018). Una alternativa para limitar la aplicación de estos productos y disminuir la presencia del patógeno en el cultivo de forma ambientalmente amigable, es el uso de agentes de control biológico (ACB) (Vinchira y Moreno, 2019). En el caso de las bacterias, especies del género *Bacillus* han sido ampliamente estudiadas debido a la abundancia, diversidad, ubicuidad en diversos agroecosistemas y capacidad para esporular, lo que facilita su uso como agente de control, además de destacar por sus características metabólicas de producir lipopéptidos, enzimas líticas, δ -endotoxinas, sideróforos e inducir la respuesta sistémica de la planta (Valenzuela *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020).

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la capacidad antagónica *in vitro* de cepas de *Bacillus* autóctonos contra *Lasiodiplodia* sp. y *Colletotrichum* sp., reportados como agentes causales de muerte descendente y antracnosis en limón persa, respectivamente.



Materiales y Métodos

Cepas de estudio

La experimentación se llevó a cabo durante los meses de mayo a septiembre del año 2022, en el laboratorio de microbiología del TecNM campus Tierra Blanca. Se utilizaron tres cepas bacterianas del género *Bacillus*, aisladas previamente de plantas de limón persa de la región de El “Jícaro”, municipio de Tierra Blanca, que fueron identificadas molecularmente y, que pertenecen a la colección de cepas del TecNM campus Tierra Blanca. Estas fueron *Bacillus subtilis* (Bs1) aislada de la rizosfera y *Bacillus subtilis* (Bs2), aislada previamente de las hojas. Así como una tercera cepa perteneciente a la especie de *Bacillus velezensis* (Bv), aislada de hojas de plantas limón persa. Los cuatro fitopatógenos empleados en el bioensayo, fueron previamente aislados en diferentes huertas de limón persa de la región noroeste del municipio de Tierra Blanca, Veracruz y pertenecientes a la colección de cepas del TecNM campus Tierra Blanca, identificados como *Lasioidiplodia* sp. (Las1, Las2 y Las3) y *Colletotrichum* sp. (Colle).

Pruebas de antagonismo

Para realizar las confrontaciones de *Bacillus* spp. frente a los fitopatógenos, se colocaron discos de 5 mm de diámetro en los puntos cardinales crecidos previamente en medio PDA, posteriormente, en el centro de la caja se colocó un disco de 5 mm de diámetro con micelio del patógeno con 7 d de crecimiento. Todas las placas fueron incubadas a $29\pm 2^{\circ}\text{C}$ en ausencia de luz y los radios de crecimiento del patógeno se midieron cada 24 h hasta que los testigos llenaron las cajas (Espinoza *et al.*, 2019).

La variable medida fue el radio de crecimiento del hongo fitopatógeno en presencia del antagonista bacteriano. Como control negativo o testigo se utilizaron placas donde se encontraban únicamente los hongos evaluados; con las mediciones obtenidas se determinó el Porcentaje de Inhibición de Crecimiento Radial (PICR), empleando la fórmula propuesta por Ezziyyani *et al.* (2004):

$$PICR = \frac{R_1 - R_2}{R_1} * 100$$

donde R_1 es el radio mayor (radio patógeno-testigo) y R_2 es el radio menor (radio del patógeno en confrontación). Para el bioensayo se empleó un diseño completamente al azar, con doce tratamientos: tres aislados de *Bacillus* spp. confrontados contra cuatro hongos fitopatógenos (3 cepas de *Lasioidiplodia* sp. y 1 cepa de *Colletotrichum* sp.), con un testigo para cada microorganismo patógeno.



Se realizaron 5 réplicas por tratamientos. Los datos del PICR se sometieron a análisis de varianza y prueba de comparación de medias múltiple (Tukey, $P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS V9.3.

Resultados y Discusión

Actividad antagonista *in vitro* de *Bacillus* spp. vs fitopatógenos

El PICR entre microorganismos evaluados *in vitro* (Figura 1), muestra que las dos cepas de *Bacillus subtilis* Bs1 y Bs2, tuvieron un comportamiento antagonista sobre los cuatro hongos confrontados, mientras que en la cepa de *Bacillus velezensis* (Bv) no ejerció antagonismo sobre tres cepas de patógenos (Colle, Las2 y Las3) al observarse el desarrollo de los patógenos sobre las colonias del antagonista y que mostraron un desarrollo completo en la placa (Figura 2). En diferencia, solo se mostró inhibición del 8.4% sobre *Lasiodiplodia* sp. ZI (Las1). Estos resultados contrastan con lo reportado por Chukeatirote *et al.* (2018), en donde *Bacillus velezensis* presentó un 60% de inhibición de crecimiento radial de sobre *Lasiodiplodia theobromae*.

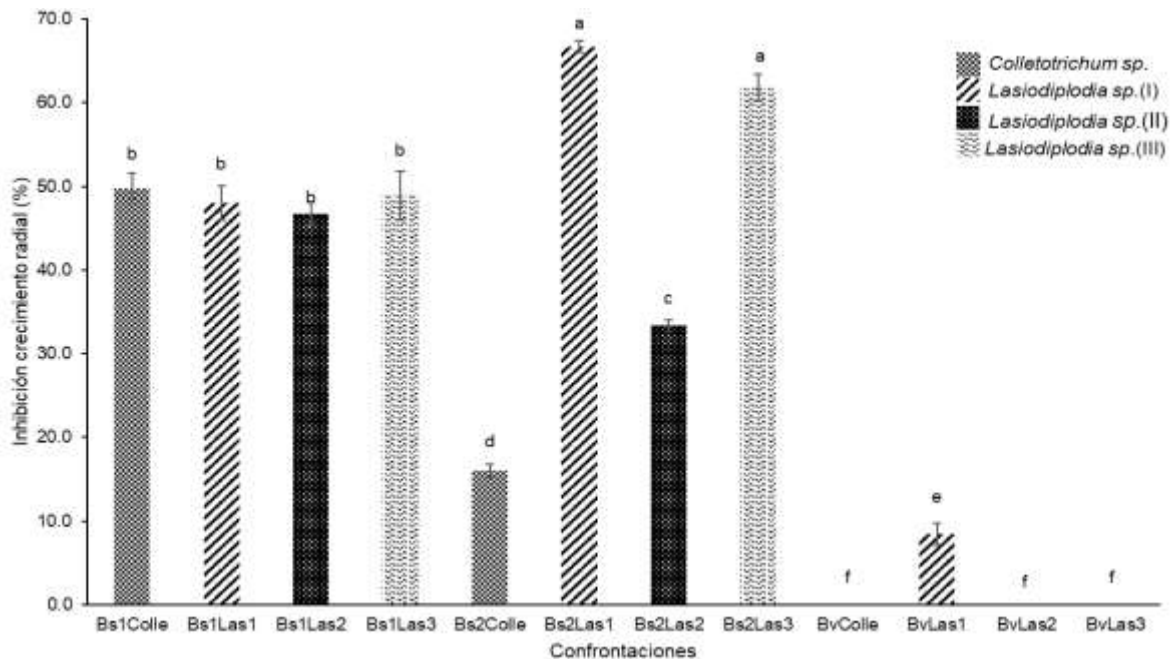


Figura 1. Confrontación *in vitro* de *Bacillus* spp. contra patógenos de lima persa. (Bs1: *B. subtilis* 212s, Bs2: *B. subtilis* 314s, Bv: *B. velezensis*, Colle: *Colletotrichum* sp., Las1: *Lasiodiplodia* sp. ZI, Las2: *Lasiodiplodia* sp. ZII, Las3: *Lasiodiplodia* sp. ZIII). Barras con la misma letra no son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p=0.05$).



Figura 2. Efecto inhibitorio de tres cepas de *Bacillus* spp. sobre el crecimiento de cuatro aislados de patógenos de lima persa a los 9 días incubación. (Bs1: *B. subtilis* 212s, Bs2: *B. subtilis* 314H, Bv: *B. velezensis* 614H).

Se ha reportado por diferentes autores estudios de secuenciaciones genéticas de *Bacillus velezensis*, en los que se han identificado grupos de genes relacionados con la síntesis de metabolitos secundarios con actividad antifúngica, como lo son las fengicinas, iturinas y surfactinas que juegan un papel importante en el control de patógenos fúngicos (Zhang *et al.*, 2022; Wei *et al.*, 2023). No obstante, al ser evaluado en plantas, se ha observado que puede reducir las enfermedades, debido a la formación de biopelículas



en las rizosferas que promueven el crecimiento y las protegen de los microorganismos infecciosos, tanto por la secreción de compuestos antimicrobianos como a través de la resistencia sistémica. (Rabbee *et al.*, 2019; Moreno *et al.*, 2021). Por lo anterior, esta especie podría tener un efecto prometedor en el desarrollo y protección de la planta en pruebas *in situ*.

Por otra parte, la cepa de *Bacillus subtilis* (Bs2) presentó los valores más altos de inhibición de crecimiento micelial, mostrando un 66.69 y 61.78% de inhibición sobre las cepas de *Lasiodiplodia* sp. Z1 y ZII (Las1 y Las3), respectivamente (Figura 1). Se reportan resultados similares por Sajitha *et al.* (2014), al evaluar dos cepas identificadas como *Bacillus subtilis* contra *Lasiodiplodia theobromae*, donde se obtuvieron valores de inhibición de 64.44 y 60.74%. El bajo porcentaje que se obtuvo de la cepa Bs2 sobre *Colletrotrichum* sp. (16%), contrasta con lo señalado por Ayón *et al.* (2020), quien obtuvo un porcentaje de inhibición micelial superior (32%) en la evaluación de *Bacillus subtilis* sobre *C. gloeosporioides* (Colle).

Adicionalmente, la cepa de *Bacillus subtilis* (Bs1), mostró un efecto homogéneo en la inhibición de los cuatro patógenos en confrontación, ya que los valores obtenidos de PICR no mostraron diferencias significativas (figura 1). Evidenciando valores de inhibición que van de 46.6% sobre la cepa Las2 y un máximo de 49.7% para la cepa de Colle.

Cabe mencionar que las cepas Bs1 y Bs2 identificadas como *B. subtilis*, no obtuvieron los mismos resultados. Lo anterior coincide con Castillo *et al.* (2015), en que para cepas de una misma especie se pueden exhibir diferentes capacidades para inhibir el crecimiento de diferentes microorganismos. También, el origen de estas cepas podría ser un factor que influya en las características de biocontrol de las mismas, debido a que Bs1 fue aislada de hojas y Bs2 de la rizosfera de plantas de limón persa. Se ha demostrado en diversos estudios que cepas nativas del género *Bacillus*, aisladas de la rizósfera de diferentes cultivos, son capaces de generar un efecto antagónico en el desarrollo de agentes fitopatógenos (Balthazar *et al.*, 2022; Castañeda y Consuelo, 2016; Castillo *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2021).

Durante las pruebas de confrontación se observaron dos patrones de inhibición (Figura 3). En el primero, el crecimiento de los hongos fitopatógenos estuvo delimitado por el desarrollo de las cepas de *Bacillus*, de acuerdo a lo que puede ser una baja producción de metabolitos y al efecto de mecanismos de competencia por nutrientes y espacio, como lo reporta Chen *et al.* (2020). El segundo patrón fue la formación de un halo de inhibición, manifestando la posible producción de lipopéptidos como iturinas, fengicinas y surfactinas, que han sido identificadas en la zona de inhibición durante la confrontación de

Bacillus spp. contra hongos filamentosos (Moreno *et al.*, 2021; Sajitha y Dev, 2016), y que de acuerdo con lo reportado por Chen *et al.* (2020), es la producción de sustancias microbianas el mecanismo de biocontrol más importante para este género.

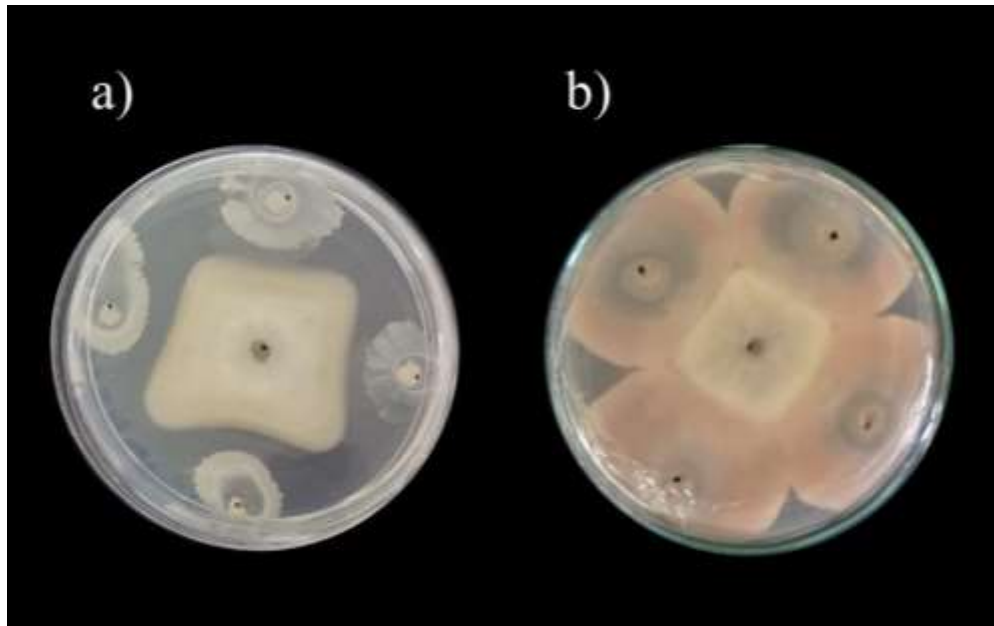


Figura 3. Patrones de inhibición en confrontaciones. a) Competencia por espacio y nutrientes), b) Producción de metabolitos microbianos (formación de halo de inhibición).

Conclusiones

De las tres cepas de *Bacillus* evaluadas como antagonistas, dos cepas identificadas como *Bacillus subtilis* Bs1 y Bs2 mostraron actividad antifúngica contra los cuatro fitopatógenos evaluados (Las1, Las2, Las3 y Colle). La cepa Bs2 mostró los valores más altos de inhibición, 66.69 y 61.78% sobre las cepas Las1 y Las2 respectivamente. Mientras que la cepa Bs1, presentó un máximo de inhibición de 49.7% para la cepa Colle. Adicionalmente, *Bacillus velezensis* (Bv) ha sido reportado como un agente de control biológico; sin embargo, en este estudio no se demostró este efecto para las cepas evaluadas, a excepción de 8.4% de inhibición micelial que presentó para Las1.

Debido a lo anterior, las cepas de *Bacillus subtilis* (Bs1 y Bs2) podrían ser empleados en futuras investigaciones para el control biológico *in situ* de los agentes causales de muerte descendente y



antracnosis en limón persa, y de esta manera contribuir a la disminución del uso de fungicidas químicos empleados para el control de estos fitopatógenos.

Literatura Citada

- Ayón, C. B. C., L. Esquivel, G., R. Velasco, C., E. Virgen, O., B. Aranguré, A. y J. C. Campos, O. 2020. Evaluación *in vitro* de antagonistas contra patógenos de fruto de guanábana (*Annona muricata* L.) en Nayarit, México. Revista Brasileira De Fruticultura 42(2):1-5. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020147>
- Balthazar, C., A. Novinscak., G. Cantin., D. L. Joly. and M. Filion. 2022. Biocontrol Activity of *Bacillus* spp. and *Pseudomonas* spp. Against *Botrytis cinerea* and Other Cannabis Fungal Pathogens. Phytopathology 112(3):549-560. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-21-0128-R>
- Bautista, M. A., G. Almaguer., G. S. Leyva., M.T. Colinas., K. C. Correia., M. Camacho. *et al.* 2019. Phylogeny, Distribution, and Pathogenicity of *Lasiodiplodia* Species Associated With Cankers and Dieback Symptoms of Persian Lime in Mexico. Plant Disease 103(6):1058-1443. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-1036-RE>
- Castañeda, A. E. y L. Consuelo S. 2016. Evaluación del crecimiento de cuatro especies del género *Bacillus* sp., primer paso para entender su efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. Nova 13(26):53-65.
- Castillo, F., D. Hernández, F, G. Gallegos., A. Flores., R. Rodríguez y N. Aguilar, C. 2015. Efectividad *in vitro* de *Bacillus* y polifenoles de plantas nativas de México sobre *Rhizoctonia-Solani*. Revista mexicana de ciencias agrícolas 6(3):549-562.
- Chen, K., Z. Tian., H. He., C. Long and F. Jiang. 2020. *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases. Biological Control., 104419. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2020.104419>.



- Chukeatirote, E., K. Niraphai., U. Sardud and S. Popluechai. 2018. Identification of antagonistic bacteria isolated from Thai fermented soybean (*Thua Nao*) for biocontrol of *Lasiodiplodia theobromae*. *Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica* 53(1):19-28. <https://doi.org/10.1556/038.53.2018.004>
- Espinoza, C. A., G. Gallegos., F. Hernández., Y. Ochoa, M. Cepeda y F. Castillo. 2019. Antagonistas microbianos a *Fusarium* spp., como agente causal de pudrición de raíces y tallo en melón. *Ecosistemas y recursos agropecuarios* 6(16):45-55. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1843>.
- Ezziyyani, M., C. Pérez., E. Requena, M., L. Rubio y E. Candela, M. 2004. Biocontrol por *Streptomyces rochei* -Ziyani-, de la podredumbre del pimiento (*Capsicum annuum* L.) causada por *Phytophthora capsici*. *Anales de Biología*, (26):69-78.
- Gálvez, G.T., R. Sánchez, M., F. Parra., J. García., N. Aviña, G. y S. Santos. 2018. Plaguicidas en la agricultura mexicana y potenciales alternativas sustentables para su sustitución. *Biológico Agropecuaria Tuxpan* 6(1): 61–75. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v6i1.138>
- Leyva, S. G., A. Bautista, M., G. Almaguer., T. Colinas, M., M. Tovar, J. y M. Camacho. 2021. Efectividad de fungicidas y *Trichoderma* spp. para el control de *Lasiodiplodia* spp. en huertos de limón ‘Persa’ en Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 12(2):345-353. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i2.2551>
- Moreno, C. A., M. Ongena and M. A. Cotes. 2021. Effects of Fengycins and Iturins on *Fusarium oxysporum* f. sp. physali and Root Colonization by *Bacillus velezensis* Bs006 Protect Golden Berry Against Vascular Wilt. *Phytopathology* 111(12):2227-2237. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-21-0001-R>
- Rabbee, M.F., S. M. Ali., J. Choi., S. B. Hwang., C. S. Jeong. and H. K. Baek. 2019. *Bacillus velezensis* A Valuable Member of Bioactive Molecules within Plant Microbiomes. *Molecules* 24(6), 1046. <https://doi.org/10.3390/molecules24061046>



- Ruiz, A., C. Parra, C., J. Graça., B. Salas., S. A. Malik, N. y M. Kunta. 2014. Caracterización Molecular y de Ensayos de Patogenicidad de *Colletotrichum acutatum*, Agente Causal de la Antracnosis del Limón en Texas. *Revista mexicana de fitopatología* 32(1):52-61.
- Sáenz, C. A., O. Hernández, E., B. Estrada., A. Poot., R. Delgado y R. Herrera, R. 2019. Principales enfermedades en cítricos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 10(7):1653-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1827>
- Sajitha, K. L. and A. S. Dev. 2016. Quantification of antifungal lipopeptide gene expression levels in *Bacillus subtilis* B1 during antagonism against sapstain fungus on rubberwood. *Biological Control*. 96:78-85. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2016.02.007>
- Sajitha, K. L., J. E. Maria. and A. S. Dev. 2014. Screening of bacterial biocontrols against sapstain fungus (*Lasiodiplodia theobromae* Pat.) of rubberwood (*Hevea brasiliensis* Muell.Arg.). *Research in Microbiology* 165(7):541-548. <https://doi.org/10.1016/J.RESMIC.2014.07.002>
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario estadístico de la producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. [consultado el 30 de julio de 2023].
- Valenzuela, V., T. Gálvez, G., D. Villa, E., I. Parra, F., G. Santoyo y S. Santos. 2020. Lipopéptidos producidos por agentes de control biológico del género *Bacillus*: revisión de herramientas analíticas utilizadas para su estudio. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 11(2):419-432. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.2191>
- Vinchira, D. M. y N. Moreno. 2019. Control biológico: Camino a la agricultura moderna. *Revista Colombiana de Biotecnología* 21(1):2-5. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.80860>



Wei, J., J. Zhao., M. Suo., H. Wu., M. Zhao. And H. Yang. 2023. Biocontrol mechanisms of *Bacillus velezensis* against *Fusarium oxysporum* from *Panax ginseng*. *Biological Control*. 182, 105222. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2023.105222>

Yan, H., Y. Qiu., S. Yang., Y. Wang., K. Wang., L. Jiang., *et al.* 2021. Antagonistic activity of *Bacillus velezensis* SDTB038 against *Phytophthora infestans* in potato. *Plant Disease* 105(6):1738-1747. <https://doi.org/10.1094/PDIS-08-20-1666-RE>

Zhang, R. S., G. F. Wang., Q. Z. Qi., Q. J. Qiao., Y. Du., J.J. Yu., *et al.* 2022. Iturins produced by *Bacillus velezensis* Jt84 play a key role in the biocontrol of rice blast disease. *Biological Control*. 174, 105001. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2022.105001>



HALLAZGOS DEL PROYECTO “ESTIMACIÓN DE COSTOS Y BENEFICIOS EN DOS AGROECOSISTEMAS PRODUCTIVOS TRADICIONALES DE LA SIERRA DE ZONGOLICA, VERACRUZ

Hilario García Martínez⁴⁰⁵, Julio Díaz José⁴⁰⁶, Rogelio Limón Rivera⁴⁰⁵ y Susana Isabel Castillo Martínez⁴⁰⁵

Resumen

La presente sistematización de experiencias es el resultado del proyecto financiado por la Comisión Nacional para el Estudio y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y operado por el Instituto Tecnológico Superior de Zongolica, coordinado por el Cuerpo Académico de la Ingeniería en Desarrollo Comunitario en los años 2021 y 2022. Participaron productoras y productores de comunidades del municipio de Zongolica, Los Reyes, Astacinga, Tehuipango, Tequila y Atlahuilco; Veracruz. Se utilizó una combinación de herramientas metodológicas cualitativas y cuantitativas entre las que se destacan el panel de costos de producción, que permitieron explorar y describir las especies asociadas a estos agroecosistemas y los múltiples beneficios directos e indirectos que perciben los agricultores, así como los distintos usos y valores asociados. Este proyecto buscó responder al siguiente cuestionamiento: ¿Cuál es la productividad total de un agroecosistema tradicional mexicano, tomando en cuenta todos los productos y beneficios que se derivan de él y cuáles son todos los costos que tiene su producción? Para abordar esta pregunta se analizaron los dos agroecosistemas tradicionales más importantes en la sierra de Zongolica, la milpa y el café. El primero orientado en su totalidad hacia el autoconsumo con prácticas de manejo ancestrales; mientras que el segundo, es un cultivo comercial introducido en un ecosistema natural que combina conocimiento técnico e indígena para su manejo, tanto del cultivo como de las especies asociadas. La importancia de estimar la productividad de un agroecosistema tradicional cuantificando los múltiples beneficios que de él se derivan se debe a dos razones: La primera es que estos agroecosistemas (el café y la milpa) forman parte del paisaje de la sierra de Zongolica, Ver., así mismo han contribuido al desarrollo social y económico de la región, sin

⁴⁰⁵ Instituto Tecnológico Superior de Zongolica. Km. 4 Carretera a la Compañía S/N, Tepetitlanapa, Zongolica, Veracruz.
m.c.garciah@hotmail.com

⁴⁰⁶ Universidad Veracruzana, Peñuela, Amatlán de Los Reyes, Veracruz.



embargo, en los últimos años han sufrido cambios radicales que ponen en riesgo su permanencia. La segunda razón es que estos sistemas productivos no se valoran de forma adecuada en relación con todos los beneficios que proporcionan para las comunidades, y algo que no se valora adecuadamente no puede ser conservado.

Palabras clave: agrobiodiversidad, servicios ecosistémicos, panel de costos

Introducción

La sierra de Zongolica se caracteriza por estar habitada por comunidades indígenas nahuas, además de ser una región de gran riqueza en la biodiversidad y conocimiento tradicional. La milpa y el café son los agroecosistemas productivos tradicionales de mayor importancia y que mantienen la agrobiodiversidad en la zona, además de ser una fuente importante de suministro de alimentos y otros recursos para las familias campesinas de la región.

La milpa es uno de los agroecosistemas característicos del medio rural en México, además de su aporte al ingreso de las familias, también representa un hospedero de la agrobiodiversidad y otros productos que son destinados al autoconsumo, lo cual es crucial para garantizar la seguridad y cultura alimentaria (Leyva-Trinidad, *et al.*, 2020). En la sierra de Zongolica existen gradientes altitudinales que van desde los 400 a los 2400 msnm, donde se cultiva la milpa utilizando prácticas, temporalidades y espacios diversos. En la zona fría el maíz se asocia con cultivos como haba, frijol, calabaza y otras especies (Martínez-Canales, 2012; Quiahua-Itehua, 2019) mientras que en la zona baja la milpa se asocia principalmente con frijol (Gálvez-Hernández, *et al.*, 2019).

Por otra parte, los cafetales en la sierra de la región, al igual que en otras partes de México, son agroecosistemas con una estructura diversa en la que se encuentran especies vegetales y animales de distintos tipos, silvestres, nativas e introducidas (Martínez *et al.*, 2007; Moguel y Toledo, 1999), las cuales contribuyen a la conservación de la biodiversidad regional, y responden a distintas condiciones socioeconómicas y culturales de las comunidades, pero también al manejo que los productores de café realizan en la finca (López-Gómez, *et al.*, 2008; Valencia *et al.*, 2014).

Sin embargo, los beneficios que proporciona la naturaleza presentan características que difieren en gran medida de los bienes de capital producidos por el hombre. La movilidad de los organismos vivos y



muchos de los procesos que dan forma al mundo natural son silenciosos e invisibles para muchas personas, y por tanto, no pueden ser analizados desde una perspectiva únicamente de mercado (Dasgupta, 2021). La naturaleza de estos procesos dificulta contabilizarlos y ello representa un reto si se aborda bajo los mecanismos convencionales. A pesar de tratarse de un proceso complejo, la evaluación de los beneficios que proporciona la naturaleza es necesaria para dimensionar la magnitud e importancia que tiene el conservar y manejar de manera sustentable estos recursos, además de la necesidad de tomar decisiones basadas en la evidencia para conservar la agrobiodiversidad.

Las decisiones de producir maíz y café pueden parecer no viables desde una perspectiva económica y financiera con un enfoque netamente de mercado. La discrepancia que existe entre sembrar un cultivo y obtener una rentabilidad financiera muy baja o negativa, obedece más bien a una falla de mercado para incorporar o contabilizar los múltiples beneficios y valores que estos agricultores asocian a sus cultivos, productos, subproductos, cultivos asociados y beneficios tangibles e intangibles derivados de estos agroecosistemas (Arslan y Taylor, 2009; Bellon *et al.*, 2019). En los últimos años se han realizado esfuerzos por entender mejor las decisiones que toman los agricultores para seguir cultivando bajo ese enfoque tradicional, pues de ello depende la permanencia de estos agroecosistemas en el futuro, con todo y las múltiples externalidades que de ellos se derivan. En años recientes, el Tecnológico Superior de Zongolica ha realizado diversos trabajos de investigación en la región para el rescate y revaloración del conocimiento tradicional indígena, en el que han participado otras instituciones de educación superior, estudiantes, comunidades y organizaciones de la sociedad civil, principalmente con el apoyo de instituciones como SAGARPA, CONABIO y SEMARNAT. El resultado de estos conocimientos se ha centrado principalmente en el registro y manejo de estos recursos bioculturales; sin embargo, las razones económicas que llevan al productor a tomar decisiones en su finca requieren ser analizados desde una perspectiva también económica, que permita contrastar los distintos escenarios de la sostenibilidad de estos sistemas productivos en el largo plazo.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante el mes de marzo del 2021 a diciembre de 2022, en las localidades de Choapa, Coapapinopa y La Palma en Zongolica; Atlanca en Los Reyes; Acatitla en Astacinga; Amoltepec de Tehuipango; Xalxocotla de Tequila; y Tlaxcantitla en Atlahuilco.



El proyecto tuvo como propósito en primer lugar el registrar las especies y sus beneficios primarios y secundarios, como segundo lugar el analizar las prácticas de cultivo en los agroecosistemas estudiados, y por último, el estudio de los costos de producción, sus ingresos y las utilidades; para ello se aplicaron distintas herramientas de carácter cualitativo y cuantitativo que lograron explorar, registrar y medir las variables objeto de análisis, por lo que la investigación tuvo un enfoque mixto. La aplicación de las herramientas llevó un sentido secuencial, es decir, que los resultados de una herramienta pudieron ser analizados por la siguiente a mayor profundidad y complementarse entre sí para alcanzar los objetivos del estudio.

Antes de iniciar el proceso de consulta con los informantes claves, se visitaron las comunidades para explicar el objetivo y el alcance del proyecto y que, durante las primeras sesiones generales de presentación con los productores, se dieron a conocer nuevamente, además se dio lectura al formato de Consentimiento de Humano Informado, para conocer los derechos de los participantes, propósito, mecánica de operación y forma de participación.

Se realizó una combinación de instrumentos y enfoques que permitieron abordar la evaluación de los distintos tipos de valores descritos anteriormente, entre los que se destacan: los recorridos en fincas de café y parcelas de maíz, para realizar una reflexión *in situ* sobre la estructura y composición de su finca/parcela para reconocer los productos que de ella se obtienen; el calendario estacional del agroecosistema café y milpa, para ilustrar las relaciones entre las actividades y los cambios estacionales; la matriz de beneficios café y milpa, para identificar los beneficios directos e indirectos de los productos del cafetal y la milpa; el mapeo de finca, para identificar el uso del espacio para sus actividades económicas y productivas, particularmente en el caso de la milpa; el KoBoToolbox-CONABIO, para registrar las especies presentes en los agroecosistemas, así como para el registro del conocimiento tradicional asociado a cada una de ellas; el panel de costos de producción, para registrar las prácticas de manejo, sus costos asociados e ingresos o beneficios obtenidos por la producción del cultivo principal, cultivos asociados y beneficios secundarios; la matriz de Análisis de Política (MAP), para determinar la rentabilidad reflejados en las diferencias entre costos, ingresos y rentabilidad privada y social.

La técnica de paneles de costos de producción fue desarrollada por el Centro de Política Agrícola y de los Alimentos (AFPC) de la Universidad de Texas A&M, y adaptada para cuantificar ingresos y costos de producción agrícolas en México (Sagarnaga-Villegas, *et al.*, 2018). Fue necesario el desarrollo de un panel de construcción y uno de validación, que requirió de un facilitador, un moderador, un relator y



panelistas, que fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico de selección experta denominado también como muestreo de juicio. Los costos se proyectan para una unidad representativa de producción (URP) en la que los expertos están de acuerdo que representan (virtualmente) las características del sistema productivo de la zona.

Resultados y Discusión

El café y sus hallazgos relevantes

Se estima que en la región de Zongolica se tiene una superficie de ~ 8,900 hectáreas de café cultivadas por alrededor de 7,400 productores, entre los que se destacan los municipios de Zongolica, Tequila, Los Reyes, San Juan Texhuacan y Mixtla de Altamirano.

El café se siembra desde los 81 hasta los 1700 msnm, por lo que se presentan diversas condiciones agroclimáticas y de suelos para producir café con características especiales y de excelente calidad.

El manejo de estos agroecosistemas cafetaleros se considera como tradicional debido a las características de asociación, manejo y tamaño de las fincas en la región. El café se cultiva en ecosistemas fragmentados, sin embargo, se mantienen bajo una sombra diversificada principalmente de especies nativas, predominando las especies del género *Inga sp* (vainillo o jinicuil = nombre común en la zona), (Figura 1).

El manejo de los cafetales es deficiente en relación con las prácticas agronómicas y de conservación de suelos necesarias para mejorar los rendimientos, esto se debe a la falta de capital, escasez de mano de obra, bajos precios del aromático en el mercado y la presencia de enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*) y plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*) que han ocasionado una disminución considerable en la producción (-28%) durante los últimos años.

El rendimiento promedio de las fincas se encuentra por debajo del promedio nacional en un 22% (3.1 toneladas de café cereza/ha), y la superficie promedio que posee un productor de café en la región es de ~ 1.6 ha en pendientes >45% lo que hace propenso a los suelos cafetaleros a procesos de erosión y desgaste.



Figura 1. Agroecosistemas cafetaleros de la sierra de Zongolica, Veracruz. A) Agroecosistema café tipo policultivo tradicional (Foto: Hilario García Martínez); B) Agroecosistema café tipo policultivo comercial y semi-sombra con vainillo (*Inga vera*) como especie predominante (Foto: Julio Díaz José); C) Actividad cafetalera que se realiza en bosques fragmentados (Foto: Juan Manuel Aguirre López). Fuente: tomado del Informe Final del Proyecto SG007: Estimación de costos y beneficios en dos agroecosistemas productivos tradicionales de la sierra de Zongolica, Veracruz.

En el cultivo de café, se combinan conocimientos técnicos e indígenas que se asocian al manejo de distintas especies de plantas ya sea nativas o introducidas que conforman un mosaico estructural y diverso de los cafetales.

En el agroecosistema cafetalero de la zona se identificaron ~82 especies con algún uso, entre los que se encuentran árboles, arbustos, hierbas y epífitas. De estos agroecosistemas se extraen especies de plantas para alimento, medicinal, ornamental, madera, construcción, combustible, entre otros beneficios.



Además de algunos insectos comestibles como las *popotocas* (*Phassus sp.*). Los beneficios que proporcionan las plantas que tienen asociado un valor tanto de uso como de mercado representan hasta un 20% del total del ingreso por cultivo de café en la finca.

Se encontraron alrededor de 13 usos de las especies, una especie de estos agroecosistemas puede tener hasta 5 usos diferentes, dependiendo de sus características (Figura 2). También, casi el 60% de las especies con algún uso o beneficio se pueden recolectar todo el año, aunque predominan más en épocas de lluvias.

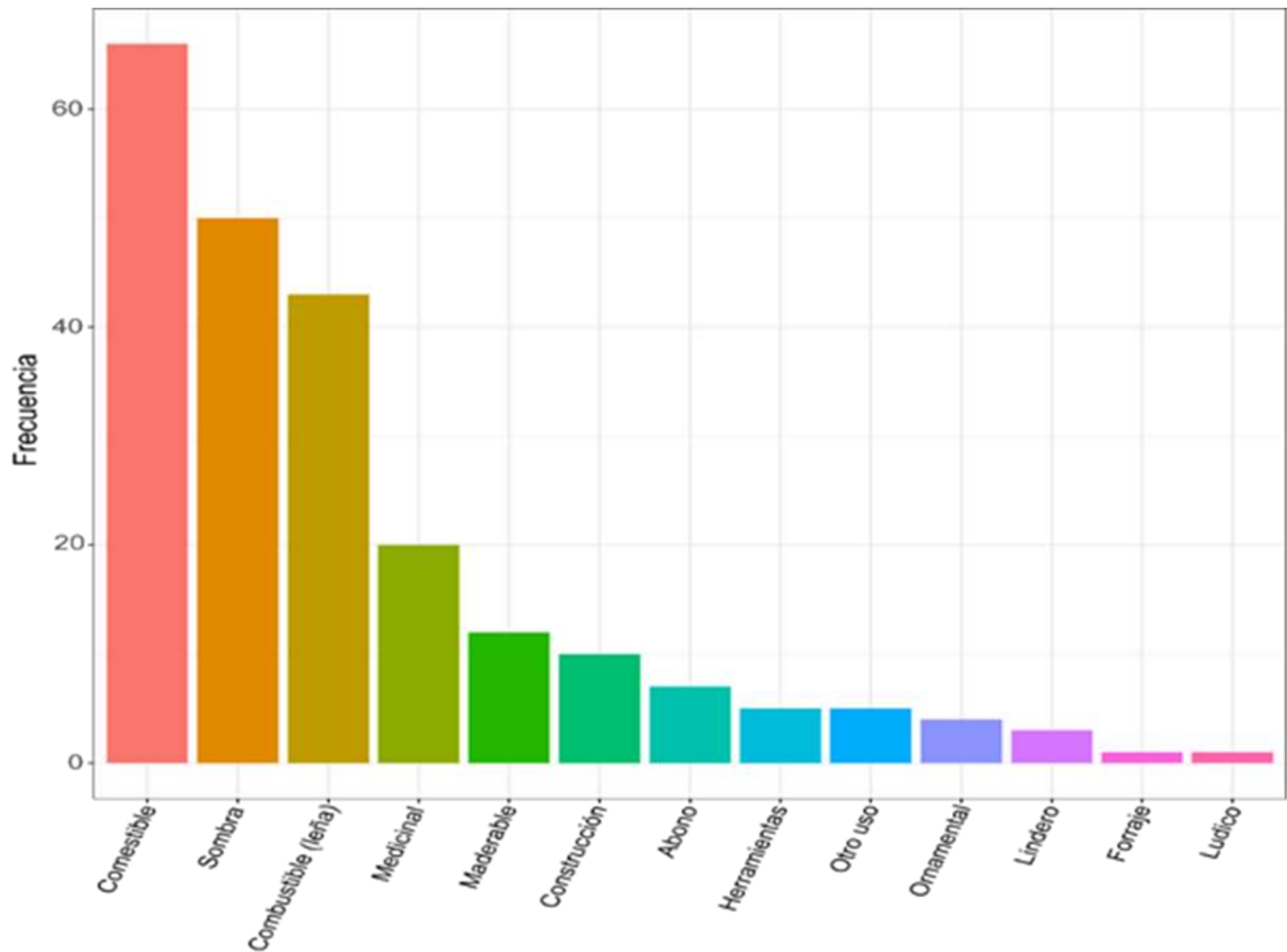


Figura 2. Usos de las especies recolectadas en ambos agroecosistemas por número de menciones en las comunidades. Fuente: tomado del Informe Final del Proyecto SG007: Estimación de costos y beneficios en dos agroecosistemas productivos tradicionales de la sierra de Zongolica, Veracruz.



El cultivo de café es desarrollado por comunidades indígenas 100% nahuas que poseen valores, creencias, saberes y prácticas culturales por más de 100 años, siendo de gran importancia recuperarlas y difundirlas.

Durante la última década con la reaparición de la roya del café (*Hemileia vastratrix*), las variedades criollas prácticamente han desaparecido, dando lugar a la introducción de nuevas variedades tolerantes a esta enfermedad, con las consecuencias y ventajas que ello conlleva como la pérdida de calidad del aromático. En este sentido, las variedades de café que predominan son Colombia, Costa Rica 95 y Sarchimor. Con densidades de 1,500 a 3,300 plantas por hectárea, y con una producción de 2.93 t/ha de café cereza, ligeramente por arriba de la media nacional que es de 2.32 t/ha, para el caso de estas variedades.

El agroecosistema es rentable en términos de flujo de efectivo más no así en términos económicos, esto se debe principalmente al uso de maquinaria y mano de obra que no se considera en los costos.

El costo promedio de producción de una hectárea de café es de ~61 mil pesos (enfoque económico). El costo promedio por kilogramo de café cereza producido es de ~14 pesos. En términos económicos el kilogramo de café cereza debería tener un precio de mercado local para que sea rentable, es de ~\$42, lo que representa más de cinco veces el precio que obtuvieron en el periodo de análisis.

La rentabilidad obtenida por el agroecosistema total (considerando autoconsumos) y por el café (en sus variantes de comercialización) presenta diferencias de entre ~ 0.12% y ~ 9% en los sistemas de tipo monocultivo semisombra y policultivo tradicional; mientras que en el sistema de tipo rusticano en transición existen pérdidas. Los costos operativos pueden representar del 57% (donde hay rentabilidad) al 163% (donde hay pérdida); en este rubro, la mano de obra contratada integra el ~ 50% y los costos de transformación el ~ 18%. El aprovechamiento de los activos fijos para la producción puede ir del 2% al 51%. El equilibrio en el uso de los factores de la producción, las decisiones de transformación y los precios de mercado determinan la rentabilidad, tanto del café como monocultivo, como del agroecosistema.

La milpa y sus hallazgos relevantes

En la sierra de Zongolica existen aproximadamente ~ 15,400 hectáreas de maíz cultivadas por cerca de ~12 mil productores. La superficie promedio de las parcelas es de ~ 0.52 ha, con un rendimiento promedio de maíz de 0.895 t/ha, que permiten cubrir las necesidades de alimentación tanto de la familia como de animales de traspatio por un periodo de entre 5.4 a 8.6 meses por año, dependiendo del tamaño de la familia. El agroecosistema milpa se cultiva en altitudes que van desde los 100 a los 2400



msnm, en él se implementan una variedad de prácticas de manejo, asociación con otras especies y elementos culturales relacionados con el uso de la tierra y la cultura alimentaria. La milpa se cultiva bajo un sistema de agricultura tradicional y con un arraigo en el uso del conocimiento indígena, además depende de la presencia de las lluvias por lo que es un cultivo de temporal. En la sierra de Zongolica se puede encontrar distintos tipos de milpa, en algunos casos sistemas tradicionales que utilizan muy pocos insumos, y en otros casos empiezan a transitar a modelos más intensivos (fertilizantes y herbicidas), pero todos siguen utilizando maíces criollos.

En estos agroecosistemas se asocian una diversidad de especies como los quelites, calabazas, frijol y haba dependiendo del gradiente altitudinal. En los sistemas más diversos se identificaron ~12 especies de plantas cultivadas, fomentadas o toleradas en la milpa y hasta 27 subproductos (maíz, elotes, esquilmos, hojas de tamal, calabaza, semilla de calabaza, flor de calabaza, frijol grano, ejotes, tubérculos, entre otros) (Figura 3). Por lo que en este sistema se desarrolla bajo una dinámica compleja de interacciones entre saberes, prácticas, valores y creencias.



Figura 3. Sistema milpa en la sierra de Zongolica. Fuente: tomado del Informe Final del Proyecto SG007: Estimación de costos y beneficios en dos agroecosistemas productivos tradicionales de la sierra de Zongolica, Veracruz. (Foto: Hilario García Martínez).



La totalidad de los productos y subproductos de la milpa se utilizan para el autoconsumo, pero, considerando a estos como un beneficio a precios de intercambio local, el producto principal puede representar el 48% de los ingresos totales, mientras que los subproductos representarían 52% en el sistema más diversificado. Siendo que estos productos asociados a la milpa representan un beneficio para la alimentación de las familias, el combate a la pobreza y la cultura alimentaria de la región.

En relación con los costos de producción, el costo de mano de obra en la milpa puede representar un ~ 58% de los costos totales, mientras que los insumos alcanzan un ~ 27% en promedio, principalmente fertilizantes y herbicidas en los casos que aplican. A medida que se utilizan más insumos externos para cultivar la milpa en la región, los sistemas se hacen menos rentables.

Debido a la migración, la mano de obra se ha convertido en un reto para los productores, pues incrementa sus costos de producción cuando en el hogar ya no hay quien realice estas actividades.

Los sistemas tradicionales con un grado de prácticas agroecológicas son rentables desde un enfoque de análisis de costos desembolsados y financieros, mientras que en el caso de sistemas que transitan hacia un enfoque más intensivo en el uso de insumos y bajo contextos de migración, no son rentables desde el punto de vista económico.

Al hablar de milpa se deben abordar los distintos valores asociados a ella: monetarios (ingresos, costos), biofísicos (rendimientos, prácticas de manejo, sistemas de producción), socioculturales (cultura alimentaria de la milpa), instrumentales (diversidad de productos que proporciona), intrínsecos (evolución de la agricultura), relacionales (prácticas y rituales).

Lecciones aprendidas de los hallazgos

La riqueza en la agrobiodiversidad de estos sistemas productivos depende de la riqueza en la cultura alimentaria de las comunidades; por ejemplo, entre más diversa es la alimentación de las familias, más diversa es su milpa o su cafetal. Es evidente aquí esa interdependencia entre el hombre y la naturaleza o lo que llamamos en la academia la bioculturalidad.

Más allá de la rentabilidad económica los campesinos siguen cultivando estos agroecosistemas porque le dan un valor de uso a los múltiples beneficios que obtienen. La valoración que hacen los productores va más allá de la mera valoración económica, es una valoración multidimensional que debe ser tomada en cuenta para determinar la importancia que tienen estos sistemas productivos.

En el caso del café, este no es rentable, pero la experiencia y relación del campesino con este agroecosistema permite que se aproveche este espacio y se generan otros beneficios ambientales como



la captación de agua, la conservación de especies, los polinizadores, sitios o espacios de aves migratorias.

En el caso de la milpa, los sistemas son altamente rentables para el país, pues utilizan pocos insumos, proporcionan alimentos y se conservan los recursos utilizando sistemas de conocimiento de hace más de 10 mil años, que les ha permitido permanecer ante distintas crisis de carácter económico o ambiental.

Sin embargo, el futuro de estos sistemas productivos no es responsabilidad exclusiva de las comunidades donde se cultivan, sino de toda la sociedad y el gobierno, con acciones que permitan valorar la importancia que tienen para el futuro de la alimentación, y segundo, con sistemas de soporte que ayuden a enfrentar los cambios radicales y amenazas externas que enfrentan estos sistemas. Por lo que el fomentar la permanencia de estos sistemas productivos (con sus prácticas tradicionales) como zonas de amortiguamiento para la conservación de la agrobiodiversidad es crucial como política pública.

Aprendizajes del trabajo en las comunidades

La población adulta resguarda un cúmulo de saberes locales en el manejo de la milpa y el café. El maíz está más interiorizado porque ya lleva más de 10 mil años de manejo y relación entre el productor y la milpa.

El campesino está consciente de la calidad de sus variedades de café, pero debido a los problemas de plagas y enfermedades se ve en la necesidad de modificar sus cafetales introduciendo variedades mejoradas de menor calidad sensorial.

Los jóvenes no se han involucrado lo suficiente o tienen un bajo interés en conservar estos conocimientos y diversidad de productos. Tiene que ver con el constante movimiento migratorio hacia otras ciudades o países.

La participación de las mujeres es fundamental porque posee conocimientos que históricamente han sido invisibilizados, pero en el trabajo de campo quedó demostrado que ellas se hacen cargo de la finca en ausencia del esposo y además dominan todos los temas relacionados con la finca, la alimentación y administración del hogar.



Conclusiones

La diversidad de especies y beneficios está directamente relacionada con el conocimiento tradicional que poseen las comunidades indígenas y las prácticas de manejo de los agroecosistemas presentes en sus comunidades (café o maíz), así como el conocimiento de las especies asociadas a estos agroecosistemas.

Estos agroecosistemas de café y maíz con un cierto grado de conservación, se establecen en bosques fragmentados principalmente, pero fenómenos como el cambio de uso de suelo, las vías de comunicación, acceso a nuevos productos y servicios y otros fenómenos asociados a la intensificación de los sistemas agrícolas han ocasionado que algunas especies que antes eran más abundantes ya no se encuentren presentes en ellos y la diversidad que se encuentra en estos sistemas vaya disminuyendo drásticamente.

En la diversidad encontrada es importante observar el número de productos que tienen un uso comestible, energético y medicinal, lo que indica que el cafetal más allá de ser un agroecosistema enfocado únicamente en la producción de granos de café sirve como un espacio familiar para generar estrategias de sobrevivencia, ante los escenarios tan complejos que ha vivido la agricultura en los últimos años.

Los resultados indican que la milpa es rentable desde un enfoque monetario, sin considerar el resto de los múltiples beneficios sociales, culturales y ambientales que genera. A diferencia del café, los productos de la milpa no se pueden sustituir fácilmente en el mercado, pues existen en ella valores intrínsecos relacionados con la dieta de las familias, prácticas de cultura alimentaria, entre otros aspectos que garantizan su permanencia en el largo plazo, aun con todas las limitantes a las que se enfrenta, principalmente de mano de obra.

El caso del café el escenario es distinto, pues en casi todos los casos los números son negativos, además que compite con el mercado internacional, y por tanto puede ser fácilmente sustituible, con todo y las consecuencias que ello puede generar para la biodiversidad de los espacios donde se cultiva este producto.

Desde su inicio en México, los sistemas de café bajo sombra han sido manejados por poblaciones indígenas y campesinas convirtiéndose en espacios de experimentación y diversificación (Moguel y Toledo, 1999). Se ha demostrado que los cafetales bajo sombra albergan una gran biodiversidad y son importantes proveedores de servicios ecosistémicos, tales como prevención de la erosión, conservación



de la fertilidad de los suelos, regulación del microclima y captura de carbono (Peeters *et al.*, 2003), los cuales se conocen como beneficios indirectos.

Agradecimientos

Un agradecimiento muy especial a los productores y productoras de las comunidades de Choapa, Coapapinopa y La Palma del municipio de Zongolica; Cruz Verde de Los Reyes; Acatitla de Astacinga; Amoltepec de Tehuipango; Xalxocotla de Tequila; y Tlaxcantitla del municipio de Atlahuilco; del estado de Veracruz: que sin pedir nada a cambio, compartieron sus saberes, experiencias y conocimientos sobre los agroecosistemas café y maíz, y que sin ellos la presente investigación no hubiese sido posible.

Este trabajo es una muestra de los resultados obtenidos de la implementación del proyecto “Estimación de costos y beneficios en dos agroecosistemas productivos tradicionales de la sierra de Zongolica, Veracruz”, realizado por el Instituto Tecnológico Superior de Zongolica con apoyo de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), bajo el financiamiento del Global Environment Facility (GEF) y la FAO como instancia implementadora. Fue coordinado por el Cuerpo Académico “ITESZO-CA-3 Perspectivas del Desarrollo Comunitario, del Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Literatura Citada

Arslan, A. and J. E. Taylor. 2009. Farmers’ subjective valuation of subsistence crops: The case of traditional Maize in Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 91(4), 956–972. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2009.01323.x>

Bellon, M. R., A. Mastretta-Yanes., A. Ponce-Mendoza., D. Ortiz-Santamaría., O. Oliveros-Galindo., H. Perales., F. Acevedo. and J. Sarukhán. 2019. Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1885). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1049>



Dasgupta, P. 2021. *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. Abridged version. London: HM Treasury.*

Gálvez-Hernández, Y., A. C. Elizondo-Salas., y J. Díaz-José. 2019. Conocimiento tradicional y usos de maíces nativos en tres comunidades de Zongolica, Veracruz. In SOMEFI (Ed.), *Reunión Nacional de Maíces Nativos* (p. 28). Acta Fitogenética.

Leyva-Trinidad, D. A., A. Pérez-Vázquez., I. Bezerra da Costa. and R. C. Formighieri Giordani. 2020. El papel de la milpa en la seguridad alimentaria y nutricional en hogares de Ocotlán Texizapan, Veracruz, México. *Polibotánica*, 0(50), 279–299. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.50.16>

López-Gómez, A. M., G. Williams-Linera. and R. H. Manson. 2008. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 124(3–4), 160–172. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.09.008>

Martínez-Canales, L. A. 2012. Cultura y economía para la sobrevivencia: procesos y relatos desde el etnoterritorio nahua de Tehuipango, en la Sierra de Zongolica, Veracruz. *Anales de Antropología*, 47(1), 73–108. [https://doi.org/10.1016/S0185-1225\(13\)71007-5](https://doi.org/10.1016/S0185-1225(13)71007-5)

Martínez, M. Á., V. Evangelista., F. Basurto., M. Mendoza. y A. Cruz-Rivas. 2007. Flora útil de los cafetales en la Sierra Norte de Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(1), 15–40. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2007.001.457>

Moguel, P. y M. Toledo, V. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Revista Ciencias UNAM*, 43 (julio-septiembre), 40–51. Retrieved from file:///C:/Users/DELL/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Moguel, Toledo - 1996 - El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad.pdf

Moguel, P., and M. Toledo V. 1999. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. *Conservation Biology*, 13(1), 11–21. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97153.x>



Peeters, L. Y. K., L. Soto-Pinto., H. Perales H., G. Montoya. and M. Ishiki. 2003. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 95(2–3), 481–493. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00204-9](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00204-9)

Quiahua-Itehua, L. 2019. *Los saberes campesinos en la agricultura tradicional de Astacinga, Veracruz*. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Sagarnaga-Villegas, L.M., J. M. Salas-González. y J. Aguilar-Ávila. 2018. *Metodología para estimar costos, ingresos y viabilidad financiera y económica en Unidades Representativas de Producción* (6th ed.). Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

Sánchez-Cotlame, E. (2019). *Estudios de los Saberes Campesinos del sistema milpa del municipio de Zongolica, Veracruz*. Instituto Tecnológico Superior de Zongolica.

Valencia, V., L. García-Barrios., P. West., E. J. Sterling. and S. Naeem. 2014. The role of coffee agroforestry in the conservation of tree diversity and community composition of native forests in a Biosphere Reserve. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 189, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.024>



PRÁCTICAS AGROECOLÓGICAS EN LA PRODUCCIÓN DE LIMA PERSA (*Citrus latifolia* T.) EN LA REGIÓN CENTRO DE VERACRUZ

Ángel Cárdenas Cágal⁴⁰⁷, Beatriz Gutiérrez Rivera⁴⁰⁸, Francisco Hernández Rosas^{407*}, José Andrés Herrera Corredor⁴⁰⁷,
Francisco Osorio Acosta⁴⁰⁹ y Josafhat Salinas Ruiz⁴⁰⁷

Resumen

La producción agroecológica de alimentos se ha consolidado como alternativa que fomenta prácticas agrícolas sustentables y respetuosas con el medio ambiente. El estado de Veracruz, liderado por el municipio de Martínez de la Torre, es el principal productor de lima persa a nivel nacional. No obstante, la región central ha experimentado un crecimiento significativo en la industria citrícola. En consonancia con esta tendencia, los productores han mostrado interés en reducir el uso métodos convencionales, y buscan adoptar alternativas agroecológicas para el desarrollo del cultivo. El objetivo de este estudio fue identificar prácticas de manejo agroecológico enfocadas a mejorar la producción de lima persa en la región centro de Veracruz. Se aplicó un cuestionario a 119 productores de los municipios de Cuitláhuac, Cotaxtla, Carrillo Puerto, Tlalixcoyan y Tierra Blanca. Los resultados revelan que el 41% de los productores adopta prácticas agroecológicas para la nutrición del cultivo de lima persa y el control de plagas y enfermedades, el 60% aplica métodos agroecológicos en el control de malezas. En el perfil de los productores predomina el género masculino (83%), con un rango de edad entre 31 y 60 años. La mayoría con estudios de preparatoria (45%). El 26% de los productores cuenta con asistencia técnica, y el 22% aplica un paquete tecnológico. El 75% de las huertas comprende entre 1 y 5 ha, el 48% están equipadas con riego de microaspersión. La edad de las plantaciones predomina entre 1 y 3 años, con densidad promedio de 363 árboles por ha. El portainjerto más utilizado es el naranjo agrio (51%). Las prácticas agroecológicas identificadas están influidas por el nivel educativo, la aplicación de un paquete tecnológico y la disponibilidad de asistencia técnica. Las razones para producir lima persa a través de métodos agroecológicos están relacionadas con la protección del ambiente y la salud humana.

⁴⁰⁷Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. * fhrosas@colpos.mx

⁴⁰⁸ TecNM Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca.

⁴⁰⁹ Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.



Palabras clave: sustentable, nutrición del cultivo, control de malezas, asistencia técnica

Introducción

México se ha convertido en uno de los principales productores de lima persa (*Citrus latifolia* T.) a nivel mundial genera un impacto económico significativo al contribuir de manera sustancial al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola y generar oportunidades de empleo en toda la cadena productiva. La exportación de lima persa desempeña un papel fundamental en la generación de ingresos en divisas para el país (SADER, 2022). Las condiciones climáticas favorables de México, junto con una industria citrícola bien establecida, han propiciado el desarrollo de este cultivo (GAIN, 2022; Vargas *et al.*, 2020). Los estados de Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Jalisco se destacan como los principales productores debido a sus características agroclimáticas. Específicamente, Veracruz, con su clima subtropical y suelo fértil, es el principal productor nacional de limón persa, siendo el municipio de Martínez de la Torre el mayor productor con 15579 ha (SADER, 2022). En la región central, los municipios de Cuitláhuac, Carrillo Puerto, Cotaxtla, Tlalixcoyan y Tierra Blanca también son destacados, y en los últimos años la superficie destinada al cultivo del limón ha experimentado un crecimiento considerable, que alcanza las 6,050 hectáreas en 2022 (SIAP, 2023). Es destacable mencionar que los municipios de Cotaxtla y Tlalixcoyan han experimentado un notable crecimiento en la región en los últimos 10 años (Castillo *et al.*, 2020; SIAP, 2023).

En general, los citricultores mexicanos emplean una combinación de prácticas de cultivo tradicionales y modernas para obtener rendimientos máximos y asegurar la calidad óptima del fruto. Entre estas, el uso de portainjertos mejorados contribuye a aumentar la productividad y mejorar la resistencia a enfermedades (Berdeja *et al.*, 2016; Curti *et al.*, 2012; Gaona *et al.*, 2021). La adopción de sistemas de riego presurizados y tecnologías para optimizar el uso del agua, promueve una gestión sostenible de este recurso en la producción de lima persa (Dorado *et al.*, 2015). Además, se están impulsando iniciativas que fomentan el uso responsable de productos agroquímicos y la conservación del suelo, lo que contribuye aún más a la implementación de prácticas sostenibles en la industria citrícola (Díaz *et al.*, 2021; Franco *et al.*, 2022).

La sustentabilidad juega un papel fundamental en la producción de limón persa en México, debido al propósito de abordar los desafíos ambientales y garantizar la viabilidad a largo plazo, por lo que los



agricultores están adoptando cada vez más prácticas agrícolas sustentables. Estas promueven estrategias de gestión integrada de plagas y métodos de agricultura ecológica para minimizar el impacto ambiental del cultivo de cítricos (Díaz *et al.*, 2021). La producción agroecológica de limón persa implica el uso de técnicas integradas que buscan preservar los recursos ambientales y la biodiversidad natural. Incluye prácticas como el uso de métodos preventivos contra enfermedades en lugar de pesticidas químicos, la rotación de cultivos para prevenir la erosión del suelo, el empleo de fertilizantes orgánicos y la conservación de la cubierta vegetal. Estas medidas reducen considerablemente el riesgo de contaminación de los suelos y las aguas subterráneas al evitar la acumulación de pesticidas y otras sustancias tóxicas. Además, al mantener la cubierta vegetal en los suelos, se contribuye a la conservación de la biodiversidad y se fomenta la salud del ecosistema agrícola (Franco *et al.*, 2022; Wezel *et al.*, 2020; Salgado *et al.*, 2016). Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue identificar prácticas de manejo agroecológico destinadas a mejorar la producción de lima persa en la región centro de Veracruz, al mismo tiempo que se buscó reconocer los factores que influyen en los productores para adoptar estas prácticas agroecológicas.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo durante los meses de enero 2022 a marzo 2023, en la región centro del estado de Veracruz, comprendiendo los municipios de Cuitláhuac, Cotaxtla, Carrillo Puerto, Tlalixcoyan y Tierra Blanca. Se ubicaron a 119 productores de esta región a través de la colaboración de una cooperativa citrícola ubicada en la comunidad de Joachín, municipio de Tierra Blanca. Se aplicó un cuestionario estructurado con 54 reactivos. El cuestionario fue validado en una primera etapa con 10 participantes; posteriormente, se aplicó al resto de los productores a través de visitas en campo. La estructura del cuestionario se enfocó en la obtención de datos demográficos de los productores, características generales de la huerta, prácticas agronómicas para el cultivo de lima persa y principales razones por las que se utilizan las prácticas agroecológicas en la producción de lima persa.

Se determinó el perfil de los productores considerando datos demográficos de género, edad, grado de estudios, ubicación de la huerta.

Las principales prácticas agronómicas aplicadas al cultivo de lima persa, se distinguieron a través de los siguientes planteamientos: aplica productos químicos para el control de plagas y enfermedades



(fungicidas e insecticidas), utiliza fertilización química (mezclas físicas de origen sintético), utiliza herbicidas para el control de maleza (productos químicos para el control de maleza), aplica alternativas agroecológicas para el control de maleza (cultivos de cobertura, cultivos intercaladas, chapeo manual), utiliza alternativas agroecológicas para la nutrición del cultivo (compostas, bocashi, lombricomposta, biofermentos), aplica métodos agroecológicos para el control de plagas y enfermedades (caldo de neem, caldo sulfocálcico, caldo de ceniza, jabón potásico).

Las respuestas se recolectaron mediante un cuestionario de 5 puntos de acuerdo con una escala de Likert, en el que se manejaron afirmaciones con dirección positiva y negativa, con 5 alternativas de respuesta (muy de acuerdo, de acuerdo, neutral, en desacuerdo y muy en desacuerdo).

Se realizó un análisis estadístico descriptivo, incluyendo frecuencias y proporciones. Para evaluar la relación entre aspectos sociodemográficos, utilización de paquete tecnológico, contar con asistencia técnica y respuestas asociadas a la aplicación de prácticas agroecológicas, se aplicó la prueba de Chi-cuadrada. El análisis y el manejo de los datos se realizó utilizando el software R 4.1.0 en el entorno de desarrollo integrado RStudio1.4.1717.

Resultados y Discusión

Perfil de los productores

El Cuadro 1, muestra a los productores de lima persa del área de estudio en términos de género, edad, nivel educativo y distribución por municipios.

Cuadro 1. Perfil general de los productores de lima persa de la región central del estado de Veracruz.

Género	%	Rango de edad	%	Nivel educativo	%	Municipio	%
Masculino	83	20-30 años	8	Educación básica	30	Cuitláhuac	11
Femenino	17	31-40 año	30	Preparatoria	45	Cotaxtla	23
		41-50 años	21	Universidad	21	Carrillo Puerto	6
		51-60 años	30	Sin estudios	4	Tlalixcoyan	32
		Mayores de 60 años	11			Tierra Blanca	28



Los datos revelan una predominancia masculina en esta actividad productiva, con mayor representación en los grupos de edad de 31 a 40 años y 51 a 60 años. La mayoría de los productores tienen al menos educación básica, con una proporción significativa que ha completado la preparatoria (45%). Los municipios de Tlaxicoyan y Tierra Blanca albergan la mayor parte de los productores en el estudio. Estos hallazgos coinciden con los informes presentados por (Franco *et al.*, 2022), quienes realizaron una caracterización de la producción de lima persa y mencionaron que las mujeres representan solo el 4% de los productores, también informaron que la edad promedio de los productores de limón persa es de 54 años, lo que coincide parcialmente con este estudio. Por otro lado, Oble *et al.* (2020) informaron que entre los citricultores prevalece la educación básica, aunque también hay productores con formación universitaria, y mencionaron que el nivel educativo del productor influye en la adopción de innovaciones en la producción citrícola.

Características generales de las huertas

En el cuadro 2 se presentan las características generales de las huertas en términos de superficie sembrada, edad de la plantación y densidad de siembra. Se observa que el 76% de las huertas tiene una superficie de 1 a 5 hectáreas, lo cual indica que la mayoría de las huertas corresponden a pequeños productores. Solo el 9% de las huertas supera las 10 hectáreas. Estos datos se comparan con los hallazgos reportados por López *et al.* (2019) en un estudio sobre la producción de limón persa en la región de Papaloapan, encontrando que los pequeños productores (menos de 4 hectáreas) representan el 44%, los productores medianos (de 4.1 a 9.9 hectáreas) representan el 36% y los productores grandes (10 hectáreas o más) representan el 20%.

En cuanto a la edad de las plantaciones relativa a este estudio, se observa que la mayoría (71%) tiene entre 1 y 3 años, lo que implica que son relativamente jóvenes. El 27% de las plantaciones se encuentran en etapas más maduras, con edades de 4 a 6 años. El cuadro 2 también muestra que la densidad de siembra varía entre las huertas de limón persa. Las densidades más comunes son de 208 árboles por hectárea (25%), 286 árboles por hectárea (28%) y 417 árboles por hectárea (20%). Solo un 5% de las huertas tiene una densidad de siembra de 625 árboles por hectárea. Estos números reflejan la cantidad de árboles plantados por unidad de superficie y destacan la variabilidad en la densidad de siembra entre las huertas de limón persa. Estas características coinciden con lo reportado por Castillo *et al.* (2020) en su estudio sobre la producción de limón persa en la región centro del estado de Veracruz, en el que mencionan densidades de plantación que oscilan entre 300 y 450 árboles por hectárea.



Cuadro 2. Características generales de las huertas (superficie sembrada del cultivo, edad de la plantación, la densidad de siembra).

Superficie sembrada		Edad de la plantación		Densidad de siembra	
Hectáreas	%	Años	%	Número de árboles	%
1-5	76	1-3	71	208	25
6-10	15	4-6	27	286	28
Más de 10	9	7-9	3	313	16
				333	6
				417	20
				625	5

En el Cuadro 3 se presentan las características generales de las huertas según el tipo de portainjerto utilizado, el sistema de riego empleado, la adopción de paquetes tecnológicos y la disponibilidad de asistencia técnica. Se puede observar que los portainjertos más utilizados en las huertas son el Naranja agrio (*C. aurantium* L) (61%), seguido por Volkammeriano (*C. volkameriana*, P.) (48%). Los portainjertos de limón carrizo (*Poncirus trifoliata* X *C. sinensis*), Macrophylla (*C. macrophylla* W) y Swingle (*C. paradisi* x *Poncirus trifoliata*), son menos comunes, lo que indica una diversidad en la elección de los portainjertos utilizados en las huertas de limón persa.

Cuadro 3. Características generales de las huertas (tipo de portainjerto utilizado, tipo de sistema de riego, utilización de paquete tecnológico y contar con asistencia técnica).

Tipo de portainjerto	%	Tipo de sistema de riego	%	Utilización de	%
Naranja agrio	61	Rodado	13	Paquete tecnológico	22
Volkammeriano	56	Goteo	30	Asistencia técnica	26
Limón carrizo	25	Microaspersión	48		
Macrophylla	25				
Swingle	10				

La selección de portainjertos es un aspecto de suma importancia en la actualidad, ya que de esta elección depende el éxito o fracaso de la plantación. Aunque no existe un patrón perfecto, es crucial considerar la compatibilidad entre el patrón y el injerto, su tolerancia o debilidad frente a enfermedades



regionales, su adaptación a condiciones adversas de suelo y clima, así como la productividad y calidad de la fruta. En la mayoría de las huertas, se utiliza el Naranja agrio (*C. aurantium*) como patrón de injerto. Aunque este patrón es susceptible al virus de la tristeza de los cítricos (VTC), muestra tolerancia a enfermedades como la exocortis, psoriasis y xyloporosis. Además, su comportamiento agronómico es excelente, siendo parcialmente resistente a la clorosis férrica, asfixia radical, salinidad, sequía y a los hongos *Phytophthora sp.* y *Armillaria mellea*. La lima persa injertada sobre este patrón presenta una adecuada productividad, aunque menor que en otros patrones, y ofrece una excelente calidad de fruta (Ambriz *et al.*, 2019; García *et al.*, 2021; Raddatz *et al.*, 2019). En esta zona también se prefiere el uso de plantas de lima persa injertadas sobre *C. volkameriana*. Este patrón se considera tolerante a la tristeza, exocortis y psoriasis. Desarrolla un sistema radical profundo, con dos o tres raíces principales, y muestra resistencia al encharcamiento. Es un patrón vigoroso, precoz y productivo en los primeros años. Se adapta bien a suelos alcalinos con un pH entre 7.0 y 8.0, aunque es susceptible a *Phytophthora sp.* y a la sequía. Las plantas de lima persa injertadas sobre este patrón presentan una excelente producción, similar a las injertadas en *C. macrophylla* (Ambriz *et al.*, 2019; García *et al.*, 2021; Raddatz *et al.*, 2019).

En cuanto al sistema de riego empleado se observa un enfoque predominante en el uso de la microaspersión (48%) como sistema de riego. También se muestra que el 22% de los casos utiliza paquetes tecnológicos, lo que indica la implementación de tecnologías y prácticas específicas para el cultivo del limón persa. Además, el 26% cuenta con asistencia técnica, lo que sugiere la presencia de profesionales o expertos brindando orientación y apoyo a los productores, lo que puede contribuir al desarrollo y mejoramiento de las prácticas de cultivo en el sector del limón persa.

Según un estudio sobre la competitividad del limón persa realizado por López-Hernández *et al.* (2019) se encontró que el 100% de los productores no aplica un paquete tecnológico, lo cual indica un bajo nivel de adopción de tecnologías y prácticas avanzadas en el cultivo, en contraste, indicaron que menos de la mitad de los productores (44%) cuenta con asistencia técnica, lo que puede estar relacionado con un potencial productivo limitado en el cultivo.

Principales prácticas agronómicas que se utilizan en el cultivo de lima persa

En el Cuadro 4 se presentan las principales prácticas agronómicas identificadas entre los productores de la región centro del estado de Veracruz. La mayoría de los productores (66%) dependen de métodos convencionales para la fertilización del cultivo y el control de plagas y enfermedades. Además, el 44% de los productores utiliza herbicidas para el control de maleza, mientras que el 60% opta por



alternativas agroecológicas para dicho control. Esta diferencia en las prácticas utilizadas indica una preferencia por los métodos agroecológicos en lugar de los herbicidas químicos, lo cual puede estar influido por el costo de los productos químicos o por regulaciones gubernamentales impuestas (CEDRSSA, 2020).

Es importante destacar que el 41% de los productores utiliza alternativas agroecológicas tanto para la nutrición del cultivo de lima persa como para el control de plagas y enfermedades. Esta tendencia muestra un enfoque considerable en la búsqueda de opciones más sustentables y respetuosas con el medio ambiente para el desarrollo de los cultivos, evitando el uso excesivo de productos químicos. Cabe destacar que, en la región de estudio, muchos productores participan en el programa gubernamental "Sembrando Vida", que promueve las prácticas agrológicas como una alternativa tecnológica que puede contribuir a lograr la sostenibilidad ambiental, así también dentro de las normas de operación plantea la creación de biofábricas para formular biofermentos, biopreparados, caldos minerales y otros productos agroecológicos que se utilizan para promover la agricultura orgánica (CEDRSSA, 2020; DOF, 2022).

En general, los datos revelan una combinación de prácticas agronómicas convencionales y agroecológicas en el cultivo de lima persa en la región centro del estado de Veracruz. Aunque la mayoría de los productores todavía dependen de productos químicos y fertilización química, un porcentaje significativo está adoptando alternativas agroecológicas para el control de maleza, la nutrición del cultivo y el control de plagas y enfermedades. Esto refleja una tendencia hacia prácticas más sustentables y respetuosas con el medio ambiente en el sector de la producción de lima persa.

Cuadro 4. Principales prácticas agronómicas identificadas entre los productores de la región centro del estado de Veracruz.

Principales prácticas agronómicas identificadas	Porcentaje (%)
Aplica productos químicos para el control de plagas y enfermedades	66
Utiliza fertilización química	66
Utiliza herbicidas para el control de maleza	44
Aplica alternativas agroecológicas para el control de maleza	60
Utiliza alternativas agroecológicas para la nutrición del cultivo	41
Aplica métodos agroecológicos para el control de plagas y enfermedades	41

Fuente: elaboración propia a partir de los datos recopilados durante el presente estudio.



El Cuadro 5 muestra los valores p obtenidos de la prueba de chi-cuadrada de Pearson entre las prácticas agronómicas en el cultivo de lima persa y el perfil de los productores en términos de género, edad, grado de estudios, aplicación de paquete tecnológico y servicio de asistencia técnica. Los valores p indican la significancia estadística de la asociación entre cada práctica agronómica y cada variable del perfil de los productores.

Cuadro 5. Valores p para la prueba de chi-cuadrada de Pearson entre las prácticas para el cultivo de lima persa y el perfil de los productores (Género, edad, grado de estudios, aplicación de paquete tecnológico y contar con asistencia técnica).

Prácticas agronómicas en el cultivo de lima persa	Género	Edad	Grado de estudios	Aplica paquete tecnológico	Cuenta con Asistencia técnica
Aplica productos químicos para el control de plagas y enfermedades	0.0944	0.3333	0.0041*	0.1948	0.0713
Utiliza fertilización química	0.2487	0.6332	5.66 E-07*	0.0015*	0.0017*
Utiliza herbicidas para el control de maleza	0.1724	0.5568	0.1638	0.2006	0.1996
Aplica alternativas agroecológicas para el control de maleza	0.2241	0.5171	0.0042*	0.0016*	2.05 E-05*
Utiliza alternativas agroecológicas para la nutrición del cultivo	0.2311	0.9042	0.0073*	0.0065*	6.25 E-05*
Aplica métodos agroecológicos para el control de plagas y enfermedades	0.4653	0.1998	0.0149*	0.0171*	0.1927

*Valores que indican probabilidades significativas (<0.05).

Los valores p inferiores a 0.05 indican una asociación significativa, lo que implica que hay una relación estadísticamente significativa entre las prácticas agronómicas y las características del perfil de los productores. Para el caso de utilizar prácticas agroecológicas para la nutrición del cultivo, se observa que hay una asociación significativa con el grado de estudios ($p = 0.0073$) y una asociación marcada con la asistencia técnica ($p = 6.25 \text{ E-}05$). Esto indica que el nivel de estudios y la asistencia técnica pueden influir en la elección de utilizar alternativas agroecológicas para la fertilización del cultivo de lima persa. Del mismo modo, se pueden interpretar los valores p para las otras prácticas agronómicas y



variables del perfil de los productores. Los valores significativos indican que es probable que exista una relación entre las prácticas agronómicas y las características de los productores. Los valores p del cuadro proporcionan información sobre la relación estadística entre las prácticas agronómicas y el perfil de los productores en el cultivo de lima persa. Estos resultados pueden ser útiles para comprender mejor qué factores influyen en la adopción de prácticas agronómicas específicas y para establecer estrategias de capacitación y asistencia técnica en el sector. Según Oble *et al.* (2020), la adopción de innovaciones en la producción cítrica está influenciada por características del perfil del productor, como su nivel educativo y la capacitación recibida, por otro lado, Escamilla *et al.* (2019) sugiere que existe una posible relación entre el perfil del productor y la adopción de innovaciones en la producción cítrica, aunque esta asociación podría estar más relacionada con el nivel de ingresos del productor que con su nivel educativo.

Principales razones por las que se utilizan las prácticas agroecológicas en la producción de lima persa
El Cuadro 6 muestra los valores p obtenidos de la prueba de chi-cuadrada de Pearson, analizando la asociación entre las prácticas para el cultivo de lima persa y el perfil de los productores en términos de género, edad, grado de estudios, aplicación de paquete tecnológico y contar con asistencia técnica.

Cuadro 6. Valores p para la prueba de chi-cuadrada de Pearson entre las razones para utilizar prácticas agroecológicas en el cultivo de lima persa y el perfil de los productores (Género, edad, grado de estudios, aplicación de paquete tecnológico y contar con asistencia técnica).

	Género	Edad	Grado de estudios	Aplica paquete tecnológico	Cuenta con Asistencia técnica	Realiza prácticas agroecológicas
Proteger al ambiente	0.6308	0.0072*	0.0056*	0.0449	0.05871	0.0356*
Mejorar el suelo	0.9779	0.1601	0.0064*	0.02549	0.1914	0.1798
Proteger la salud	0.7669	0.2442	0.01023*	0.0013*	0.0806	0.00162*
Producir frutos de calidad	0.6175	0.5766	0.3046	0.3092	0.1633	0.8321
Mejores precios	0.4576	0.2808	0.04919*	0.4635	0.04796*	0.9378
Menores costos de producción	0.3631	0.08578	0.0309*	0.5183	0.4382	0.3282
Porque están caros los fertilizantes químicos	0.192	0.1098	4.75 E-06*	0.00054*	0.006502*	0.05336

*Valores que indican probabilidades significativas (<0.05).



Se observa asociaciones significativas entre la práctica de proteger al ambiente y la edad ($p = 0.0072$), el grado de estudios ($p = 0.0056$) y la aplicación de paquete tecnológico ($p = 0.0449$). Esto indica que estos factores están relacionados con la tendencia de los productores a proteger el ambiente en el cultivo de lima persa. De manera similar, se encuentran asociaciones significativas entre otras prácticas agrícolas y variables del perfil de los productores, como proteger la salud y el grado de estudios ($p = 0.01023$), mejorar el suelo y el grado de estudios ($p = 0.0064$), y mejores precios y la aplicación de paquete tecnológico ($p = 0.04919$). Estos resultados son fundamentales para una mejor comprensión de las relaciones entre estas variables y, además, pueden ser aprovechados para desarrollar estrategias efectivas de capacitación y asistencia técnica a los productores de lima persa.

Conclusiones

Los resultados de este estudio indican que en la región centro del estado de Veracruz, el 41% de los productores de lima persa emplea alternativas agroecológicas para el control de plagas y enfermedades, así como para la nutrición del cultivo. Además, el 60% de los productores utiliza métodos agroecológicos para el control de maleza. Estos hallazgos están asociados con una mayor preocupación por la protección del medio ambiente y la salud humana.

El nivel de educación de los productores está relacionado con la adopción de prácticas agroecológicas en el cultivo de lima persa, especialmente en lo que respecta al control de maleza, la nutrición del cultivo y el manejo de plagas y enfermedades.

Adicionalmente, entre los productores que aplican un paquete tecnológico y reciben asistencia técnica, existe una inclinación hacia el uso de prácticas agroecológicas para el control de plagas y enfermedades, así como para la fertilización del cultivo.

Agradecimientos

Los autores manifestamos nuestro agradecimiento a la empresa Fruténtica, especialmente al Ing. Elías Salomón Meza por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo. Al Colegio de Posgraduados



Campus Córdoba por el financiamiento a este proyecto. Al CONACHYT, por la beca otorgada para estudios de posgrado.

Literatura Citada

- Ambriz, C.R., R. Ariza F., M.E. Ovando C., y I. Alía T. 2019. Importancia del uso de portainjertos en la producción de cítricos. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Zacatepec, Mor., Méx, Folleto Núm. 73. 11 p.
- Berdeja, A. R., L. Aguilar M., D. Moreno V., G. Vázquez H., y R. Ontiveros C. 2016. Calidad de fruta de lima persa en diferentes portainjertos en Ver., Méx. *Acta Agric. Pec.* 2(1), 17–22.
- Castillo, M. S. I., A.P. Solano V., Y. X. Pacheco, R. Limón R., y J. Díaz J. 2020. Comportamiento de la producción de limón persa en la región centro del Estado de Veracruz. *Journal CIM*, 8(1), 213–220.
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2020. La orientación agroecológica de los programas de producción para el bienestar y sembrando vida. <http://www.cedrssa.gob.mx/> [consultado el 12 de julio de 2023].
- Curti, D. S. A., C. Hernández G., y R.X. Loredo S. 2012. Productividad de limón persa injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Serie Horticultura*, 18(3), 291–305.
- Díaz, R. P., O.J. Fernández M., F. Guillén V., R. Mendoza D., F.J. Rivera D., y J.C. Rivera S. 2021. Programa para elevar la sostenibilidad de la cadena de valor citrícola del estado de Veracruz. SADER. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/683370/Elevar_la_sostenibilidad_cadena_valor_C_tricos_Veracruz_2020_compressed.pdf [consultado el 13 de abril de 2023].



DOF (Diario Oficial de la Federación). 2022. Reglas de operación del Programa Sembrando Vida, para el 2023. SEGOB. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5676230&fecha=30/12/2022#gsc.tab=0 [consultado el 12 de julio de 2023].

Dorado, G. D., L.C. G., y L. Ríos R. 2015. Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). Corpoica. Cienc. Tecnol. Agropecu. 16(1), 87–93.

Escamilla, F. M., A.V. Ayala G., A. Flores T., E. Oble V., y G. Almaguer V. 2019. Factors that influence the adoption of innovations by orange producers in Álamo, Veracruz. Argic. Soc. Desarro. 16, 183–198.

Franco, V. A. M., I. Caamal C., V.G. Pat F., y J.J. Ramírez H. 2022. Sustentabilidad del sistema de producción de limón persa en Martínez de la Torre. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 19(2), 1–16.

GAIN (*Global Agricultural Information Network*). 2022. Citrus Annual. (USDA) https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Citrus%20Annual_Monterrey%20ATO_Mexico_MX2022-0065.pdf [consultado el 29 de junio de 2023].

Gaona, P. M., G. Almaguer V., A.F. Barrientos P., y A.M. Borja D. L. R. 2021. Efecto del interinjerto en el crecimiento inicial de Lima Persa ‘Tahiti’ (*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez). *Serie Agricultura Tropical*, 1(1), 37–49.

García, M. M. C., J.C. Henao R., J.M. Moreno R., B.L. Botina A., and Y. Romero B. 2021. Effect of rootstock and environmental factors on fruit quality of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) grown in tropical regions. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103(1):104081.



- López, H. W. A., L.E. Garza B., B. Cruz G., y R. Nieto-A. 2019. Competitividad del limón persa en la región del Papaloapan, Oaxaca. *REMEXCA*, 10(4), 921–934.
- Oble, V. E., R.L. González A., y G. Almaguer V. 2020. Determinantes de la adopción de innovaciones entre productores cítricos de Veracruz, con extensionismo educacional. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 20(40), 43–69.
- Raddatz, M. D., O. Franco M., J.A. Mendoza E., L.L. Rodríguez V., F. Díaz de León S., and F. Rivera-C. 2019. Effect of different rootstocks on Persian lime (*Citrus latifolia* T.) postharvest quality. *Scientia Horticulturae* 257: 108716.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural) 2022. *Atlas Agroalimentario 2022*. Publicaciones SIAP. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2022 [consultado el 25 de mayo de 2023].
- Salgado, G. S., D. J. Palma L., J. Zavala C., S. Córdova S., M. Castelán E., L. del C. Lagunes E., *et al.* 2016. Programa de fertilización sustentable para plantaciones de cítricos en Tabasco, México. *Ecosist. Recur. Agropec.* 3(9), 345–356.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [consultado el 7 de julio de 2023].
- Vargas, C. J. M., D.L. Guido L., B. Rodríguez H., T.I. Bustamante L., J.H. Camacho V., y S. Orozco C. 2020. Evolution of the specialization and competitiveness of lemon production in Mexico. *REMEXCA*, 11(5), 1043–1056.
- Wezel, A., B. Herren, G., R. Kerr, B., E. Barrios, A. L. Gonçalves, R., and F. Sinclair. 2020. Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. In *Agron. Sustain. Dev* 40 (40).



CRÉDITOS EDITORIALES

Coordinación general

Dr. Rubén Santos Echeverría

Dr. Sergio Uribe Gómez

Autores

María Enriqueta López Vázquez

Oscar Hugo Tosquy Valle

Naín Peralta Antonio

Rosa Laura Rebolledo García

Ángel Capetillo Burela

Formación y diseño

Claudia Perdomo Montes

Irma Ceja Romero

Comité de edición

Aixel Maya Martínez

Ángel Capetillo Burela

Bertha Patricia Zamora Morales

Edgar Couttolenc Brenis

Elizabeth León García

Francisco Javier Ibarra Pérez

Jaime Rangel Quintos

Javier Francisco Enriquez Quiroz

Juan Carlos Tamarit Urias

Juan Prisciliano Zarate Martínez

Juan Quintanar Olguín

Ma. Enriqueta López Vázquez

Marisela Cristina Zamora Martínez

Mónica Yazmin Herrera Sotero

Naín Peralta Antonio

Noé Becerra Leor

Oscar Hugo Tosquy Valle

Pablo Andrés Meza

Ricardo Santillán Mendoza

Rosa Laura Rebolledo García

Valentín Esqueda Esquivel

Verónica Lango

Comité técnico evaluador

Alberto Asiain Hoyos

Alejandra Soto Estrada

Alejandra Vélez Izquierdo

Alejandro Quirino Villarreal

Alma Ayala Garay

Álvaro Enrique Peniche Cardeña

Andrés Flores García

Andrés Meza Pablo

Andrés Rebolledo Martínez

Andrés Vásquez Hernández

Ángel Capetillo Burela

Arturo Duran Prado

Arturo García Saldaña

Arturo Pérez Vázquez

Benigno Rodríguez Padrón

Bertha Patricia Zamora Morales

Carlos Alberto Tinoco Alfaro

Carlos Iván Pérez Rostro

Carmen Aridai Hernández Estrada

Carolina Arellano Hernández

Catalino Jorge López Collado,

Ivette Rubio Gutiérrez

Jacel Adame García

Jaime Rangel Quintos

Jasiel Valdivia Sánchez

Javier Francisco Enriquez Quiroz

Jericó Jabín Bello Bello

Jesús Alerto Ramos Juárez

Jesús Atenodoro Alonso

Jesús Jarillo Rodríguez

Jesús Montoya Mendoza

Jesús Soria Ruiz

Joel Velasco Velasco

Jonathan Hernández Ramos

Jorge Eduardo Vieyra Durán

Jorge Gustavo Rodríguez Escobar

Josafhat Salinas Ruíz

José Alfredo Villagómez Cortés

José Amador Honorato Salazar

José Antonio Torres Rivera

José Leonardo Sánchez Tafolla

José Luis del Rosario Arellano

Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez

Noé Aguilar Rivera

Noel Reyes Pérez

Noemí Nava Valente

Núñez Márquez Gabriel

Olga Santiago Trinidad

Olivia Márquez Fernández

Oscar Arath Grageda Cabrera

Pablo Andrés Meza

Pablo Díaz Rivera

Pablo Hernández Cuacua

Patricia Devezé Murillo

Paula Zúñiga Ruiz

Rafael Alberto Guajardo Panes

Raúl Enrique Lara Mendoza

Régulo Carlos Llarena Hernández

Reyna Bibiana Colorado Terrazas

Ricardo Hernández Martínez

Ricardo Santillan Mendoza

Ricardo Serna Lagunes

Rigoberto Zetina Lezama



CRÉDITOS EDITORIALES

Comité técnico evaluador

Cecilia Reyes Loyola	José Luis Jolalpa Barrera	Roberto Omar Castañeda Arriola
Christian Arturo Hernández Hernández	José Luis Spinoso Castillo	Rocío de Guadalupe Bernal Ramírez
Claudia Araceli Dávila Camacho	José Roberto Bautista Aguilar	Rogelio Miranda Marini
Claudia Selene León Navarro	José Vidal Cob Uicab	Rolando Ávila Ayala
Cynthia Guadalupe Rodríguez Quibrera	Juan Antonio López López	Rolando Misael Tlaxcala Méndez
Dalia Guadalupe Mendoza López	Juan Carlos Camacho Chab	Rosa Amelia Pedraza Pérez
Daniel Arturo Rodríguez Lagunes	Juan Carlos Tamarit Urias	Rosa Elena Zamudio Alemán
Daniel Simón Olivo Alanís	Juan David Garay Marín	Rosa Laura Rebolledo García
David Reynier Valdés	Juan Díaz Vela	Rosalía Núñez Pastrana
Diana Uresti Duran	Juan Lorenzo Reta Mendiola	Rosalío López Morgado
Diego Esteban Platas Rosado	Juan Prisciliano Zárata Martínez	Rosario Ramírez Santiago
Dinora Marina León Gutiérrez	Juan Valente Megchun García	Sabel Barrón Freyre
Doris Guadalupe Castillo Rocha	Julián Tapia Herrera	Said Cadena Villegas
Dulce María Murrieta Hernández	Julio Cesar Vinay Vadillo	Salvador Partida Sedas
Edgar Couttolenc Brenis	Liliana Lara Capistrán	Saúl Castañeda Díaz
Edgar Hernández Máximo	Luis Antonio López Escobar	Sergio Alberto Curti Díaz
Eduardo Daniel Bolaños Aguilar	Luis Ubaldo Castruita Esparza	Sergio Cházaro Olvera
Eduardo Hernández Aguilar	Luisa Patricia Uranga Valencia	Solmaría Mandi Pérez Guzmán
Eliseo García Pérez	Manuel Barrientos Morales	Susana Isabel Castillo Martínez
Enrique Buendía Rodríguez	Marco Antonio Reynolds Chávez	Valentín A. Esqueda Esquivel
Erickson Basave Villalobos	Marco Antonio Toral Juárez	Venancio Cuevas Reyes
Erika Andrea Hernández	Marcos Ventura Vázquez Hernández	Verónica Lango Reynoso
Erika Belem Castillo Linares	María de Jesús Martínez Hernández	Vianey de Rocío Torres Pelayo
Eucario Mancilla Álvarez	María de la Luz Merino Contreras	Víctor Hugo Díaz Fuentes
Eugenio Rangel León	María de Lourdes Jiménez Badillo	Yajaira Baeza Guzmán
Evarista Bautista Mora	María del Carmen Álvarez Ávila	
Fabiola Lango Reynoso	María del Carmen Núñez Camargo	
Felipe Montiel Palacios	María del Carmen Pablo Mendoza	
Flora Apolinar Hidalgo	María del Refugio Castañeda Chávez	
Francisco Hernández Rosas	María Elena Galindo Tovar	
Francisco Indalecio Juárez Lagunes	María Enriqueta López Vázquez	
Francisco Javier Ibarra Pérez	Maribel Montero Lagunes	
Francisco Javier Ugalde Acosta	Mario Garduño Lugo	
Gabycarmen Navarrete Rodríguez	Mario Orozco Santos	
Griselda Chávez Aguilar	Martha Patricia Hernández Vergara	
Horacio Álvarez Gallardo	Martín Espinosa Ramírez	
Horacio Dávila Ramos	Marycruz Abato Zárata	
Humberto Mata Alejandro	Maurilio Mendoza Mexicano	
Irving David Pérez Landa	Mauro Sierra Macías	
Isaac Meneses Márquez	Melchor Rodríguez Acosta	
Isabel Alemán Chávez	Mercedes Borja Bravo	
Isabel Araceli Amaro Espejo	Miguel Ángel Díaz Arredondo	
Isidro Fernández González	Nain Peralta Antonio	
Itzel Galaviz Villa	Nataren Velázquez Jeremías	