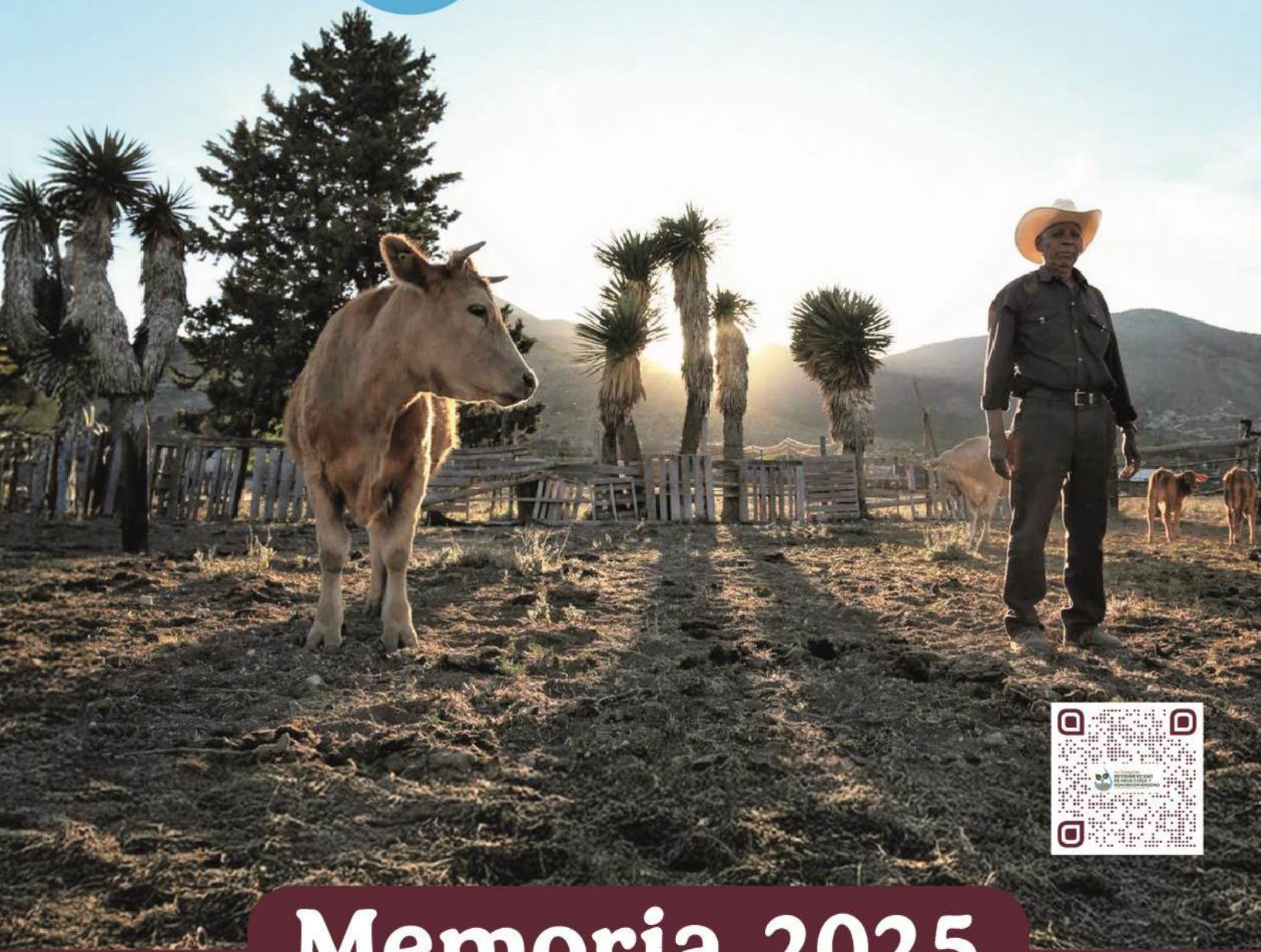




Congreso INTERAMERICANO DE AGUA SUELO Y AGROBIODIVERSIDAD



Memoria 2025

Compiladores:

Ramón Trucíos Caciano, Yenifer Moreno Sepúlveda y Minerva Ramirez Carrillo

ISSN
2992-8168



Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Innovación, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria



Colegio de
Postgraduados



CIMMYT



HICA



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

4o. Congreso Interamericano de Agua, Suelo y Agrobiodiversidad

MEMORIA

Compiladores

Ramón Trucíos Caciano

Yenifer Moreno Sepúlveda

Minerva Ramirez Carrillo

Editores

Ramón Trucíos Caciano

Yenifer Moreno Sepúlveda

Nuria Aide López Hernández

Gerardo Delgado Ramírez

Eva Aurora Bautista Calderón

Cristo Omar Puente Valenzuela

Ciudad de México, México, 11 al 13 de agosto de 2025



El contenido de los resúmenes incluidos en esta memoria aparece tal y como fueron enviados por sus autores, salvo algunas correcciones de formato para hacerlos coincidir con las indicaciones de la convocatoria y las necesidades de impresión.



Presentación

El Congreso Interamericano de Agua, Suelo y Agrobiodiversidad fomenta el intercambio de conocimientos, experiencias y saberes, para su uso y conservación, además de fortalecer la interacción entre instituciones públicas, productores, sector privado, instituciones educativas y sociedad civil, todos ellos actores estratégicos de las cadenas agroalimentarias. Lo anterior, con el propósito de impulsar el bienestar y lograr la seguridad alimentaria, de una población creciente, así como para atender los desafíos de nuestro tiempo.

Este Congreso incluye en su programa Conferencias Magistrales alineadas con la temática central del evento; seminarios especializados que abordan asuntos actuales vinculados al manejo del agua, la salud del suelo, los recursos forestales y la agrobiodiversidad en el contexto Interamericano, así como la agricultura del futuro y estrategias para adaptarse al cambio climático. Además, en los conversatorios, se reúne a productores, técnicos, agentes de cambio y responsables de políticas públicas. A ello se suma la publicación de artículos *"in extenso"*, con aporte técnico-científico los cuales integran esta Memoria como testimonio del conocimiento compartido.

La participación articulada de especialistas y actores involucrados en cada una de estas áreas contribuye al desarrollo de soluciones científicas y tecnológicas que fortalecen la seguridad agroalimentaria, promueven la resiliencia de los sistemas agro-alimentarios y favorecen la conservación de los recursos naturales en el ámbito continental.

Dr. Miguel Jorge García Winder
Dirección General del INIFAP



Comité Organizador Nacional

Dr. Julio Berdegué Sacristán

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez

Secretaria de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación de México

Dra. Alicia Isabel Adriana Bárcena Ibarra

Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Dr. Miguel Jorge García Winder

Director General del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Dr. Mauricio Iván Andrade Luna

Director General Interino del Colegio de Postgraduados

Dr. Angel Garduño García

Rector de la Universidad Autónoma Chapingo

Dr. Bram Govaerts

Director General del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

Dr. Jaime Diego Montenegro Ernst

Representante en México y Coordinador Regional del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Mtra. Lina Pohl Alfaro

Representante de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en México

Coordinación de las conferencias magistrales, seminarios y conversatorios

Dr. Ramón Trucíos Caciaño

Dr. Víctor M. Rodríguez Moreno

Dra. Aixchel Maya Martínez

Mtra. Natalia Odette Gutiérrez Muñoz

Dr. Rogelio Flores Velazquez

Ing. Elba Rojas Díaz

Dr. José Antonio Cueto Wong

Dra. Natalia Belén Ortega Morales

Dr. Martín Espinosa Ramírez

Dra. Alma Velia Ayala Garay

Dr. Juan Estrada Ávalos

M.A.P. Patricia Medina Álvarez

M.G.P. Isabel de Jesús Urbán Hernández

Coordinación de divulgación y comunicación

Mtra. Sindy Laura Campero Vega

Lic. Lucy Liliana Palacios Castellanos

Lic. Mariana Narendra García Colín

Lic. Diana Alicia González Armenta

Página web y plataforma virtual

LSC. José Manuel Rivera Perusquia

Ing. Héctor Juerguen Ibarra Díaz

Ing. Humberto Velasco Pavia

Ing. Héctor Benitez Guerrero

Operación y logística

M.A.P. Patricia Medina Álvarez

M.G.P. Isabel de Jesús Urbán Hernández

Ing. Ana Karen Álvarez Martínez

Lic. Minerva Ramírez Carrillo

Comité científico – técnico

Dr. Ramón Trucíos Caciono
Dr. Víctor M. Rodríguez Moreno
Dra. Aixchel Maya Martínez
Mtra. Natalia Odette Gutiérrez Muñoz
Dr. Rogelio Flores Velazquez
Ing. Elba Rojas Díaz
Dr. José Antonio Cueto Wong
Dra. Natalia Belén Ortega Morales
Dr. Martín Espinosa Ramírez
Dr. Juan Estrada Ávalos
Dra. Alma Velia Ayala Garay
Dra. Claudia Hidalgo Moreno

Coordinadores de revisores científicos

Dr. Ramón Trucíos Caciono
Dr. Martín Espinosa Ramírez
Dra. Aixchel Maya Martínez
Dr. Rogelio Flores Velázquez
Mtra. Natalia Odette Gutiérrez Muñoz



Revisores científicos

Abieser Vázquez-González
Adán Hernández-Hernández
Adriana Mellado-Vázquez
Aixchel Maya-Martínez
Alfonso Serna-Pérez
Alma Liz Vargas-De La Mora
Andrés Flores-García
Antonio Villalobos-González
Aracely Mena-Echevarría
Arian Correa-Díaz
Arturo Reyes-González
Bertha Sofía Larqué-Saavedra
Blanca Estela Santiago-Mejía
Blanca Isabel Sánchez-Toledano
Brenda Zulema Guerrero-Aguilar
Carlos Antonio Franco-Cáceres
Carlos Ariel Cabada-Tavares
Celi Gloria Calixto-Valencia
César Del Ángel Hernández-Galeno
Claudia Tania Lomas-Barrié
Cristian Matilde-Hernández
Cristo Omar Puente-Valenzuela
Dagoberto Flores-Marín
Donaji Sierra-Zurita
Edgar Couttolenc-Brenis
Efraín Velasco-Bautista
Elizabeth León-García
Erika Nava-Reyna
Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez
Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez
Eutiquio Barrientos-Juárez

Eva Ávila-Casillas
Felipe Santamaría-Basulto
Fernando Arellano-Martín
Fernando Bahena-Juárez
Gabriela Ramírez-Ojeda
Genaro Pérez-Jiménez
Gerardo Delgado-Ramírez
Gerardo García-Nevárez
Hermes Pérez-Hernández
Isaac Meneses-Márquez
Ismael Méndez-López
Javier Francisco Enríquez-Quiroz
Jerónimo Sepúlveda-Vázquez
Jhibran Ferral-Piña
Jonathan Hernández-Ramos
Jorge Alberto Acosta-Gallegos
Josafath Omar Hernández-Vélez
José Carlos Monárrez-González
José Luis Arellano-Vázquez
José Luis González-Barrios
José Luis Pons-Hernández
José Rafael Contreras-Hinojosa
José Vidal Cob-Uicab
Juan Estrada-Ávalos
Juan José Figueroa-González
Juan Manuel Covarrubias-Ramírez
Juan Manuel Hernández-Casillas
Juan Manuel Pichardo-González
Juan Patishtan-Pérez
Julio César García-Rodríguez
Leobardo Iracheta-Donjuan

Liliana Aguilar-Marcelino
Liliana Saucedo-Picazo
Lizette Cícero-Jurado
Luis Enrique Fregoso-Tirado
Macotulio Soto-Hernández
Magali Ruiz-Rivas
María Alejandra Mora-Avilés
María Alma Rangel-Fajardo
María Enriqueta López-Vázquez
Marisela Cristina Zamora-Martínez
Martín Aquino-Ramírez
Martín Espinosa-Ramírez
Matilde Cortázar-Ríos
Moisés René García-Holguín
Mónica Guadalupe Lozano-Contreras
Nadia Carolina García-Álvarez
Nain Peralta-Antonio
Natalia Odette Gutiérrez-Muñoz
Nelda Guadalupe Uzcanga Pérez
Nuria Aide López-Hernández
Petra Andrade-Hoyos
Rafael Gómez-Jaimes
Ramiro Pérez-Miranda
Ramón Trucíos-Caciano
Rocío Toledo-Aguilar
Rolando Misael Tlaxcala-Méndez
Rosa Laura Rebolledo-García
Rubén Guillermo Medina-Hernández
Susana Elizabeth Ramírez-Sánchez
Teresa Alfaro-Reyna
Vidal Guerra-De la Cruz

ÍNDICE DE TEMAS

TEMA	PÁGINAS
AGUA	1 - 88
SUELO	89 - 217
AGROBIODIVERSIDAD	218 - 450
FORESTAL	451 - 478
TRANSVERSALES	479 - 574
AUTORES	575 - 586



ÍNDICE DE TRABAJOS In extenso

AGUA	1
DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE AVENA EN EL DISTRITO DE RIEGO TULA, HIDALGO	2
EFICIENCIA HÍDRICA DE MAÍZ DE TEMPORAL EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORTE DE GUANAJUATO	7
EFICIENCIA HÍDRICA DE PASTO FORRAJERO DE TEMPORAL EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORTE DE GUANAJUATO	12
EFFECTO DEL SULFATO DE AMONIO, CORRECTOR DE LA DUREZA DEL AGUA PARA HERBICIDAS SINTÉTICOS Y BIOHERBICIDAS	17
EVALUACIÓN DE UN BIOPROCESO INTEGRADO POR MICROALGAS Y CIANOBACTERIAS PARA EL TRATAMIENTO DE NEJAYOTE	21
USO DE DATOS METEOROLÓGICOS MEDIDOS Y ASIMILADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	25
RASGOS FUNCIONALES DE GENOTIPOS DE GARBANZO (<i>Cicer arietinum</i> L.) EN RESPUESTA AL RIEGO DEFICITARIO	29
EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELO Y AGUA DE USO AGRÍCOLA EN LA ZONA CITRÍCOLA DE TAMAULIPASA	33
EVALUACIÓN DEL ESTRÉS HÍDRICO Y ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA HUASTECA HIDALGUENSE	38
ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA MEDIANTE RUTA CRÍTICA, PERT Y PERT/COSTO: UN ESTUDIO DE CASO	43
ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA APLICANDO EL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA (CPM): UN ESTUDIO DE CASO	48
CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE TUXPAN, GUERRERO	53
CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE VARIEDADES DE ARROZ	56
RENDIMIENTO DE GRANO EN VARIEDADES DE TRIGO DURO EXPUESTAS A SEQUÍA TERMINAL	59
MONITOREO COMUNITARIO PARTICIPATIVO DE AGUA EN LA SIERRA JUÁREZ	62
OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO: EFECTOS EN EL RENDIMIENTO Y EN LA EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA DE <i>Carica papaya</i> L.	66
DETERMINACIÓN DE LA COSECHA PARA EL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO HARINERO (<i>Triticum aestivum</i>)	70
EVALUACIÓN DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO DE LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.) BAJO MANEJO AGRONÓMICO ALTERNATIVO	73

EFFECTO DEL INJERTO Y HUMEDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) 76

PRONÓSTICO DE PRECIPITACIÓN EN UNA COMUNIDAD DE LOS VALLES CENTRALES DE
OAXACA BASADO EN SARIMA 80

MANEJO EFICIENTE DEL AGUA EN LA CAÑA DE AZÚCAR: EVALUACIÓN DEL DESARROLLO
FENOLÓGICO BAJO DISTINTOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN 84

SUELO 89

FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CAMPO Y EL PUNTO
DE MARCHITAMIENTO DEL SUELO 90

CROMATOGRAFÍA DE PFEIFFER: UNA HERRAMIENTA OBJETIVA PARA EL ANÁLISIS BIOLÓGICO
DE SUELOS EN AGROECOSISTEMAS 96

ACUMULACIÓN DE RAÍCES “*IN SITU*” CON AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN COMO
ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO 101

CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO ASOCIADO AL TUNILLO (*Stenocereus stellatus* (PFEIFF.)
RICCOB.) EN TRES MICRORREGIONES DE OAXACA 104

RUGOSIDAD DE LAS BIOCOSTRAS: UN ESTIMADOR DE LA RETENCIÓN DEL SUELO EN UNA
ZONA SEMIÁRIDA DEL CENTRO DE MÉXICO 108

DISPERSIÓN Y MIGRACIÓN DE METALES PESADOS BIODISPONIBLES EN SUELOS DE CULTIVO Y
SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO 113

EL PICUDO DE LA SOYA *Rhyssomatus nigerrimus* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) SOBRE LA
SANIDAD DEL GRANO POSTCOSECHA BAJO TRES SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO EN
CHIAPAS 116

HUMEDAD EDÁFICA Y SUBSOLADO: SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE SOYA EN
CONDICIONES DE TEMPORAL 120

EVALUACIÓN DE BIOINSUMOS PARA LA NUTRICIÓN INTEGRAL DEL MAÍZ EN LA FRAILESCA
CHIAPAS 124

RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN PARTICIPATIVA DEL SUELO Y AGUA EN LA MICROCUENCA
DEL RÍO TLAPATLAHUAYA 129

DESCRIPCIÓN DE LA MICROBIOTA CULTIVABLE ASOCIADA A SUELOS BAJO AGRICULTURA
ORGÁNICA Y CONVENCIONAL 133

EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ZEOLITA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CRECIMIENTO
Y PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ EN TEMPORAL 137

APLICACIÓN DEL MÉTODO MINERAL-TEST PARA EVIDENCIAR LA SODIZACIÓN SECUNDARIA DE
UN SUELO IRRIGADO EN EL NORTE CENTRO DE MÉXICO 141

POTENCIAL DE FITORREMEDIACIÓN DE *Amaranthus hypochondriacus*, *Dalea versicolor*,
Ambrosia psilostachya Y *Zea mays* EN UN RELAVE MINERO DE ZIMAPÁN, HIDALGO 146

EVALUACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NATIVOS DE SUELOS CON
DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS EN PLANTAS DE SORGO 151

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN ETAPAS TARDÍAS DE MAÍZ	156
IMPACTO DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE VILLA CORZO, CHIAPAS	160
PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ POR EFECTO DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS	164
RESPUESTA DEL MAÍZ A ESTRATEGIAS COMBINADAS DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ENMIENDAS ORGÁNICAS: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SUELO	168
VARIACIÓN ESPACIAL DEL BACTERIOMA DEL SUELO EN UN MATORRAL SEMIÁRIDO EROSIONADO POR OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO	172
PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS Y FISIOLÓGICAS DE RIZOBACTERIAS ASOCIADAS A <i>Argemone grandiflora</i>	176
DESARROLLO VEGETATIVO Y FLORAL DE ÁRBOLES JÓVENES DE LIMÓN PERSA USANDO COBERTERAS VEGETALES Y ORMUS	180
COBERTERAS VEGETALES, ÁCIDOS HÚMICOS Y SUPERMAGRO EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y FLORAL DE ÁRBOLES JÓVENES DE LIMÓN PERSA	185
EFECTO DEL POTENCIAL REDOX DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SORGO	189
RIESGO DE EROSIÓN DE UNA CUENCA A TRAVÉS DE ÍNDICES HIDROLÓGICOS EN EL NORESTE DE MÉXICO	193
CALIDAD DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON MAÍZ NATIVO EN CUAPIAXTLA, TLAXCALA	198
EVALUACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO SELECTIVOS PARA EL CRECIMIENTO DE HONGOS NEMATÓFAGOS	202
DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE MAÍZ Y CANAVALIA APLICADOS BAJO LABRANZA DE CONSERVACIÓN EN LA FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO	206
MICRONUTRIMENTOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO	210
EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO Y PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN EN LA MICROCUENCA GUAXCAMÁ, VILLA JUÁREZ, S.L.P	214
AGROBIODIVERSIDAD	218
VALORACIÓN DE PROGENIES F ₁ DE JITOMATE NATIVO Y SUS PROGENITORES	219
CONSERVACIÓN <i>IN VIVO</i> DE ACCESIONES DE NOCHEBUENA POR EL INIFAP	222
USO DE <i>Trichoderma</i> Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CONTROL DE <i>Fusarium oxysporum</i> EN <i>Capsicum chinense</i>	226
EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ACCESIONES E HÍBRIDOS DE MAÍZ DE TEMPORAL EN EL ESTADO DE TLAXCALA	229
PLANTAS ALIMENTICIAS SUBUTILIZADAS Y SU APORTACIÓN A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA	234

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ACCESIONES CRIOLLAS SOBRESALIENTES, VARIEDADES E HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL EN EL ESTADO DE TLAXCALA	238
DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE QUELITES XONEQUI Y TEQUELITE, ESPECIES SUBUTILIZADAS EN MÉXICO	243
VALORACIÓN ECONÓMICA, BIOCULTURAL Y SOSTENIBLE DE LA PENCA DE MAGUEY PARA EXPORTACIÓN EN ZEMPOALA, HIDALGO	246
DIVERSIDAD DE MALEZA PRESENTES EN CULTIVOS AGRÍCOLAS DEL MUNICIPIO DE MUNA, YUCATÁN	249
GERMINACIÓN Y VIGOR <i>IN VITRO</i> DE 130 MAÍCES DE SAN LUIS POTOSÍ EN CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO	253
COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CHILE CHILACA EN TLAXCALA	258
CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE JOCOTE (<i>Spondias purpurea</i>) EN TRES LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS	263
“DRÁCULA H13” HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL CON MADUREZ TARDÍA Y GRANO SEMIHARINOSO PARA CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO Y TEACALCO, TLAXCALA	266
“CHIMPANCE H14” HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL CON MADUREZ TARDÍA Y GRANO SEMICRISTALINO PARA TEXCOCO Y OTUMBA, ESTADO DE MÉXICO Y APAN, HIDALGO	270
CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y CUALITATIVA DE SEMILLAS DE ACCESIONES DE FRIJOL DOLICHO (<i>Lablab purpureus</i> L.)	274
CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE ACCESIONES DE FRIJOL DOLICHO [<i>Lablab purpureus</i> (L.)]	277
USO DE TRATAMIENTOS PRE-GERMINATIVOS EN SEMILLAS DE <i>Senegalia gaumeri</i> (S. F. BLAKE) BRITTON & ROSE DEL SURESTE DE MÉXICO	281
PRESENCIA GEOESPACIAL DE CINCO RAZAS DE MAÍZ NATIVO Y SU MANEJO EN LA MILPA: COLECTA DEL JARDÍN ETNOBIOLÓGICO DE QUINTANA ROO	285
CALIDAD DEL FRUTO DE GENOTIPOS NATIVOS DE CHILE (<i>Capsicum spp.</i>) ADAPTADOS EN INVERNADERO	289
CARDOSANTO (<i>Argemone mexicana</i> L.) PARA EL CONTROL DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE SOYA	293
PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CACAO	297
RESPUESTA PRODUCTIVA DE CHILE HUACLE EN TRES DENSIDADES DE PLANTACIÓN	301
VALORACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE MAZORCA Y GRANO EN POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ COLECTADAS EN UN TRANSECTO MULTIALTITUDINAL DE TAMAULIPAS	305
ENFOQUE BASADO EN SIG PARA MODELAR UN ECOTIPO DE <i>Bouteloua curtipendula</i> (MICHX.) TORR. PROMISORIO PARA LA REHABILITACIÓN DE PASTIZALES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE	309
EFFECTO <i>IN VITRO</i> DE <i>Trichoderma spp.</i> CONTRA HONGOS FITOPATÓGENOS DE NANCHE (<i>Byrsonima crassifolia</i> L.)	312

CONTRASTE TÉRMICO Y LATENCIA EN SEMILLA DE *Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT.

315

GERMINACIÓN DE SEMILLA DE *Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT, APLICANDO ESCARIFICACIÓN Y CONTRASTE TÉRMICO

319

ANTAGONISMO *IN VITRO* DE *Trichoderma spp.* CONTRA *Rhizoctonia solani* ASOCIADO A LA MARCHITEZ DE CHILE

322

DIVERSIDAD DE FORMAS DE FRUTO DE CHILE JALAPEÑO PROCEDENTE DEL SUR DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

325

DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NATIVOS PROPAGADOS MEDIANTE CULTIVO TRAMPA EN SORGO, MAÍZ Y BRACHIARIA

329

CONSERVACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS DE *Coffea arabica* EN EL SITIO EXPERIMENTAL TEOCELO, VERACRUZ

334

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE DIFERENTES VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CULTIVADAS EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

338

AVANCES Y DESAFÍOS EN LA PRODUCCIÓN Y USO DE BACTERIAS NATIVAS COMO PROBIÓTICOS VEGETALES EN APLICACIONES AGRONÓMICAS

343

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GERMINATIVA DE SEMILLAS DE LAS LÍNEAS PARENTALES DEL HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL VAMPIRO H10

348

AVANCES Y DESAFÍOS EN LA BIOSEGURIDAD DE OGM PARA LA CONSERVACIÓN DEL MAÍZ Y ALGODÓN NATIVOS EN MÉXICO

351

ASOCIACIÓN DE *Trichoderma spp.* CON CRUZAS AVANZADAS DE MAÍZ Y UNA POBLACIÓN NATIVA

354

PRESENCIA DE HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis*) EN LA RUTA ELOTERA: UNA ALTERNATIVA CON POTENCIAL ECONÓMICO EN EL SUR DE QUINTANA ROO

358

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE TRES ESPECIES DE *SCAPTOTRIGONA* (APIDAE: MELIPONINI) EN MÉXICO, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

361

EXTRACTO DE PLANTA NATIVA DEL DESIERTO SONORENSE COMO ANTAGONISTA DE *Fusarium sp*

364

CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES EN ECOTIPOS DE MORA (*Morus spp.*) NATURALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

368

LÍNEAS PROGENITORAS DE LOS HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL: VAMPIRO H10, VAMPIRO H12, DRÁCULA H13 Y CHIMPANCE H14

371

ZANAKAT, VARIEDAD CRIOLLA DE CHILE GÜERO

375

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE GERMOPLASMA CRIOLLO DE CHILE DE ONZA (*Capsicum annuum* L.) CON MARCADORES SILICODART

378

AGRICULTURA REGENERATIVA EN LA PALMA DE ACEITE DEL SOCONUSCO. DE LA PARCELA AL PAISAJE: ADOPTANDO LA AGRICULTURA REGENERATIVA EN EL SOCONUSCO

383

ACUMULACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE HIERRO EN HELECHOS Y LOMBRICES EN CONDICIONES FORESTALES

386

RECUPERACIÓN DE PLANTACIONES DE FRESA CON *TRICHODERMA REESEI* EN SUELOS DONDE SE PRESENTA “SECADERA DE PLANTAS” EN ZAMORA, MICHOACÁN 391

PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EVALUADOS EN SEMILLAS DE MATERIALES DE FRIJOL COMÚN EN UN BANCO DE GERMOPLASMA 395

DIVERSIDAD GENÉTICA DE GERMOPLASMA DE CHIA (*Salvia hispanica* L.) EVALUADA CON MARCADORES SILICODART 400

PRODUCCIÓN DE CAFÉ COSTA RICA-95 EN DOS CICLOS DE COSECHA BAJO CONDICIONES DE SOMBREADO DE OCHO ESPECIES ARBÓREAS 405

HONGOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE POBLACIONES DE FRIJOL DE LA REGIÓN NORTE DE GUERRERO 410

EFFECTO ANTAGONISTA DE *Penicillium* sp. CONTRA PARATRIOZA (*Bactericera cockerelli*) 415

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE CLONES INJERTADOS DE CAFÉ ROBUSTA [*Coffea canephora* (PIERRE) EX FROEHNER] EN TEZONAPA, VERACRUZ 420

MAÍCES ADAPTADOS A LA REGIÓN DE VALLES ALTOS DEL ESTADO DE MÉXICO: RENDIMIENTO DE GRANO Y RASTROJO 424

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE VERACRUZ 427

MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA LA PRODUCCIÓN DE *HERICIUM ERINACEUS* EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO POBLANO (OCOTEPEC, PIZARRO Y CHICHICUAUTLA) 430

APROVECHAMIENTO DE FUENTES DE FÓSFORO INSOLUBLE MEDIANTE CULTIVO SUMERGIDO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL 434

LOS HUERTOS FAMILIARES COMO ESTRATEGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD EN LA REGIÓN TEXCOCO 438

EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDOS EN *Argemone mexicana* PARA OBTENER COMPUESTOS DE INTERÉS INDUSTRIAL 443

AGROBIODIVERSIDAD, AGRICULTURA FAMILIAR Y SERVICIOS AMBIENTALES: MÓDULO AGROECOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN FAMILIAR CEVAMEX 447

FORESTAL 451

EVALUACIÓN DE NIVEL DE SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SELVA EL OCOTE, CHIAPAS, MÉXICO 452

DENSIDAD Y MORFOLOGÍA DE LA FIBRA DE LA MADERA DE *Eucalyptus urophylla* EN EL SURESTE DE MÉXICO 457

ECUACIONES ALOMÉTRICAS ADITIVAS PARA ESTIMAR LA BIOMASA AÉREA DE *Lysiloma latisiliquum* (L.) 461

MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN Y BENEFICIO DE SEMILLA DE *Mimosa bentharii* Y DE *Lysiloma divaricata* 465

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE *Cupressus guadalupensis*
S. WATSON 468

FORMACIÓN DE CALLO EMBRIOGÉNICO Y EMBRIONES SOMÁTICOS DE *Quercus castanea* CON
FINES DE CONSERVACIÓN *IN VITRO* 472

EVALUACIÓN DE LA ABRASIÓN EN SEMILLAS DE CONÍFERAS APLICANDO DIFERENTES LIJAS Y
TIEMPOS 475

TEMAS TRANSVERSALES 479

GOBERNADORA [*Larrea tridentata* (SESSÉ & MOC. EX DC.) COVILLE] COMO BIOHERBICIDA PARA
MALEZAS DE HOJA ANCHA ALTERNATIVA AL GLIFOSATO EN PRE SIEMBRA 480

ESTUDIO DE CASO DE UN RANCHO DE HATO MIXTO Y EL IMPACTO DE UNA SEQUÍA
PROLONGADA 485

EFFECTOS DE LA TECNOLOGÍA DE AGRICULTURA DE AGUA FRÍA (COLDAG) EN LAS PRIMERAS
ETAPAS DE DESARROLLO DE COL Y AMARANTO 490

EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SELVA EL
OCOTE, CHIAPAS, MÉXICO 495

MUESTREO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO E INTERPOLACIÓN MEDIANTE KRIGING ORDINARIO
PARA MAPEO TEMÁTICO EN ARROZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL 499

RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR ESTIMADO CON DATOS DE REFLECTANCIA DE SENTINEL-
2 Y ALGORITMOS DE MACHINE LEARNING 504

EVALUACIÓN AGROPRODUCTIVA DE GENOTIPOS AVANZADOS DE ARROZ EN CONDICIONES DE
TEMPORAL 510

EVALUACIÓN DEL CARBONO SECUESTRADO EN AGROECOSISTEMAS FORESTALES DE
NAYARIT Y JALISCO 515

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO ASOCIADO AL CULTIVO
DE MAÍZ FORRAJERO (VARIEDAD N83N5 DE SYNGENTA®) EN RESPUESTA A DIFERENTES
LÁMINAS DE RIEGO 518

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN CON EL
RENDIMIENTO DEL MAÍZ FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA 523

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVOS PARA AMBIENTES DE TEMPORAL, EN LA
MIXTECA DE OAXACA 526

CEPAS *RHIZOBIUM* NATIVAS CON POTENCIAL PROBIÓTICO VEGETAL PARA MEJORAR
CULTIVOS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) 531

INDICADORES ECONÓMICOS CON INTERVENCIONES DE AGRICULTURA REGENERATIVA DE
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ-FORRAJE DE MÉXICO 536

RESPIRACIÓN MICROBIANA DEL SUELO Y EL MANEJO DE FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN
DE MAÍZ 541

DETERMINACIÓN DE LOS PERFILES DE RESISTENCIA A METALES PESADOS Y ANTIBIÓTICOS,
DE BACTERIAS CULTIVABLES AISLADAS DE LA PIEL DE *Dryophytes plicatus* 544

MODELOS DE IDONEIDAD AMBIENTAL DEL CAFÉ Y LA ROYA DEL CAFETO EN MÉXICO Y CENTROAMÉRICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	548
PERCEPCIÓN DEL PRODUCTOR SOBRE LAS VARIEDADES MEJORADAS Y NATIVAS DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.), EN DOS MUNICIPIOS DE TLAXCALA	553
SEÑALES CLIMÁTICAS EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE <i>Lysiloma latisiliquum</i> (L.) BENTH. EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE CAMPECHE, MÉXICO	556
BIOL ENRIQUECIDO CON MICROORGANISMOS EN LA TRANSLOCACIÓN NUTRIMENTAL Y CRECIMIENTO DE MELÓN	560
CAPACIDAD DE AMACOLLAR DE TRIGO HARINERO (<i>Triticum aestivum</i> L) Y TRIGO CRISTALINO (<i>Triticum durum</i>) EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA	563
EVALUACIÓN DE DOSIS DE COMPOSTA DE GALLINAZA Y GALLINAZA CRUDA EN TRIGO ORGÁNICO EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA	567
MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ CRIOLLO MEDIANTE BIOFORTIFICACIÓN CON SELENIO	571



Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

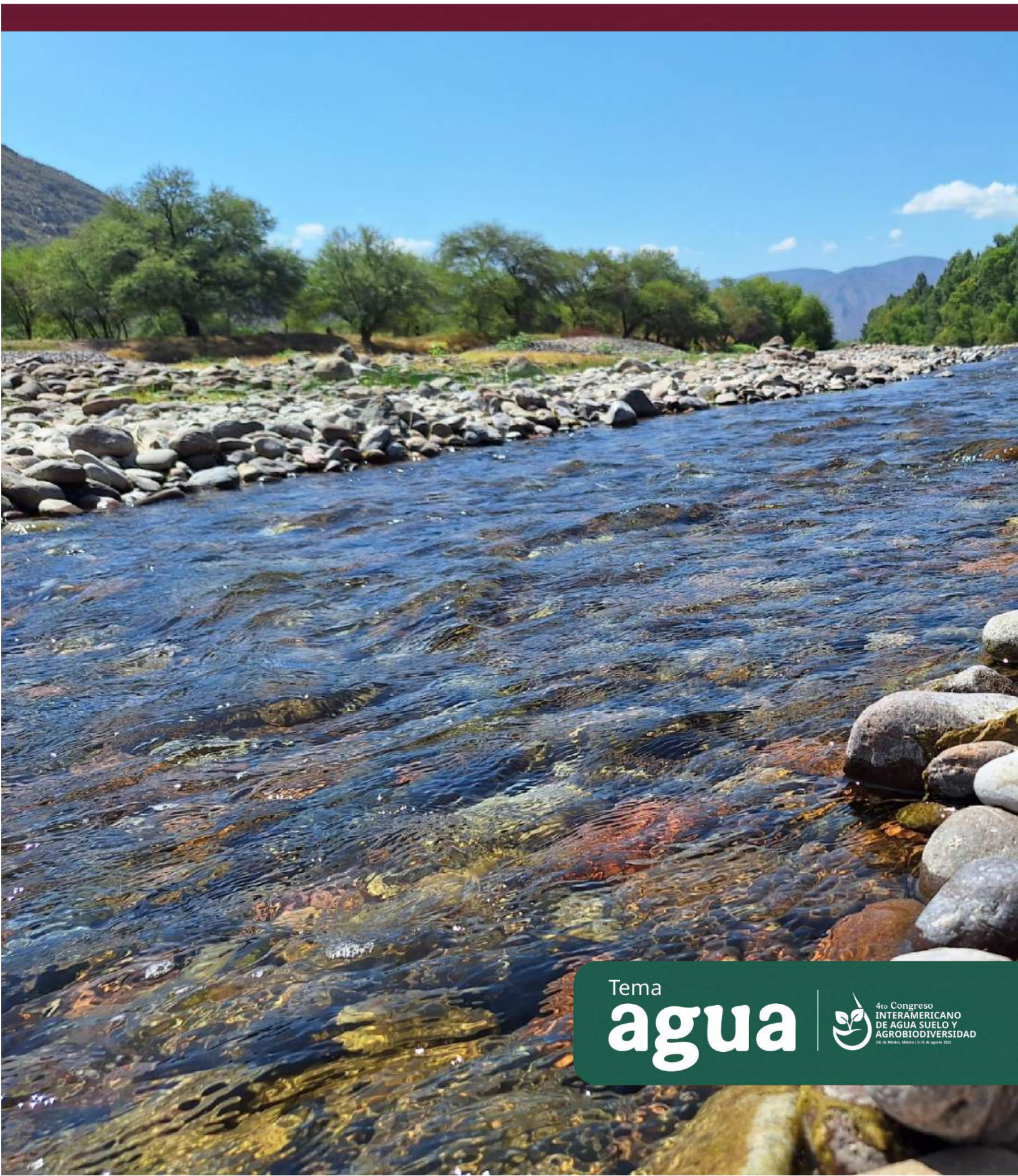
CP Colegio de
Postgraduados



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tema

agua



4to Congreso
INTERAMERICANO
DE AGUA SUELO Y
AGROBIODIVERSIDAD
Cd. de México, México | 9-15 de agosto 2023

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CULTIVO DE AVENA EN EL DISTRITO DE RIEGO TULA, HIDALGO

Guillermo Jesuita Pérez-Marroquín¹, Demetrio Salvador Fernández-Reynoso¹, Gerardo Colin-García^{2*}, Adolfo Antenor Exebio-García¹, Antonia Macedo-Cruz¹, Abel Quevedo-Nolasco¹

¹Postgrado de Hidrociencias Campus Montecillo, COLPOS. ² INIFAP, CIRPAS CE Centro de Chiapas

*Autor para correspondencia: colin.gerardo@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agricultura de riego, modelo SWAT, rendimiento.

Introducción

El concepto de Huella Hídrica (HH) ha generado conciencia sobre el uso sostenible del agua a partir de una evaluación global de la producción agrícola a nivel nacional. Además, como el agua es un recurso inherentemente local, donde satisfacer las crecientes demandas de alimentos y, al mismo tiempo, minimizar sus impactos en la producción agrícola es uno de los mayores desafíos sociales. Por lo cual, las estimaciones de la HH permiten contribuir al desarrollo sostenible mediante el impulso del manejo integral de los recursos hídricos.

De acuerdo con Mekonnen y Hoekstra (2011) la HH se define como la cantidad de agua necesaria para la producción de cada uno de los bienes y servicios que utilizamos en nuestras actividades socioeconómicas cotidianas, por lo tanto, representa un *indicador* clave en la administración de los recursos hídricos de una región. En la agricultura, la HH de un cultivo representa la relación entre la evapotranspiración real acumulada durante el ciclo de crecimiento y el rendimiento. Asimismo, la HH se subdivide en dos partes: la Huella Hídrica Verde (HH_v) y la Huella Hídrica Azul (HH_a) donde la primera corresponde a la cantidad de agua de precipitación, mientras que la segunda representa el agua suministrada al cultivo mediante la aplicación de riego suplementario.

El cultivo de avena (*Avena sativa*) en México presenta una amplia adaptación climática, ya que se produce en zonas frías, templadas, áridas y semicálidas; además, corresponde a uno de los cultivos de mayor importancia económica. Particularmente, en el estado de Hidalgo la avena forrajera tiene gran potencial de producción debido a los factores climáticos. Actualmente, la mayor producción de este cultivo se ubica en el Distrito de Riego 003 (DR 003) de Tula, Hidalgo, donde se cultivan 4,937 ha con un rendimiento promedio de 25 t ha⁻¹.

Objetivo

Simular el rendimiento y estimar su Huella Hídrica (HH) del cultivo de avena en el Distrito de Riego 003 (DR 003) de Tula, Hidalgo, mediante el modelo SWAT.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde al Distrito de Riego 003 Tula (DR 003) que se localiza en la zona sureste del estado de Hidalgo entre las coordenadas geográficas 19° 40' a 20° 29' de Latitud Norte (LN) y 98° 57' a 99° 21' de Longitud Oeste (LO), dentro de la región conocida como Valle del Mezquital. El DR 003 presenta una altitud media de 1895 msnm y cubre una superficie agrícola de 50,713.63 ha (Figura 1).

Una característica esencial del Valle del Mezquital es su clima semiárido y su baja precipitación pluvial, por lo cual, se ubica en una región donde la actividad agrícola de secano es limitada. Sin embargo, desde hace más de cien años el DR 003 recibe las aguas residuales de la Zona Metropolitana del Valle de México. Por esta razón, se ha posicionado como uno de los distritos de riego de mayor productividad a nivel nacional.

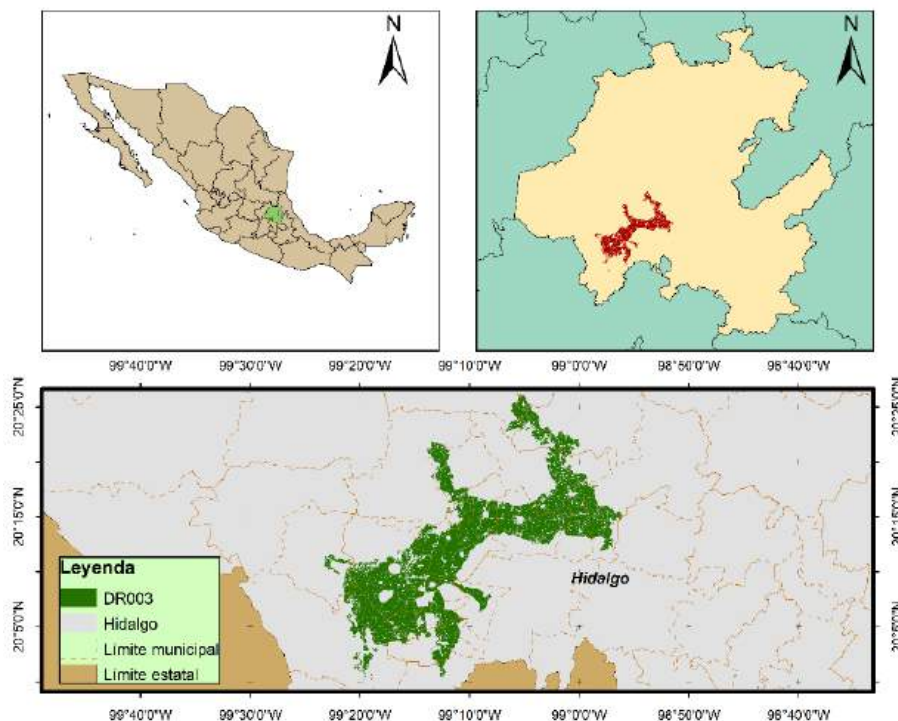


Figura 1. Localización del DR 003 Tula, Hidalgo.

El programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo hidrológico-productivo semi-distribuido desarrollado por el Servicio de Investigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS) que permite realizar múltiples simulaciones de los diferentes componentes del balance hídrico en tiempo continuo (anual, mensual y diario) a nivel espacial y temporal; su principal función es predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la estimación de la producción de biomasa, escurrimientos y sedimentos de diversas coberturas vegetales y tipos de suelo (Arnold *et al.*, 1998). Para la ejecución adecuada del modelo SWAT es necesario caracterizar con precisión el clima, la topografía, el tipo de suelo y sus propiedades, el uso de suelo y las prácticas de manejo; ya que se utilizan para la simulación de los procesos de base física como: el movimiento del agua, el ciclo del nitrógeno, el transporte general de sedimentos y el crecimiento de los cultivos dentro del área de interés. Para ello, el modelo emplea la ecuación de la fase terrestre del ciclo hidrológico (Ecuación 1).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_i - Q_i - ET_i - W_i - RF_i) \quad (1)$$

Donde SW_t es el contenido final de agua en el suelo (mm), SW_0 es el contenido inicial de agua del suelo para el día i (mm), t es el periodo de simulación (días), R_i es la precipitación total (mm), Q_i es el escurrimiento superficial (mm), ET_i es la evapotranspiración (mm), W_i es el agua que percola en el perfil del suelo (mm) y RF_i es el flujo de retorno (mm).

El modelo SWAT requiere las variables meteorológicas de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar, velocidad de viento, temperatura del punto de rocío, y humedad relativa para su ejecución; estas pueden ser ingresadas o estimadas con el generador climático WXGEN, el cual funciona con base en las estadísticas mensuales de cada variable. Para ello, se utilizaron los conjuntos de datos de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) y CHIRTS para las variables de precipitación y temperatura, estas se basan en técnicas de interpolación y realizan estimaciones de alta resolución (0.05° x 0.05°) y son especialmente útiles para lugares donde los datos meteorológicos son

escasos (Funk et al., 2015; Verdin et al., 2020), las otras variables se procesaron a través del generador climático WXGEN del modelo SWAT.

La Huella Hídrica (HH) en agricultura se define como la suma de la Huella Hídrica Verde (HH_v) y la Huella Hídrica Azul (HH_a) (Ecuación 2) (Mekonnen & Hoekstra, 2011). La HH_v se refiere al consumo de agua almacenada en la zona de raíces resultado de las precipitaciones (Ecuación 3) y la HH_a se refiere al consumo de aguas superficiales y/o subterráneas procedentes de la aplicación del riego (Ecuación 4).

$$HH = HH_a + HH_v \quad (2)$$

$$HH_v = \frac{10 \times \sum_{i=1}^t ET_v}{R} = \frac{CWU_v}{R} \quad (3)$$

$$HH_a = \frac{10 \times \sum_{i=1}^t ET_a}{R} = \frac{CWU_a}{R} \quad (4)$$

Donde, 10 es un factor de conversión de unidades de la lámina en mm a $m^3 \text{ ha}^{-1}$, R es el rendimiento del cultivo ($t \text{ ha}^{-1}$), ET_v es la evapotranspiración del agua verde (mm), CWU_v es consumo del agua verde (m^3); ET_a la evapotranspiración de agua azul (mm) y CWU_a es el consumo de agua azul (m^3). CWU_v y CWU_a se calculan teniendo en cuenta evapotranspiración diaria (ET , mm día^{-1}) acumulada durante el período de crecimiento del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha del cultivo.

Resultados y Discusión

El Distrito de Riego 003 Tula (DR 003) reportó un rendimiento promedio de $25 t \text{ ha}^{-1}$ para el cultivo de avena forrajera en verde, durante el Ciclo de Producción Otoño-invierno 2017-2018. En cambio, con el modelo SWAT se simuló un rendimiento muy cercano de $24 t \text{ ha}^{-1}$ con una diferencia aproximada del 4.00%.

En el Cuadro 1 muestran los resultados de la simulación del rendimiento para cada uno de los módulos del DR 003. La Lámina Neta (LN) de riego media es de 813.8 mm, los valores mayores a 1000 mm corresponden al Mod 01 y Mod 09. En cambio, en el Mod 6, Mod 11 y el Mod 16 se aplican laminas menores a 600 mm. Los principales factores en la estimación de la HH son la Evapotranspiración del cultivo (ET) y la Precipitación efectiva (Pe), la primera presenta un valor medio de 561.73 mm y la segunda un valor medio de 168.47 mm.

Cuadro 1. Resultados de la simulación del cultivo de avena para el DR003 Tula con el modelo SWAT.

Clave	Módulo	R_o ($t \text{ ha}^{-1}$)	R_s ($t \text{ ha}^{-1}$)	S (ha)	LN (mm)	ET (mm)	P_e (mm)
Mod 01	Actopan	25	27	285	1434	550	139
Mod 02	Tlámaco - Juandhó	25	23	764	845	570	183
Mod 03	Mixquiahuala	25	25	973	665	576	171
Mod 04	Endhó - Xochitlán	25	26	348	728	555	177
Mod 05	Tepatepec	25	25	384	906	551	123
Mod 06	Alto Tepatepec	25	26	103	491	548	153
Mod 07	Tula	25	23	1391	699	560	174
Mod 08	Tumba	25	26	15	619	532	145
Mod 09	Bombeo Artículo 27	25	16	90	1353	563	208
Mod 11	El Xicuco	25	24	63	554	590	185
Mod 12	El Solís	25	25	134	592	571	144
Mod 13	Gamagaox	25	23	292	971	581	142
Mod 14	El Bexha	25	23	50	900	547	251
Mod 15	Bombeo Agrícola Teltipán	25	24	36	666	566	168
Mod 16	Bombeo Centro Juandhó de Teltipán	25	24	9	784	566	164

Rendimiento observado (R_o), Rendimiento simulado (R_s), Superficie (S), Lámina neta (LN), Evapotranspiración del cultivo (ET), Precipitación efectiva (P_e).

Posteriormente, a partir de los datos de simulación del rendimiento se estimaron la HH_v y la HH_a . La HH_v alcanza un valor de $67.39 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, la HH_a presenta un valor de $157.31 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Además, se observa claramente la importancia de la aplicación del riego suplementario, ya que la HH_a corresponde al 70.01% de HH , mientras que la HH_v aporta el 29.99%. En el Cuadro 2 se observan los resultados de la HH para cada uno de los módulos del DR 003, sus valores varían desde $212.8 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ en el Mod 08 hasta $236.0 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ en el Mod 11. En la Figura 2 se observa la distribución de la HH en los módulos del DR 003.

Cuadro 2. Estimación de la HH del cultivo de avena forrajera para el DR003 Tula con el modelo SWAT.

Clave	Módulo	$HH_v (\text{m}^3 \text{ t}^{-1})$	$HH_a (\text{m}^3 \text{ t}^{-1})$	$HH (\text{m}^3 \text{ t}^{-1})$
Mod 01	Actopan	55.6	164.4	220.0
Mod 02	Tlamaco - Juandhó	73.2	154.8	228.0
Mod 03	Mixquiahuala	68.4	162.0	230.4
Mod 04	Endhó - Xochitlán	70.8	151.2	222.0
Mod 05	Tepatepec	49.2	171.2	220.4
Mod 06	Alto Tepatepec	61.2	158.0	219.2
Mod 07	Tula	69.6	154.4	224.0
Mod 08	Tumba	58.0	154.8	212.8
Mod 09	Bombeo Artículo 27	83.2	142.0	225.2
Mod 11	El Xicuco	74.0	162.0	236.0
Mod 12	El Solís	57.6	170.8	228.4
Mod 13	Gamagaox	56.8	175.6	232.4
Mod 14	El Bexha	100.4	118.4	218.8
Mod 15	Bombeo Agrícola Teltipán	67.2	159.2	226.4
Mod 16	Bombeo Centro Juandhó de Teltipán	65.6	160.8	226.4

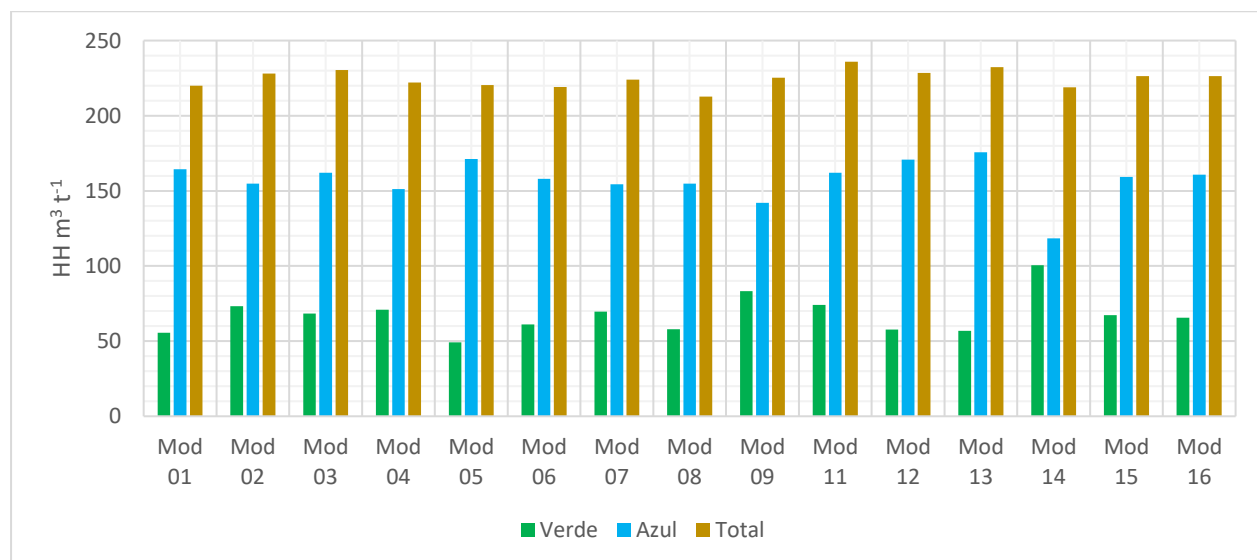


Figura 2. Distribución de la HH en los módulos del DR 003 Tula, Hidalgo.

En consecuencia, la HH le corresponde un valor de $224.69 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$. Previamente, Vázquez-del Mercado Arribas y Lambarri-Beléndez (2017) estimaron la HH para este cultivo en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, alcanzando un valor de $215.57 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, las diferencias significativas radican principalmente en el

rendimiento obtenido, ya que el DR 003 presenta de manera general excelentes rendimientos en comparación con los otros distritos de riego, debido principalmente al empleo de aguas residuales.

Conclusiones

El modelo SWAT simuló de manera satisfactoria el rendimiento de la avena forrajera, al obtener un rendimiento simulado de 24 t ha^{-1} , muy cercano al observado de 25 t ha^{-1} en el Distrito de Riego 003 Tula (DR 003). Por lo tanto, a partir de estos resultados se estimó la Huella Hídrica (HH) y se obtuvo un valor promedio de $224.69 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$; donde se observa la relevancia de la aplicación del riego puesto que la mayor parte corresponde a la Huella Hídrica Azul (HH_a) con un valor de $157.31 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$, mientras que la Huella Hídrica Verde (HH_v) solamente presenta un valor de $67.39 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) Campus Montecillo, Postgrado de Hidrociencias y a la LGAC Manejo Integral de Cuencas y Efecto del Cambio Climático por el financiamiento del proyecto de investigación titulado “Comparación de dos modelos biofísicos para estimar la huella hídrica en distritos de riego” (CONV_CCYRHH_2023_02).

Referencias bibliográficas

- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73–89. <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1998.TB05961.X>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. Scientific Data 2015 2:1, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences, 15(5), 1577–1600. <https://doi.org/10.5194/HESS-15-1577-2011>
- Vázquez-del Mercado Arribas, R., & Lambarri-Beléndez, J. (2017). Huella hídrica en México: análisis y perspectivas. In Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Ed.), Exploraciones, intercambios y relaciones entre el diseño y la tecnología (1st ed.). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Verdin, A., Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Tuholske, C., & Grace, K. (2020). Development and validation of the CHIRTS-daily quasi-global high-resolution daily temperature data set. Scientific Data 2020 7:1, 7(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00643-7>

EFICIENCIA HÍDRICA DE MAÍZ DE TEMPORAL EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORTE DE GUANAJUATO

Juan José Ramírez-Ramírez^{1*}, Andrés Mandujano-Bueno²

¹INIFAP, CIRCE, SENGUA. ²CIRCE, CEBAJ

*Autor para correspondencia: ramirez.juan@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agua, suelo, maíz.

Introducción

La eficiencia de uso del agua es un parámetro que permite conocer la relación de la producción de fotosintatos, kg, y el volumen de agua utilizado, m³ (Sánchez *et al.*, 2020). En Guanajuato se reportó una superficie de siembra de 310 403 ha de temporal, de las cuales maíz 185 569 y solo llegaron a cosecha 144 749 ha, con un rendimiento promedio de 1.80 ton ha⁻¹ y precipitación media anual de 623 mm (SIAP, 2024). En el Censo Agropecuario 2022, por el INEGI (2023) la superficie agropecuaria es de 1.8 millones de hectáreas (61.8%); forestal, 0.1 millones de hectáreas (2.5%) y la superficie sin uso o vocación agropecuaria y sin aprovechamiento forestal, de 1.0 millones de hectáreas (35.8%); la agricultura protegida ocupa 3 897 ha. Los problemas más comunes que se atribuyen y que afectan la productividad de las unidades de producción son: altos costos de insumos y servicios, 93.6 %; baja de precios o disminución de ventas, 6%; la inseguridad, 32.6%; pérdida de fertilidad del suelo, 21.4%; edad de los productores 17.2 % (INEGI, 2023). En el Norte de Guanajuato, en las unidades agropecuarias edafológicas predominan suelos *Feozems háplicos*, deficientes en fósforo (Braojos *et al.*, 2001). En estos suelos con más de 50 años de explotación depredante e irresponsable es común encontrar 1% o menos de materia orgánica de 0–30 cm, la precipitación es de 487+/-127 mm año⁻¹, el 86% ocurre entre abril y octubre (Aguilar *et al.*, 2011). Los suelos presentan características edáficas deplorables, que limitan el aprovechamiento del agua a través de las raíces de los cultivos, lo que trae consigo baja productividad y deficiencias hídricas (Mendoza 2017; Ríos 2017; Ramírez 2020; Cárdenas 2021).

El rendimiento en granos depende de la cantidad de agua que el cultivo pueda transpirar, la eficiencia con que se usa esa agua para producir materia seca, y la proporción de la materia seca que finalmente es destinada a la formación del grano, estos tres factores mencionados son afectados por procesos relacionados al balance de agua, y el impacto de esos procesos puede ser modificado por determinadas prácticas de manejo (Aloé y Toribio 2008). En el caso del maíz, la FAO (2002) indica que el consumo de agua por ciclo está entre 500 y 800 mm y ha identificado una eficiencia hídrica de 0.8 a 1.6 kg m⁻³.

Objetivo

El objetivo del estudio, evaluar la eficiencia hídrica en la producción de temporal de alta siniestralidad de dos variedades de maíz, bajo un esquema de manejo de suelo con labranza de conservación, rotura vertical, técnica agronómica que aumenta la capacidad del suelo de absorber y retener agua de lluvia.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en la comunidad de Manzanares, San Luis de la Paz, Gto., México, a 21°19' LN y 100°25' LO y una elevación de 2 051 msnm; precipitación media anual de 250 mm. Suelos de textura franco arcillo arenosa. El suelo comenzó su reconversión de manejo bajo el sistema de labranza de conservación, rotura vertical (Aguilar y Ortega 2017), para el año 2023 (menos de 700 ton ha⁻¹ de suelo removido) y cero labranza en el año 2024. Se realizó el "Diagnóstico *in situ* movimiento del agua del perfil edáfico" (Cárdenas 2021) y la caracterización del comportamiento pluvial de la zona (datos propios). La siembra se realizó el 15 de julio de 2024, en tierra húmeda, "tierra venida", con una sembradora convencional, de dos tolvas y una densidad de 45 mil plantas por hectárea. No se cuantificó la humedad existente al momento de siembra. Las labores culturales de manejo fueron, desquelite y escarda. Se aplicó Cipermetrina al 20.36%. El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques completos al azar, se evaluaron dos variedades de maíz, Cónico Norteño, semilla criolla, y CAFIME Plus, semilla mejorada y dos tratamientos, con y sin insecticida; y tres repeticiones al azar (tres metros lineales) por cada tratamiento, dando un total de 12 unidades experimentales (U.E). Se midieron largo de mazorca (cm), ancho de mazorca

(cm), granos por mazorca (núm), grosor del olote (cm) y peso de grano (kg ha^{-1}). El análisis de datos se hizo en el programa Excel 2010, el software Minitab 16® y Curve Expert 1.4®. Se relacionó la producción de grano (kg ha^{-1}), con la precipitación pluvial efectiva para determinar la eficiencia hídrica (kg m^{-3}). El experimento se estableció en la primera quincena de julio, debido a factores externos. La cantidad de precipitación efectiva que el ciclo de maíz aprovechó fue de 190 mm de un total de 281 mm.

Resultados y Discusión

Rendimiento por hectárea y eficiencia hídrica

No se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en el rendimiento de grano por hectárea (kg ha^{-1}) y la eficiencia hídrica (kg m^{-3}), de las dos variedades de maíz y la aplicación de insecticida, como se muestra en el cuadro 1. Por lo que se puede deducir que la variedad CAFIME Plus se adaptó bien a las condiciones ambientales donde se ha desarrollado la variedad criolla Cónico Norteño y que el uso de insecticida fue indiferente en el desarrollo de ambas variedades.

Cuadro 1. Comparación de medias de dos variables observadas de semilla de maíz, criolla y mejorada en un ambiente semiárido del Norte de Guanajuato, (≤ 300 mm, ciclo P-V 2024).

Var*trat (cual)	Rend grano (kg ha^{-1})	EH (kg m^{-3})
C.P c.t	576.49 a	0.33 a
C.P s.t	627.10 a	0.30 a
C.N c.t	558.69 a	0.29 a
C.N s.t	370.27 a	0.19 a
D.M.S	600.51	0.32
Prom	533.14	0.28
C.V %	0.21	0.22
Desv est	112.38	0.06

Las medias con la misma letra dentro del grupo son iguales estadísticamente ($p=0.05$); C.P=CAFIME Plus con/sin tratamiento; C.N=Cónico Norteño con/sin tratamiento; DMS= diferencia mínima significativa; RG=Rendimiento de grano; EH= Eficiencia hídrica.

El rendimiento promedio de grano en los cuatro tratamientos fue de 533.1 kg ha^{-1} y una eficiencia hídrica de 0.28 kg m^{-3} . En su informe, el SIAP (2024) reportó que en el estado de Guanajuato en promedio hay un rendimiento de 1800 kg ha^{-1} en temporal con precipitación media anual de 623 mm, por lo que su eficiencia hídrica oscila entre 0.28 y 0.30 kg m^{-3} y para el municipio de San Luis de la Paz en promedio se produjeron 920 kg ha^{-1} con una precipitación de 323 mm. Luna *et al.*, 2005, obtuvieron un rendimiento de maíz de temporal (con fertilización inorgánica y manejo convencional) de variedad Cafime, de 1050 kg ha^{-1} , en la región templada semiárida y árida del centro norte de México con una precipitación media anual de 183 mm, lo que da una eficiencia hídrica de 0.57 kg m^{-3} . Por lo que, de acuerdo a los resultados de esta investigación, se puede resaltar que la variedad Cafime tiene potencial como una opción tecnológica en la zona. Sánchez (*et al.*, 2020), llevaron a cabo un estudio de temporal y riego, en un ambiente con régimen de humedad mayor (705.4 mm) y con materiales híbridos, donde encontraron una eficiencia hídrica de 0.64 a 1.22 kg m^{-3} en temporal, incluso superiores a los valores bajo riego (0.33 a 1.06 kg m^{-3}).

Las variedades relativamente de bajo rendimiento, pueden ser útiles en siembras donde solamente se registran 2 o 3 aguaceros en 50-60 d, ya que miles de productores siguen sembrando maíz en estas condiciones ecológicas, tanto para grano como para rastrojo (Luna *et al.*, 2005). De esto resalta que, los ciclos de lluvia son cada vez más impredecibles y son un factor que limita el desarrollo eficiente de los cultivos para la región Norte de Guanajuato.

Medidas morfológicas del maíz

Mediante un modelo de regresión lineal, Minitab 16®, se determinó el aporte de cada variable morfológica al peso de grano: peso gran/mazorca $\{g\} = -31.2757 + 5.69707 \text{ altura mazorca } \{cm\} + 15.8244 \text{ ancho mazorca } \{cm\} - 19.0464 \text{ grosor olote } \{cm\} - 0.046931 \text{ granos/mazorca } \{núm.\}$ Se encontraron significancias entre las variedades de maíz para el grosor del olote y largo de mazorca, teniendo menos grosor de olote, la variedad criolla y más longitud de mazorca la variedad mejorada, véase cuadro 2.

Cuadro 2. Comparación de medias de medidas morfológicas semilla de maíz, criolla y mejorada en un ambiente semiárido del Norte de Guanajuato, (≤ 300 mm, ciclo P-V 2024).

Var*Trar (cual)	LM (cm)	AM (cm)	GM (núm)	GOLT (cm)
C.P c.t	7.69 b	2.49 a	79.00 a	1.82 ab
C.P s.t	7.72 b	2.80 a	86.00 a	1.93 b
C.N c.t	6.63 ab	2.39 a	77.67 a	1.53 a
C.N s.t	6.23 a	2.62 a	76.33 a	1.58 a
D.M.S	1.33	0.51	45.53	0.32
Prom	7.07	2.58	79.75	1.72
Desv est	0.75	0.18	4.31	0.19
C.V %	0.11	0.07	0.05	0.11

Las medias con la misma letra dentro del grupo son iguales estadísticamente ($\alpha=0.05$); C.P=CAFIME Plus con/sin tratamiento; C.N=Cónico Norteño con/sin tratamiento; D.M.S= diferencia mínima significativa; LM=largo de mazorca; AM= ancho de mazorca; GM= granos/mazorca; GOLT= grosor de olote.

Cada centímetro de largo de mazorca aporta en 5.69 g al peso de grano/mazorca y cada centímetro de ancho de mazorca aporta 15.82 g, donde podemos deducir que, genéticamente mazorcas con menor grosor de olote, proporcionan más peso a la variable dependiente grano, por lo que para este ambiente mazorcas cónicas, de diámetro ancho, cortas de longitud y menor grosor de olote, pueden ser características en la selección de genotipos para siembras posteriores. Velasco *et al.* (2020), mencionan que variedades de maíz con alto índice de conicidad (menor diámetro de mazorca) pueden adaptarse a ambientes con mayores restricciones de humedad. Lo que tiene relación con lo encontrado en este trabajo.

Diagnóstico in situ del suelo

El "diagnóstico *in situ*" del suelo, a través del movimiento del agua en el perfil edáfico, lámina acumulada (mm) y velocidad de infiltración (mm min^{-1}), consistió en cinco puntos de muestreo, cinco días de infiltración y jornadas de seis horas, como se muestra en la figura 1.

Donde en un lapso de 360 minutos en promedio ingresaron al suelo 70.55 mm con una velocidad de

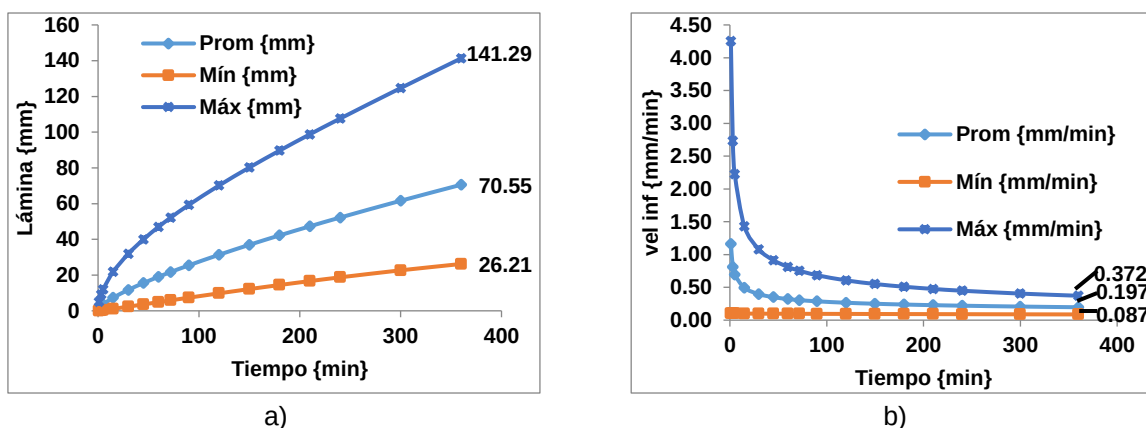


Figura 1. a) Lámina acumulada {mm} y b) velocidad de infiltración { mm min^{-1} }. Puntos de muestreo (N=5). Manzanares, San Luis de la Paz, Gto.

infiltración de $0.197 \text{ mm min}^{-1}$. Martínez y Osuna (2017) en un estudio realizado en un suelo *Feozem* con 30 años de manejo; rotación maíz-avena-triticale de riego y dos tipos de labranza, encontraron para un muestreo de infiltración, método doble anillo, al final del ciclo del cultivo de maíz, una velocidad de infiltración inicial de $0.398 \text{ mm min}^{-1}$ para barbecho + rastra y $1.566 \text{ mm min}^{-1}$ para labranza cero, después de 120 minutos, $0.003 \text{ mm min}^{-1}$ y $0.138 \text{ mm min}^{-1}$ respectivamente. En comparación con los resultados

del método, diagnóstico *in situ*, después del primer tratamiento de rotura vertical (2023) y antes del ciclo de cultivo de maíz de temporal, $1.164 \text{ mm min}^{-1}$ y $0.265 \text{ mm min}^{-1}$, al inicio y a dos horas del muestreo. Podemos observar claramente como el manejo convencional del suelo, afecta la entrada de agua en el perfil edáfico y también se puede deducir, que las prácticas intensivas de cosecha limitan la mejora progresiva del suelo, posiblemente por el tránsito de maquinaria en condiciones de humedad edáfica significativa.

Conclusiones

La variedad mejorada CAFIME Plus, tuvo buena adaptabilidad a las condiciones ambientales que se presentaron en la zona de estudio. La eficiencia hídrica que se determinó estuvo por debajo de la eficiencia hídrica promedio del estado, sin embargo, es un punto de referencia para estudios posteriores. Esta región ambiental se ve afectada por fenómenos atmosféricos adversos, donde el aprovechamiento del agua en la producción de cultivos de temporal se vuelve cada vez más difícil. Este parámetro nos puede ayudar a caracterizar el manejo de suelo con labranza de conservación en la producción de cultivos en sistemas de alta siniestralidad. En cuanto a la labranza de conservación, de manera pragmática se observó que el terreno, a dos años de manejo, aún no tiene la capacidad de retener la humedad que se presenta en eventos anteriores, por lo que se pretende se siga promoviendo su uso y cuantificar de manera numérica el mejoramiento de la estructura edáfica, de esta y más unidades de producción.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a Eleazar Pérez y Domingo Ramírez, por el trabajo en campo y la toma de muestras para su evaluación.

Al INIFAP, Sitio Experimental Norte de Guanajuato y Campo Experimental Bajío por la capacitación en el manejo de tecnologías que se utilizaron en estudio.

Referencias bibliográficas

Aguilar, G. R. y Ortega, G. A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 34, núm. 2. 91-104. Recuperado de internet: [http://satori.geociencias.unam.mx/34-2/\(03\)AguilarGarcia-34_2.pdf](http://satori.geociencias.unam.mx/34-2/(03)AguilarGarcia-34_2.pdf).

Aguilar García Ramón, María de Lourdes García Leños, Roberto Paredes Melecio. 2011. Manejo agronómico de una microcuenca en el Norte de Guanajuato, México. Reflexiones y propuestas. Folleto Técnico. INIFAP – CIRCE, Sitio experimental Norte de Guanajuato. La Refugio, San Luis de la Paz., GTO. México. 40p.

Aloé, M. J., Toribio, M. (2008). Como mejorar la eficiencia de uso del agua. Departamento de Investigación y Desarrollo. PROFERTIL. Número 14. Argentina. <https://www.profertil.com.ar/wp-content/uploads/2020/08/bt-n-14-como-mejorar-la-eficiencia-en-el-uso-del-agua.pdf>

Alonso, S. H., Tadeo, R. M., Espinosa, C. A., Zaragoza, E. J., y López, L. C. (2020). Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Volumen 11 número 5. pp. 1005-1016. Recuperado de internet: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2118/3328>

Braojos G., F. R., et al., 2001. Diversidad Rural en el Norte de Guanajuato. Problemas necesidades y tendencias de desarrollo de los sistemas de producción agropecuarios y los productores. SAGARPA, INIFAP, Campo Experimental Norte de Gto. San Luis de la Paz, México. Publicación especial No. 1.

Cárdenas, G. L. (2021). Diagnóstico *in situ*; movimiento de agua en el perfil edáfico Rancho San Nicolás del Carmen, San Luis de la Paz, Gto. Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

INEGI (2023). Censo agropecuario 2022. Resultados definitivos del censo agropecuario 2022 en el Estado de Guanajuato. Comunicado de prensa núm. 679/23, el 21 de noviembre de 2023. Páginas: 12. Recuperado de internet: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf

Luna, F. M., Gutiérrez, S. J., Peña, R. A., Echaverría, C. F. y Martínez, G. J. (2005). Comportamiento de variedades precoces de maíz en la región semiárida y

árida del centro-norte de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 28. pp. 39 – 45. Recuperado de internet:
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1143/1077>

Martínez, G. M. y Osuna, C.E. (2017). Impacto de la agricultura de conservación en propiedades físicas del suelo y rendimiento de la rotación maíz-avena/triticale forrajero de riego. INIFAP. Centro de Investigación del Noreste. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. Folleto Técnico No.1. Imprenta CAMPIZZO, San Luis Potosí, S.L.P. Tiraje de 500 ejemplares. Diciembre 2017 ISBN: 978-607-37-0877-7.

Recuperado de internet:
https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/media/folleto_tecnico/1057_4740_Impacto_de_la_agricultura_de_conservacion_en_propiedades_fisicas_del_suelo_y_rendimiento_de_la_rotacion_maiz-avena-triticale_forrajero_de_riego.pdf

Mendoza, V. A. J. (2017). Diagnóstico y análisis de las propiedades del suelo en dos unidades de producción de San Luis de la Paz, Gto. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

Ramírez, R. J.J. (2020). Generar curvas características de retención de humedad, para suelos locales utilizables en agricultura protegida por usuarios de escasos recursos, san Luis de la Paz, Gto. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz Gto. México. Tesis de licenciatura.

Ríos, R. J. (2017). Relación de las variables; densidad aparente y capacidad de infiltración del suelo, en sistemas agropecuarios del semiárido. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

SIAP (2024). Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Cierre agrícola 2024. Producción Agrícola. Ciclo: Cíclicos-Perennes. Modalidad: Temporal. Maíz para grano (ton) en San Luis de la Paz, Gto y el Estado Guanajuato. Consulta en internet: http://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/

Velazco, G. A., García, Z. J., Sahagún, C. J., Lobato, O. R., Sánchez, A. C. y Marín, M. M. (2020). Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en Valles Altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 43. pp. 517 – 524. Recuperado de internet:

<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/372>.

EFICIENCIA HÍDRICA DE PASTO FORRAJERO DE TEMPORAL EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORTE DE GUANAJUATO

Juan José Ramírez-Ramírez^{1*}, Ramón Aguilar-García¹

¹INIFAP, CIRCE, SENGUA

*Autor para correspondencia: ramirez.juan@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agua, suelo, forraje.

Introducción

El uso desmedido del agua de riego, como insumo, ha ido generalizando un problema de escases de agua en las comunidades más vulnerables de la región hidrológica de Guanajuato, (Aguilar y Ortega, 2017). La eficiencia hídrica es una variable que nos permite relacionar la producción de materia seca “fotosintátos” (kg ha^{-1}) y el consumo de agua en el ciclo del cultivo (m^3) (Sánchez et al., 2020). Este parámetro es un valor que se desconoce en los sistemas de producción, tanto para cultivos cíclicos, maíz y frijol, y perennes, principalmente pastos. El estrés hídrico y la disminución de la transpiración tienen como resultado una reducción en la producción de biomasa, lo cual generalmente también reduce el rendimiento (FAO, 2012). En México gran parte de las unidades de producción del norte y centro, realizan prácticas de manejo del pastoreo, lo que ha permitido la conservación y mejoramiento de la condición de algunas áreas de pastizales y matorrales, que a su vez pueden proporcionar servicios ambientales, principalmente captura de carbono para mitigar el cambio climático (Jurado et al., 2021). Los pastizales y matorrales de las zonas árida y semiárida del centro y norte de México son recursos naturales que comprenden alrededor del 25 % de la superficie nacional (SEMARNAT 2015). Según cifras de la SEMARNAT (2015), las tierras secas abarcan el 65% del territorio nacional y son amplias extensiones territoriales que representan hábitats forestales, de pastos y agropecuarios, muy valiosos para la vida silvestre y los grupos humanos que las habitan; se han perdido alrededor de 300 000 hectáreas de pastizales naturales y se incrementaron cerca de 3 000 hectáreas de pastizal inducido y cultivado. En el Norte de Guanajuato, en las unidades agropecuarias edafológicas predominan suelos *Feozems háplicos*, deficientes en fósforo (Braojos et al., 2001), utilizados como agostaderos. Es común encontrar 1% o menos de materia orgánica de 0–30 cm, la precipitación es de $487 \pm 127 \text{ mm año}^{-1}$, el 86% ocurre entre abril y octubre (Aguilar et al., 2011). Estas unidades edáficas están deterioradas y limitan el aprovechamiento del agua de lluvia, principalmente, a través de las raíces de los cultivos (Mendoza 2017; Ríos 2017; Ramírez 2020; Cárdenas 2021). Esta región se enfrenta a un cambio importante en el uso de suelo para la producción de cultivos de temporal, principalmente maíz y frijol. Han sido varios los esfuerzos por divulgar la problemática entre los diferentes actores y quienes toman las decisiones en las unidades de producción. En el Campo Experimental Norte de Guanajuato se ha desarrollado tecnología accesible para mitigar siniestralidad en gran parte de las unidades de producción. Dentro de las que destacan: “Diagnóstico *in situ* del suelo”, labranza de conservación “Rotura Vertical” y “Producción de pastos forrajeros”. Dentro de las especies de pasto adaptables a zonas en México de reconversión agroecológica se encuentran principalmente, nativas como: *Bouteloua*, *Setaria*, *Sporobolus*, *Pappophorum* entre otros (Álvarez et al., 2022). Para la zona del Norte de Guanajuato, como pastos introducidos y mezclas destacan: pastos Buffel, común, nueces o biloela (*Cenchrus ciliaris*), Rhodes (*Chloris gayana*), Klein (*Panicum coloratum*), Pretoria (*Dichanthium annulatum*) (PIEX, 2014). La producción agrícola, pastos y praderas han ido aumentando en los últimos cinco años en Guanajuato y a nivel nacional (SIAP, 2018-2023). La productividad del agua en producción de pasturas en México, oscila entre 0.67 y 1.49 kg m^{-3} (León et al., 2022). La producción agrícola se lleva a cabo en un entorno caracterizado por el riesgo y la incertidumbre; por lo tanto, se requieren procedimientos y herramientas para predecir la respuesta de los cultivos a un determinado suministro de agua, a fin de reducir la incertidumbre y manejar el riesgo (FAO, 2012).

Objetivo

El objetivo del estudio, evaluar la eficiencia hídrica en el establecimiento y producción de temporal de pastos nativos, bajo un esquema de manejo de suelo con labranza de conservación, rotura vertical, técnica agronómica que aumenta la capacidad del suelo de absorber y retener agua de lluvia. Como una opción

para los sistemas de producción de alta siniestralidad donde las condiciones de lluvia son cada vez más impredecibles y donde es imperativo mejorar las condiciones del suelo para la producción de cultivos.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en la comunidad de Manzanares perteneciente al municipio de San Luis de la Paz, Gto., México, a 21°19' LN y 100°25' LO, con una elevación de 2 051 msnm; precipitación media anual de 250 mm. Suelos de textura franco arcillo arenosa. La parcela tiene una superficie de 1 ha. Como antecedente, terreno manejado bajo el esquema tradicional de preparación de suelo; barbecho convencional por más de 20 años (menos de 30 cm de profundidad y más de 2 500 ton ha⁻¹ barbecho-1 de suelo removido) y problemas de compactación de suelo a menos de 30 cm del perfil edáfico. El manejo de reconversión agronómica bajo el sistema de labranza de conservación, Rotura Vertical (Aguilar y Ortega 2017) comenzó en el año 2021 y cuyo tratamiento de labranza se aplicó años posteriores. Para el año {1} y {4} se realizó Diagnóstico in situ (Cárdenas 2021), movimiento de agua en el perfil edáfico, se determinaron las variables velocidad de infiltración (mmmin⁻¹) y lámina acumulada (mm) del suelo. Se caracterizó la precipitación pluvial ocurrida en la zona, 281 mm, ciclo 2024. En el año {2}, se incorporó una cantidad de 1000 kg ha⁻¹ de estiércol compostado, este se inyectó a una profundidad promedio de 23.80 cm con ayuda de una fertilizadora convencional que se adaptó en el subsuelo. A partir del año {1} se ha sembrado mezcla de semillas forrajeras perennes y pastos (PIEX, 2014) y semillas cíclicas, maíz y frijol, el método de siembra ha sido al voleo se tapa con un paso de rastra agrícola y rastra de "ramas". La densidad de siembra fue en cada año de 80, 60, 60 y 80 kg ha⁻¹ de semilla, respectivamente. Para determinar la producción de materia seca (kg ha⁻¹), se tomaron nueve muestras al azar (1m² cada una) de pastura al final del ciclo del año {1} y {4} y se relacionó con la precipitación ocurrida durante cada ciclo, para obtener la eficiencia hídrica (kg m⁻³). Se realizaron dos Análisis de varianza (ANOVA), el primero consistió en AÑOS de labranza de conservación y MUESTRAS de fotosintátos, su variable respuesta, la eficiencia hídrica (kg m⁻³); el segundo para el efecto del manejo conservacionista de suelo, donde se evaluaron los AÑOS de labranza y SITIOS de muestreo de infiltración y cuya variable respuesta fue la lámina acumulada (mm). Las muestras de producción de materia seca y de infiltración, representaron el 30% de trabajo en campo. Su análisis se realizó en los programas de Microsoft Excel 2010, Curve Expert 1.4 ® y Minitab 16 ®.

Resultados y Discusión

Rendimiento por hectárea y eficiencia hídrica. Se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en los años {1} y {4}, en el rendimiento promedio de pasto, 1161 y 2694 kg ha⁻¹ y la eficiencia hídrica, 0.45 y 0.96 kg m⁻³, hubo un aumento de más del 40% en el aprovechamiento del agua por los cultivos. La precipitación para cada ciclo de producción estuvo en 260 mm para el año {1} y 280 mm para el año {4} (cuadro 1).

Cuadro 1. Eficiencia hídrica y rendimiento por hectárea en un ambiente semiárido "Norte de Guanajuato".

Muestras	Eficiencia hídrica {kg/ha}		Rendimiento {kg/ha}	
	Año {1}	Año {4}	Año {1}	Año {4}
M1	0.27	1.09	705.43	3056.5
M2	0.65	1.31	1700.13	3676
M3	0.38	0.82	1000.00	2302
M4	0.27	0.44	699.77	1245
M5	0.24	0.81	616.40	2270
M6	0.48	1.10	1259.78	3083.5
M7	0.15	0.66	399.90	1854
M8	0.60	1.23	1554.00	3454
M9	0.97	1.18	2518.33	3307
prom	0.45	0.96	1161.53	2694.22
máx	0.97	1.31	2518.33	3676.00
min	0.15	0.44	399.90	1245.00
Desv est	0.26	0.29	672.61	816.96
C.V %	0.58	0.30	0.58	0.30

El coeficiente de variación nos indica que la variabilidad entre las muestras del primer año fue alta, por lo que podemos deducir que las raíces tenían dificultad para explorar el terreno, debido al manejo de suelo convencional. González et al. (2020), reportaron una eficiencia de 0.75 kg m⁻³ en una región semiárida de Tamaulipas, de temporal con pasto híbrido, 1811 mm. En un estudio de riego en Sinaloa, por López et al., (2024) con una precipitación de 1898 mm se encontró una eficiencia hídrica de 0.73 kg m⁻³. En el cuadro 2 se pueden observar los tratamientos de labranza que se han aplicado al suelo en cuestión, y donde se describen algunas condiciones importantes del manejo.

Cuadro 2. Tratamientos de labranza de conservación para el manejo de suelo. Manzanares, San Luis de la Paz, Gto. México. Ciclos: 2021-2024.

Año {cual}	Fecha	Tratamiento labranza {tipo}	Prof. Prom {cm}	Prof. Máx {cm}	Desv. Estándar	CV {%}	Suelo removido {ton/ha}
{1}	2021	RV: cultv. 2 elem.	24.90	33.0	4.73	18.98	700.27
{2}	2022	RV: sub. 3 elem.	23.80	32.5	4.27	17.93	669.32
{3}	2023	RV: sub. 3 elem.	23.92	36.0	3.38	14.11	732.61
{4}	2024	cero labranza	ND	ND	ND	ND	ND

RV:cultv 2 elem.= Rotura Vertical: cultivadora 2 elementos; RV:sub 3 elem.= Rotura Vertical: Subsuelo 3 elementos; ND=no determinado.

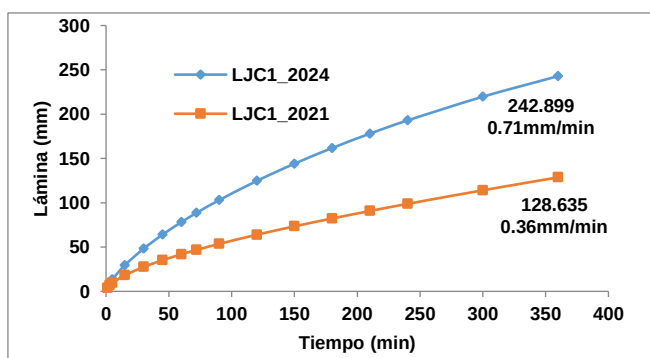
Se observa como el terreno tiene una condición estructural muy heterogénea en el primer año (presencia de piso de arado) y esta se reduce conforme se acondiciona con labranza de conservación. Los principios de la rotura vertical se basan en mover la menor cantidad de suelo posible. En el año {1} la cultivadora se acondicionó para que tuviera una superficie de contacto menor, la profundidad de labranza promedio mayor; posteriormente en los años {2} y {3}, rotura vertical con subsuelo, esta profundidad fue menor, debido principalmente a que la superficie de contacto de la azapata de cada timón, (ancho de 10 cm) por lo que ejercía más esfuerzo al tractor y menos profundidad. En el año {3} ya se observa mejoría y un efecto mejor en el desplazamiento del subsuelo, porque se ve menos variabilidad en el desplazamiento, en la profundidad de trabajo. Las toneladas de suelo removido, son menores en comparación con un barbecho convencional, donde, considerando la profundidad promedio del año {1} y una densidad aparente de 1.14 ton/m³ se moverían alrededor de 2 890 ton ha⁻¹ de suelo.

Movimiento de agua en el perfil edáfico

Se encontró diferencia significativa ($p \geq 0.05$) en los AÑOS de muestreo, pero no para los SITIOS, al no encontrar diferencia entre los SITIOS nos dice que pragmáticamente, los puntos de muestreo fueron representativos del lugar. Estos puntos, se establecieron a una distancia menor a tres metros entre sí. La magnitud encontrada en cada muestreo se observa en la figura 1.

SITIO	RV 1 año	RV 3 años
1	269.661	564.387
2	331.820	573.821
3	341.454	586.178
4	313.171	558.640
5	322.213	587.261

(a)



(b)

Figura 1. (a) Lámina acumulada {mm}, Días N=5 y (b) lámina acumulada {mm} Días N=1. Rancho Manzanares San Luis de la Paz, Gto. México.

Conclusiones

En el caso de praderas y pastizales como una opción para reconvertir las unidades de producción, se debe considerar la formación de patrones de especies, como lo reportan Hille et al., (2001), donde estos patrones de crecimiento pueden ocurrir en áreas semiáridas dada únicamente entre la densidad de plantas y la infiltración de agua local junto con la redistribución espacial de agua de escorrentía. Sin duda alguna, el manejo del suelo es fundamental para propiciar el crecimiento de especies nativas y en lo posible el establecimiento de especies introducidas, de acuerdo a la zona de cada unidad de producción.

El objetivo de estudio se cumple, pero además queda un aporte numérico para que esta información sirva para estudios posteriores, especialmente en la región semiárida del Norte de Guanajuato. Es evidente que el terreno se ha hecho más suave, por lo que se puede propiciar un ambiente más favorable para el desarrollo de la masa de raíces y a su vez el aprovechamiento de la humedad disponible.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a la comunidad de Manzanares y quienes participaron en el trabajo de campo y la toma de muestras para su evaluación y más, Eleazar Pérez y otros que ya no están.

Al INIFAP, Sitio Experimental Norte de Guanajuato y Campo Experimental Bajío por la capacitación en el manejo de tecnologías que se utilizaron en este estudio.

Referencias bibliográficas

Aguilar, G. R. y Ortega, G. A. (2017). Análisis de la dinámica del agua en la zona no saturada en un suelo sujeto a prácticas de conservación: implicaciones en la gestión de acuíferos y adaptación al cambio climático: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 34, núm. 2. 91-104. Recuperado de internet: [http://satori.geociencias.unam.mx/34-2/\(03\)AguilarGarcia-34_2.pdf](http://satori.geociencias.unam.mx/34-2/(03)AguilarGarcia-34_2.pdf).

Aguilar García Ramón, María de Lourdes García Leaños, Roberto Paredes Melecio. (2011). Manejo agronómico de una microcuenca en el Norte de Guanajuato, México. Reflexiones y propuestas. Folleto Técnico. INIFAP – CIRCE, Sitio experimental Norte de Guanajuato. La Refugio, San Luis de la Paz., GTO. México. 40p.

Álvarez H.A; Morales N.C; Corrales L.R; Prieto A.J; Iracheta L.I; Hernández Q.N. (2022). Estructura genética y aptitud ambiental de poblaciones de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] en Chihuahua, México. Rev. mex. de cienc. pecuarias vol.13 no.3 Mérida. Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242022000300830

Braojos G., F. R., et al., 2001. Diversidad Rural en el Norte de Guanajuato. Problemas necesidades y tendencias de desarrollo de los sistemas de producción agropecuarios y los productores. SAGARPA, INIFAP, Campo Experimental Norte de Gto. San Luis de la Paz, México. Publicación especial No. 1.

Cárdenas, G. L. (2021). Diagnóstico in situ; movimiento de agua en el perfil edáfico Rancho San Nicolás del Carmen, San Luis de la Paz, Gto. Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

González M.A., Garay M.J., Estrada D.B., Bernal F.A., Limas M.A., Joaquín C.S. (2020). Rendimiento y contenido de proteína en forraje y ensilado de pasto Insurgente e híbridos de *Urochloa*. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas, n.º 24 (abril). México, ME:177-89. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2368>

López I.H., Tirado R.M., Estrada A.M., Martínez G.J. (2024). Requerimiento Hídrico, Coeficiente de Cultivo y Productividad de Pasto Híbrido Convert 330 (*Brachiaria* sp) en un Clima Semiárido Cálido de México. TERRA LATINOAMERICANA VOLUMEN 42, 2024. e1797. Recuperado de: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1797/1864>

Mendoza, V. A. J. (2017). Diagnóstico y análisis de las propiedades del suelo en dos unidades de producción de San Luis de la Paz, Gto. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

Osuna, C.E. y Martínez, G. M. (2024). Indicadores de calidad de suelo y productividad sustentable con agricultura de conservación. INIFAP. Centro de Investigación del Noreste. CIRNE-INIFAP. Campo Experimental San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. Folleto Técnico No.1. Imprenta CAMPIZZO, San Luis Potosí, S.L.P.

PIIEX (2014). Proyecto Integral para el Abasto Sustentable de Agua y Forraje para la Ganadería en Guanajuato. Comité Estatal Sistema Producto Bovinos Carne. SAGARPA, INCA Rural, SINACATRI. (Folleto técnico). México.

Ramírez, R. J.J. (2020). Generar curvas características de retención de humedad, para suelos locales utilizables en agricultura protegida por usuarios de escasos recursos, San Luis de la Paz, Gto. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz Gto. México. Tesis de licenciatura.

Ríos, R. J. (2017). Relación de las variables; densidad aparente y capacidad de infiltración del suelo, en sistemas agropecuarios del semiárido. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Ext. San Luis de la Paz. San Luis de la Paz, Gto. México. Tesis de licenciatura.

SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ecosistemas terrestres. En: Informe de la situación del medio ambiente en México (2015).

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Resumen15_ejecutivo.pdf

SIAP (2018-2024). Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Cierre agrícola del 2018-2024. Producción Agrícola. Ciclo: Cíclicos-Perennes. Modalidad: Temporal. Pastos y praderas (ton) en el estado Guanajuato y México. Consulta en internet: http://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/

FAO (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO Riego y Drenaje 66. ISSN 0254-5284. Roma Italia.

Hille R.R., Rietkerk M., Van den Bosch., Prins H.H., Hans de Kroon. (2001). VEGETATION PATTERN FORMATION IN SEMI-ARID GRAZING SYSTEMS. Ecology, 82(1), 2001, pp. 50–61 q 2001 by the Ecological Society of America. Recuperado de: <https://doi.org/10.2307/2680085>

Jurado G. P., Velázquez M. M., Sánchez G. R., Álvarez H. A., Domínguez M. P., Garza C. R., Luna L. M., Chávez R. G. (2021). Los pastizales y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. Revista Mexicana de Ciencias Pecu 2021;12(Supl 3):261-285. Consultado en internet: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5875>

León de Dios G., Juárez R.J., Reyes I.F., Torres J.B., Nava M.F. (2022). Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto Pennisetum purpureum cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias, 13(4), 1055–1066. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217>

Velazco, G. A., García, Z. J., Sahagún, C. J., Lobato, O. R., Sánchez, A. C. y Marín, M. M. (2020). Análisis de la variabilidad morfológica de maíces nativos y exóticos en Valles Altos de México. Revista Fitotecnia Mexicana. Vol. 43. pp. 517 – 524. Recuperado de internet: <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/372>

EFFECTO DEL SULFATO DE AMONIO, CORRECTOR DE LA DUREZA DEL AGUA PARA HERBICIDAS SINTÉTICOS Y BIOHERBICIDAS

Ma. Eugenia Cisneros-López^{1*}, Flor Elena Ortiz-Chairez¹, Martín Espinosa-Ramírez¹

¹INIFAP, CIRNE, CE Río Bravo

*Autor para correspondencia: cisneros.maria@inifap.gob.mx

Palabras clave. Carbonatos, concentración, iones.

Introducción

El agua es el principal solvente en las aplicaciones de agroquímicos. La calidad del agua es un factor que con frecuencia puede afectar negativamente el desempeño de los pesticidas, especialmente los herbicidas. El agua con altas concentraciones de magnesio y calcio es un desafío; cuando se aplican herbicidas. Además del pH; el agua con altas concentraciones de calcio, magnesio, hierro, sodio y aluminio son clave, para la eficiencia de los herbicidas. Estos cationes del agua dura, especialmente calcio y magnesio, pueden, incluso causar daño en un tanque de aspersión cuando se acumulan (Mirzaei *et al.*, 2023). El uso de sulfato de amonio como corrector del agua para aspersión, es utilizado por los agricultores de la región. La justificación de este experimento se basa en que el sulfato de amonio, es usado por los agricultores como un mejorador de la calidad del agua dura, pero, solo contrarresta los efectos de los cationes de calcio, sin proporcionar protección alguna contra el magnesio y otros iones que forman sales (Maschhoff *et al.*, 2000).

Objetivo

Evaluar el efecto de la concentración del sulfato de amonio como corrector de la calidad del agua de uso agrícola y en la calidad fisicoquímica de la solución, en herbicidas sintéticos de uso convencional y de los nuevos bioherbicidas.

Materiales y Métodos

En el laboratorio de Planta, Suelo y Agua del CERIB-CIRNE. La fuente de agua fue del pozo en el Campo Experimental Río Bravo (25° 57' 16.9" N, 98° 01' 05.7" O; altitud 25 msnm). La fecha de la evaluación fue el 16-18 de diciembre de 2021. El análisis de la solución se realizó por métodos analíticos por triplicado, para determinar la concentración de los parámetros fisicoquímicos de la solución, se determinó en una muestra de cinco litros en el laboratorio siguiendo NOM-127-SSA1-2021. El Primer experimento se realizó para evaluar el efecto de cinco concentraciones de sulfato de amonio (0, 1, 2, 3, y 4 %); el testigo regional fue la dosis al 2 %. Los parámetros que se determinaron fueron: El pH, conductividad eléctrica, (CE dS m⁻¹), iones (meq L⁻¹): aniones (carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos); cationes (calcio, sodio, potasio y magnesio). Segundo experimento: En una solución con cinco litros de agua se agregó 2 % de sulfato de amonio y posteriormente se mezclaron a dosis comercial los herbicidas sintéticos: glifosato (726 g i.a), glufosinato de amonio (300 g i.a); paraquat (400 g i.a), carfentrazone etil (300 g i.a); y saflufenacil (42 g i.a) y diuron (1600 g i.a); los bioherbicidas comerciales a base de extractos vegetales alelopáticos: SEC natural (1 %), Herbitech (1 %) y SEC Bios (1 %). Este experimento se repitió, sin sulfato de amonio, solo se disolvieron los herbicidas en el agua. Los parámetros evaluados en la solución para ambos casos fue la conductividad eléctrica (dSm⁻¹) y pH.

Los análisis estadísticos 1) En el primer experimento se hicieron para un diseño completamente al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos (PROC GLM) y 2) En el segundo experimento se hizo un análisis de la varianza, con un diseño completamente al azar; en arreglo factorial; como factores el agua con dos concentraciones de sulfato de amonio (0 % y 2 %) y nueve herbicidas con tres repeticiones. La comparación de medias de Tukey y un análisis de correlaciones simples de Pearson del Paquete Estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2016).

Resultados y Discusión

Experimento uno

No hubo efecto significativo de la dosis de sulfato de amonio en la concentración de calcio, carbonatos, magnesio y pH del agua; por otra parte, tuvo efecto significativo ($p \leq 0.001$) en los bicarbonatos, cloruros, sodio y conductividad eléctrica. En la comparación de medias se observó, un incremento de la concentración del bicarbonato de calcio con el aumento de la dosis del sulfato de amonio; en comparación con el agua sin sulfato de amonio; la cual mantuvo los niveles más bajos (5.8 meq L⁻¹); al adicionar una unidad porcentual en esa misma proporcionó fueron incrementado estos niveles; al 2 % de concentración de sulfato de amonio; los bicarbonatos aumentaron hasta un 11 %; al 4 % de la concentración el incremento fue de 38 % (cuadro 1). Los cationes de calcio⁺⁺, magnesio⁺⁺ o bicarbonato tienen cargas eléctricas positivas que les permiten unirse a productos con carga negativa, como los herbicidas de baja acidez en solución, lo que los hace menos solubles. En casos extremos, el herbicida puede sedimentarse en el tanque de pulverización o, más comúnmente, reducir la capacidad del ingrediente activo para ser absorbido por las hojas; como ocurre en herbicidas de baja acidez; como el glifosato (Bastiani *et al.*, 2021). El carbonato de calcio es la principal fuente de dureza del agua a concentraciones de 250 a 350 ppm por millón (ppm) o su equivalente a 5 y 7 meq L⁻¹; por lo tanto, antes de adicionar el herbicida se debe corregir la dureza (Schortgen y Patton, 2023). La concentración inicial del carbonato de calcio en este experimento fue de 100 ppm (2.0 meq L⁻¹); así mismo se debe considerar el bicarbonato de sodio presentó una concentración de 353.8 ppm (5.8 meq L⁻¹); es decir la dureza total por los carbonatos sería de 453.8 ppm; además se presentaron en solución cationes de calcio⁺², magnesio⁺² y sodio⁺.

El sulfato de amonio tuvo efecto diferente entre los carbonatos, por un lado, incrementar los niveles del bicarbonato de calcio y reducir los niveles carbonato de calcio simple (cuadro 1). En cuanto al catión de calcio no hubo diferencias significativas entre los tratamientos; sin embargo, se observó; que los niveles más bajos fueron, cuando no se agregó el sulfato de amonio (5.6 meq L⁻¹) y en términos numéricos (5.9 meq L⁻¹) no hubo diferencia con respecto a la dosis de referencia (2 %). En el caso del ion del magnesio no hubo diferencias significativas entre los tratamientos la concentración fue similar sin y con sulfato de amonio a cualquier dosis (7.0 meq L⁻¹). En relación al ion de sodio principal mineral causante de la salinidad del agua; incremento de forma directamente proporcional a la concentración de sulfato de amonio ($r=0.986$); de niveles del 23.2 meq L⁻¹ sin sulfato de amonio en comparación a la dosis de referencia, se incrementó a doble de concentración (47.0 meq L⁻¹) y hasta casi cuatro veces al 4 %. El aumento en los niveles de sodio se reflejó o influyó en la conductividad eléctrica de los tratamientos (cuadro 1); la cual es un parámetro directo que mide la salinidad del agua. La adición del sulfato de amonio no modificó significativamente el pH de la solución en los tratamientos; con el uno por ciento se puede disminuir el principal compuesto que causa problemas de dureza en el agua, ya se observó un aumento en los bicarbonatos y el sodio. Los iones Mg⁺², Fe⁺³, Ca⁺² y Na⁺ se unen a las moléculas de glifosato en agua dura, impidiendo su unión a la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa); en consecuencia, se reduce la eficacia del herbicida (Mirzaei *et al.*, 2022).

Cuadro 1. Parámetros fisicoquímicos del agua a diferentes dosis de sulfato de amonio.

SAM(%)	Ca(HCO ₃) ₂	CaCO ₃	CL ⁻	SO ₄ ²⁻ (meq L ⁻¹)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	CE (dS m ⁻¹)	pH
0	5.8 b	2.0 a	22.3 ab	5.6 e	5.6 a	7.0 a	0.100 b	23.2 e	3.6 e	7.3 a
1	7.3 ab	0.0 a	21.6 ab	25.0 d	5.9 a	7.3 a	0.223 ab	47.0 d	6.2 d	7.2 a
2	7.7 ab	0.0 a	26.0 a	47.2 c	5.9 a	7.0 a	0.290 a	74.6 c	8.9 c	7.2 a
3	8.3 a	0.0 a	23.0 ab	69.0 b	6.2 a	7.0 a	0.293 a	92.4 b	10.5 b	7.0 a
4	8.0 a	0.0 a	23.0 ab	97.9 a	6.3 a	7.2 a	0.333 a	120.8 a	13.5 a	7.8 a
media	7.4	0.38	23.2	48.9	5.9	7.1	0.248	71.6	8.54	7.3

SAM: Sulfato de amonio; Carbonatos: Bicarbonato de calcio=Ca(HCO₃)₂ y Carbonato de calcio= CaCO₃; Sulfatos: SO₄²⁻; Cloruros: CL⁻; Ca: calcio, K: potasio; Na: sodio; CE: Conductividad eléctrica. Columnas con la misma letra iguales, no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05).

Experimento 2

El sulfato de amonio (2 %), modifica las propiedades físico químicas en la solución utilizando agua de pozo; los cambios en la conductividad y pH varían conforme al tipo de herbicida. Gómez *et al.* (2011) indican la adición del glifosato modifica la acidez del agua; con un pH inicial entre 4.5 hasta 8.5; después agregar el

herbicida a la solución; alcanza valores entre 4.03 a 4.13, datos similares al reportado en este experimento. El pH de la solución en agua sin sulfato de amonio más el herbicida sintético tuvo un rango entre 6.80 y 4.99; no hubo diferencias significativas entre glufosinato de amonio, carfentrazone etil, diuron y saflufenacil; las diferencias estadísticas más contrastantes fueron con el glifosato con el pH más bajo (pH=4.99); entre el diuron y glufosinato de amonio versus el paraquat; así como entre el glifosato y paraquat. Mientras que entre los bioherbicidas no hubo diferencias significativas el rango osciló entre los 6.05 a 6.16 para los tres productos. La conductividad eléctrica fue un parámetro muy variable entre los herbicidas sintéticos; por otra parte, en los bioherbicidas no hubo diferencias significativas (cuadro 2). El paraquat tuvo el registro más alto de conductividad (6.09 dS m⁻¹); después, el glifosato (5.51 dS m⁻¹) y el glufosinato de amonio (4.39 dS m⁻¹), estadísticamente diferentes entre sí; además diferentes al carfentrazone etil, diuron y saflufenacil; los cuales tuvieron la conductividad más baja (3.55 a 3.63 dS m⁻¹). Los tres bioherbicidas fueron estadísticamente diferentes al glifosato (cuadro 2).

La adición del sulfato de amonio (2 %) al agua, el pH de la solución con el herbicida incremento en general para los seis herbicidas sintéticos y para los tres bioherbicidas, el cambio fue menor a una unidad; por otra parte, el glifosato fue el herbicida que menos cambios experimentó en comparación con el resto de herbicidas.

Cuadro 2. Efecto del sulfato de amonio en solución con los herbicidas sintéticos y los bioherbicidas comerciales. Solvente agua de pozo del CERIB-CIRNE.

	Herbicidas sintéticos						Bioherbicidas		
	glifosato	paraquat	glufosinato de amonio	carfentrazone etil	diuron	saflufenacil	SEC natural	Herbitech	SEC Bios
Sin sulfato de amonio									
pH	4.99 d	6.41 b	6.80 a	6.68 ab	6.75 a	6.62 ab	6.16 c	6.08 c	6.05 c
CE	5.51 b	6.09 a	4.39 c	3.55 e	3.63 e	3.63 e	4.00 d	3.96 d	3.95 d
Con sulfato de amonio (2 %)									
pH	5.03 f	6.93 bc	7.11 ab	7.42 a	6.92 bc	6.84 c	6.52 d	6.35 e	6.33 e
CE	13.82 a	13.76 ab	12.43 ab	11.91 bc	11.61 c	12.01 ab	12.35 ab	11.72c	12.62 ab
P:P	2.51	2.26	2.83	3.35	3.20	3.31	3.09	2.96	3.19

CE y Ph= Conductividad eléctrica (dS·m⁻¹) de la solución. Columnas con la misma letra iguales, no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). P:P= Proporción entre la solución con sulfato de amonio (2%) y sin sulfato de amonio.

En comparación con los cambios de pH, la conductividad eléctrica de la solución registró un incremento drástico con la adición del sulfato de amonio en todos los herbicidas (cuadro 2); hasta 3.35 veces más en el carfentrazone etil; mientras que para el glifosato fue de (2.51 veces) y paraquat (2.26 veces). El sulfato de amonio aumenta la absorción foliar y la translocación de glufosinato amonio en varias malezas de hoja ancha en experimentos de invernadero y campo (Maschhoff *et al.*, 2000); en el glifosato el sulfato de amonio también aumenta su efectividad (Bastiani *et al.*, 2021).

Conclusiones

La concentración de sulfato de amonio modificó la concentración del bicarbonato de calcio y sodio, las cuales pueden influir en la efectividad del herbicida, ya que la dureza total del agua aumentó en forma proporcional al incremento de la concentración del sulfato de amonio; por el incremento del bicarbonato y el sodio. Este cambio se vio reflejado en el aumento de la conductividad eléctrica, pero no el pH de la solución. La adición del herbicida modifica acidez inicial y la salinidad del agua; el grado de variación depende del tipo de herbicida; al adicionar el sulfato de amonio (2 %) como corrector de la dureza del agua. Los mayores cambios se registraron en el grado de salinidad de la solución (CE). La efectividad de un herbicida en campo se puede perder, por la inactivación química; debido a la calidad inicial del agua, por la concentración de sulfato de amonio como corrector de la dureza. Esta respuesta está relacionada con el tipo de herbicida; por lo tanto, es necesario hacer análisis previo de la calidad del agua; para ensayos específicos por herbicida y medir el grado de efectividad sobre la maleza o malezas objetivo.

Fuente financiadora

Proyecto 12555536716: Alternativas al uso del glifosato para el control de maleza en México 2024.

Referencias bibliográficas

- Bastiani, M.O., Roma-Burgos N., Langaro AC, et al. 2021. Ammonium sulfate improves the efficacy of glyphosate on South African lovegrass (*Eragrostis plana*) under water stress. *Weed Science*. 69(2):167-176. <https://doi:10.1017/wsc.2020.97>.
- Schortgen, G. P. and Patton, A.J. 2023. Improved control of *Taraxacum officinale* with 2,4-D in the field from ammonium sulphate additions, *Weed Research*. 64(2) 119-126. <https://doi:10.1017/wsc.2020.97.10.1111/wre.12609>.
- Gómez, V. J. M., Pitty, A. y Miselem, J. 2011. Efecto del pH del agua en la efectividad de los herbicidas glifosato, fluazifop-p-butyl y bentazon. *Ceiba* 47(1-2). <https://doi:10.5377/ceiba.v47i1-2.443>
- Maschhoff, J.R., Hart, S.E. and Baldwin, J.L. 2000. Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption, and translocation of glufosinate. *Weed Science*. 48(1):2-6. [https://doi:10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0002:EOASOT\] 2.0.CO; 2](https://doi:10.1614/0043-1745(2000)048[0002:EOASOT] 2.0.CO; 2).
- Mirzaei, M., Zand, E., Rastgoo, M., Hasanfard, A. and Kudsk, P. 2023 Effects and mitigation of poor water quality on herbicide performance: a review. *Weed Research*, 63, 139–152. <https://doi:10.1111/wre.12573>

EVALUACIÓN DE UN BIOPROCESO INTEGRADO POR MICROALGAS Y CIANOBACTERIAS PARA EL TRATAMIENTO DE NEJAYOTE

Elias Asuncion-Cruz¹, Miguel Ángel Vital-Jácome², Alejandro Téllez-Jurado¹, Rocío Ramírez-Vargas^{1*}
¹Posgrado en Biotecnología, Universidad Politécnica de Pachuca. ²Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica

*Autor para correspondencia: rocioramirez@upp.edu.mx

Palabras clave. Biorremediación, residuo, consorcio microbiano.

Introducción

El nejayote es un desecho agroindustrial generado durante de la nixtamalización, que es la cocción de los granos de maíz en una solución alcalina. Se estima que anualmente se generan 14.4 millones de m³ de este efluente, que es considerado como un residuo de interés ambiental debido a sus propiedades fisicoquímicas, las cuales presentan valores elevados. Entre sus principales propiedades se encuentran la demanda química de oxígeno (DQO) (1.70 a 52.8 g O₂·L⁻¹), el pH (9.00 a 13.48), su concentración de sólidos disueltos (3.20 a 31.9 g·L⁻¹), de nitrógeno total (0.21 a 0.44 g·L⁻¹), de carbono orgánico total (2.98 a 9.84 g·L⁻¹) e iones de calcio (1.50 a 4.00 g·L⁻¹) (Valenzuela et al., 2024). Para reducir la carga contaminante del nejayote se han reportado distintos métodos y estrategias, entre las cuales destacan los procesos biológicos que se centran en el uso de microorganismos para reducir algunas de las propiedades contaminantes, aprovechar el residuo como medio de cultivo e inclusive obtener productos de interés. Entre los procesos biológicos que han sido evaluados para el tratamiento de efluentes de nejayote se encuentran las microalgas, microorganismos unicelulares con la capacidad de absorber nutrientes, degradar compuestos tóxicos y generar biomasa útil. Sin embargo, uno de los principales desafíos para el cultivo de microalgas en residuos como el nejayote es su alta turbidez, la cual limita la penetración de luz en el medio afectando negativamente la eficiencia fotosintética (García et al., 2023).

Objetivo

Evaluar un bioproceso integrado por un consorcio alcalófilo de microalgas y cianobacterias mediante pruebas respirométricas y cinética de crecimiento, para su aplicación en el tratamiento de nejayote.

Materiales y Métodos

El consorcio de microalgas y cianobacterias se mantuvo en fotobiorreactor tipo columna de burbujas con un volumen de operación de 5 L, un tiempo de retención hidráulica de 7 d, un fotoperiodo de 12:12 (horas luz: horas oscuridad) y temperatura ambiente. La composición del medio Zarrouk usado en el fotobiorreactor fue: Na₂CO₃ (4.03 g·L⁻¹), NaHCO₃ (13.61 g·L⁻¹), K₂HPO₄·H₂O (1 g·L⁻¹), NaCl (1 g·L⁻¹), K₂SO₄ (1 g·L⁻¹), CaCl₂·H₂O (0.04 g·L⁻¹), solución de KNO₃ 25 mL·L⁻¹ (101 g·L⁻¹), solución de MgCl₂ 1 mL·L⁻¹ (200 g·L⁻¹) y solución de elementos traza (2 mL·L⁻¹). La concentración promedio de biomasa en el fotobiorreactor fue de 1.64 ± 0.19 g·L⁻¹.

El nejayote utilizado se obtuvo de una tortillería local en Pachuca, Hidalgo. El residuo fue recolectado en recipientes de plástico de 20 L para después ser homogenizado y finalmente almacenado en garrafones de 4 L a -4°C hasta su uso. Para los experimentos fueron realizados pretratamientos de filtración al residuo usando mallas de 425, 180 y 150 µm, además de una centrifugación a 4,000 rpm durante 30 min a 4°C, esto para disminuir la concentración de sólidos en el nejayote. El residuo fue caracterizado mediante pruebas de DQO, pH, conductividad eléctrica, carbohidratos totales, sólidos totales, sólidos volátiles, carbono total y nitrógeno total, las pruebas se realizaron en el residuo después de haber realizado el pretratamiento de filtrado y centrifugado (NFC).

Para evaluar el efecto del nejayote sobre la tasa de producción de oxígeno (OPR) del consorcio de microalgas y cianobacterias se realizaron pruebas respirométricas. Fue utilizado el equipo SDR SensorDish® Reader con placas OxoDish® OD24 para la medición de oxígeno disuelto (OD, mg O₂·L⁻¹). La evaluación se realizó a 200 rpm, a temperatura ambiente, con una PAR de 90.65 µmol m⁻²·s⁻¹. Se evaluaron 3 medios distintos los cuales fueron previamente esterilizados: i) medio Zarrouk (Z), ii) medio mineral (Zarrouk sin la adición de Na₂CO₃ y NaHCO₃) con nejayote filtrado y centrifugado (MM-NFC) y iii)

medio Zarrouk con nejayote filtrado y centrifugado (Z-NFC). Para los medios MM-NFC y Z-NFC se adicionaron 500 mL L⁻¹ de nejayote a la composición del medio. Para los experimentos se adicionaron 1.9 mL de medio y 0.1 mL de un inóculo concentrado proveniente del fotobiorreactor, para el cual se tomaron 120 mL de cultivo y fueron centrifugados a 4,000 rpm por 20 minutos, la biomasa fue resuspendida en 20 mL de medio mineral (medio Zarrouk sin carbonatos).

La tasa de producción de oxígeno fue determinada usando los datos de oxígeno disuelto y la Ecuación 1 propuesta por Li et al., (2024).

$$OPR = \frac{dO_2}{dt} - OTR = \frac{dO_2}{dt} - K_L a \cdot (S_{O_2}^{sat} - S_{O_2}) \quad (1)$$

En donde, OPR es la tasa de producción de oxígeno, OTR es la tasa de transferencia de oxígeno, dO_2 es la diferencia de oxígeno, dt es la diferencia en tiempo, $K_L a$ es el coeficiente volumétrico de transferencia de masa (este valor fue previamente determinado bajo las condiciones experimentales descritas, $K_L a = 5.97 \pm 0.88 \text{ h}^{-1}$), $S_{O_2}^{sat}$ es concentración de saturación de oxígeno disuelto y S_{O_2} es la concentración de oxígeno disuelto medida en cada instante.

Además, se realizaron cinéticas de crecimiento del consorcio de microalgas y cianobacterias usando los medios Z, MM-NFC y Z-NFC. Las cinéticas fueron realizadas a 130 rpm, 30°C, con una PAR de 90.65 $\mu\text{mol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y una duración de 60 d. Para el cálculo del porcentaje de remoción de DQO en los medios se determinó la concentración inicial y final en los medios con nejayote.

Todas las evaluaciones experimentales fueron realizadas por triplicado y se llevó a cabo un análisis de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos. La descripción general de la metodología seguida para la realización de este estudio puede observarse en la figura 1.

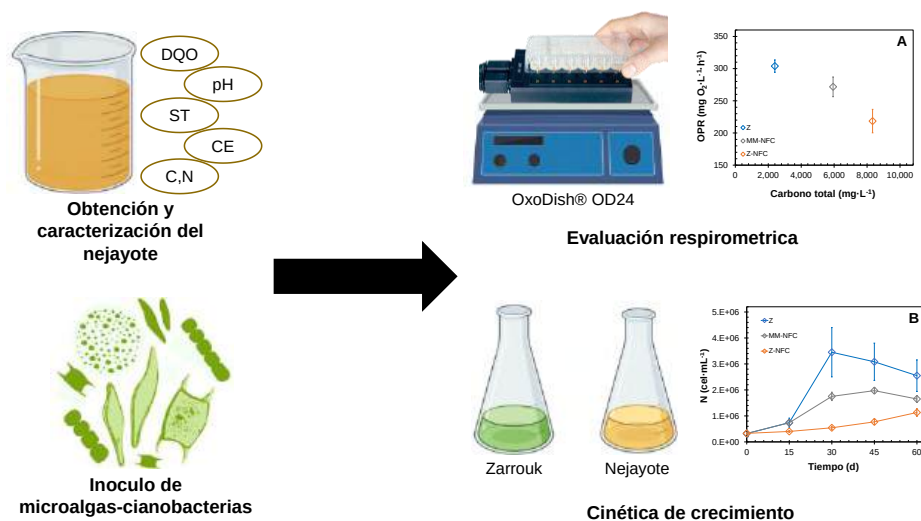


Figura 3. Descripción general de la metodología.

Resultados y Discusión

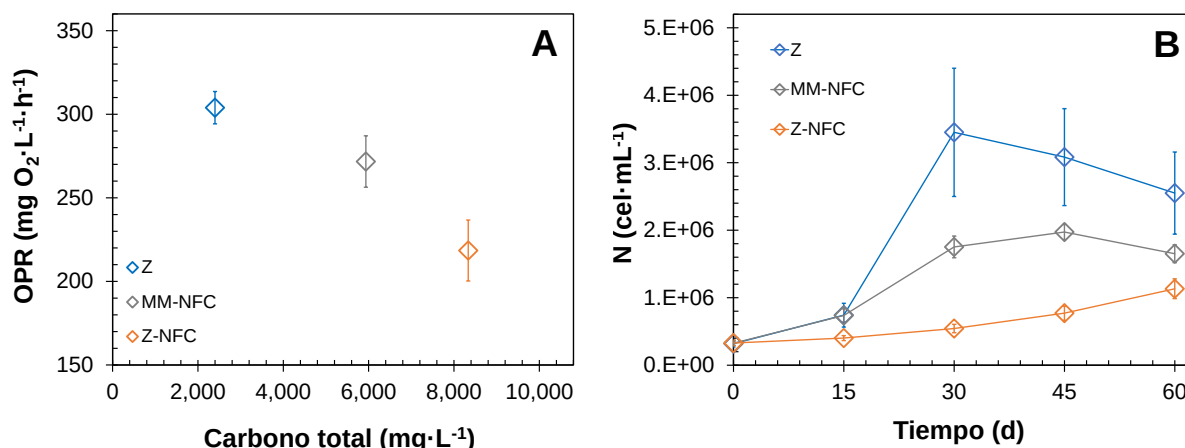
Los resultados de la caracterización del nejayote filtrado y centrifugado se muestran en el cuadro 1. Cabe mencionar que todos los resultados obtenidos para Demanda química de oxígeno, pH, carbono orgánico y Nitrógeno total se encontraron dentro de los intervalos reportados por Valenzuela et al., (2024).

Para la determinación del efecto del nejayote sobre la actividad del consorcio se realizaron pruebas respirométricas en un medio control (Z) y en medios con nejayote filtrado y centrifugado (MM-NFC y Z-NFC), por medio de las cuales fue determinada la OPR (figura 2.A). Además, fueron realizadas cinéticas con los mismos medios para evaluar su crecimiento (figura 2.B). A partir de estas cinéticas también fue calculado el porcentaje de remoción de DQO en los medios (cuadro 2).

Cuadro 1. Comparación de los resultados de la caracterización del nejayote filtrado y centrifugado (NFC) con datos reportados en literatura para nejayote.

Propiedad	Valores determinados para NFC en este trabajo	Valores reportados por Valenzuela et al., (2024)
Demanda química de oxígeno ($\text{g O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	26.27 ± 0.00	1.70 a 52.8
pH	11.52 ± 0.01	9.00 a 13.48
Conductividad eléctrica ($\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)	6.84 ± 0.01	NR
Sólidos totales ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	26.50 ± 1.11	NR
Sólidos volátiles ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	19.92 ± 0.44	NR
Alcalinidad ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	2.25 ± 0.25	NR
Carbohidratos totales ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	8.34 ± 0.78	NR
Carbono total ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	12.07 ± 0.16	NR
Carbono orgánico ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	11.77 ± 0.16	2.98 a 9.84
Carbono inorgánico ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.29 ± 0.002	NR
Nitrógeno total ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.33 ± 0.005	0.21 a 0.44

NFC: Nejayote filtrado y centrifugado. NR: No reportado.



Como puede observarse en el cuadro 2, el valor más alto de OPR ($303.94 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) se determinó en el medio Z, sin embargo, no presentó diferencias significativas con la OPR alcanzada en el medio MM-NFC, esto permite decir que la presencia de nejayote en el medio MM-NFC no afectó significativamente la actividad respiratoria del consorcio de microalgas y cianobacterias.

Por otro lado, el valor más bajo de OPR se presentó en el medio Z-NFC ($218.46 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), indicando que la actividad respiratoria por parte del consorcio de microalgas y cianobacterias disminuyó de forma significativa en el medio Z-NFC, el cual contenía la mayor concentración de carbono, ya que incorpora tanto el carbono del medio Zarrouk como el presente en el nejayote. Es posible decir que la disminución en la OPR en este medio está relacionada con algún proceso inhibitorio o al estrés causado por la turbidez del medio que ocasionaría una disminución en la penetración de luz (García et al., 2023). Es importante mencionar que los valores de la OPR determinados en este estudio usando un consorcio alcalófilo de microalgas y cianobacterias en presencia de un residuo como el nejayote son elevados en comparación con algunos otros valores reportados para microalgas, por ejemplo, en la revisión bibliográfica de Rossi et al., (2020), enfocada en biorremediación y técnicas respirométricas se reportaron valores de OPR menores a $39 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ en la mayoría de los trabajos, sin embargo, también se encontraron intervalos de 1.8 hasta $14,000 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Cuadro 2. Resultados de la evaluación del consorcio de microalgas y cianobacterias en medio Zarrouk (Z), medio mineral con nejayote filtrado y centrifugado (MM-NFC) y medio Zarrouk con nejayote filtrado y centrifugado (Z-NFC).

Medio	Evaluación respirométrica		Evaluación cinética	
	Carbono total (mg·L ⁻¹)	OPR (mg O ₂ ·L ⁻¹ ·h ⁻¹)	Nmax (cel mL ⁻¹)	Remoción DQO (%)
Z	2,400	303.94 ± 9.70 A	3.13E+06	NA
MM-NFC	5,935	271.68 ± 15.38 A	1.97E+06	91.70 ± 0.70 B
Z-NFC	8,335	218.46 ± 18.22 B	1.13E+06	62.97 ± 12.62 A

Letras iguales por fila indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$).

Nmax: Concentración celular máxima. NA: No aplica.

Respecto a los resultados obtenidos de las cinéticas de crecimiento del consorcio de microalgas y cianobacterias se observó que para el medio control (Z) se obtuvo la mayor concentración celular ($3.13E+06$ cel mL⁻¹), mientras que en los medios formulados con nejayote las concentraciones máximas fueron menores, indicando que la presencia de nejayote en los medios afecta la actividad respiratoria y el crecimiento de las microalgas y cianobacterias, específicamente, como puede observarse en el cuadro 2, en el medio Z-NFC, tanto la OPR como la Nmax presentaron los valores más bajos.

Finalmente, para determinar la aplicabilidad de un bioproceso integrando por microalgas y cianobacterias para el tratamiento de nejayote fue evaluado el porcentaje de remoción de DQO, encontrándose valores superiores al 60 % (cuadro 2), permitiendo establecer que la actividad respiratoria y el crecimiento de estos microorganismos se ve afectado, pero que algunos otros procesos asociados a su actividad biológica permiten reducir la carga contaminante de este residuo.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demostraron que es posible aplicar un bioproceso integrado por un consorcio alcalófilo de microalgas y cianobacterias para el tratamiento de nejayote, ya que se lograron porcentajes de remoción de DQO hasta de 91.70 ± 0.70 , específicamente cuando este residuo se incorpora en la formulación de un medio de cultivo (MM-NFC) donde se proveen las condiciones necesarias para que la tasa de producción de oxígeno (OPR) y la concentración celular máxima (Nmax) no disminuyan considerablemente.

Agradecimientos

A SECIHTI, Becario No. 1317519.

Referencias bibliográficas

- García, A., Valenzuela, E. I., Vargas, A., de Godos, I., Muñoz, R., Wang, M., Vital-Jácome, M., & Quijano, G. (2023). Wastewater treatment potential, light penetration profile and biomass settling performance of a photo-sequencing batch reactor. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 98(2), 346–356. <https://doi.org/10.1002/jctb.7249>
- Li, Y., Deconinck, T., Barati, B., Van Hulle, S. W. H., & Rousseau, D. P. L. (2024). The effect of cadmium on a semi-self-sustaining microalgal-bacterial granular sludge process for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 60, 105196. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105196>
- Rossi, S., Sforza, E., Pastore, M., Bellucci, M., Casagli, F., Marazzi, F., & Ficarra, E. (2020). Photo-respirometry to shed light on microalgae-bacteria consortia—a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19(1), 43–72. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09524-2>
- Valenzuela, E. I., Gutiérrez-Urbe, J. A., Franco-Morgado, M., & Cervantes-Avilés, P. (2024). Navigating the waters of nixtamalization: Sustainable solutions for maize-processing wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 911, 168674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168674>

USO DE DATOS METEOROLÓGICOS MEDIDOS Y ASIMILADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

Gerardo Delgado-Ramírez^{1*}, Juan Estrada-Ávalos¹, Ramón Trucíos-Caciano¹, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes¹, Eva Aurora Bautista-Calderón¹

¹ INIFAP, CENID RASPA

*Autor para correspondencia: delgado.gerardo@inifap.gob.mx

Palabras clave. Datos de reanálisis, ecuaciones empíricas, plataforma NASA-POWER.

Introducción

La evapotranspiración de referencia (ET_0) se refiere a la tasa de evapotranspiración de un cultivo de referencia, generalmente pasto o alfalfa, que se caracteriza por tener una altura de 0.12 m, una resistencia superficial fija de 70 s m^{-1} y un albedo de 0.23. Este cultivo se encuentra en condiciones óptimas: en crecimiento activo, uniforme, bien irrigado y libre de enfermedades y plagas, proporcionando sombra total al suelo. La ET_0 es un indicador que mide la demanda de evaporación de la atmósfera, y es independiente del tipo de cultivo, su desarrollo y de las prácticas de manejo utilizadas. Esta variable se ve exclusivamente influenciada por factores climáticos y puede ser calculada a partir de datos meteorológicos.

La estimación de la ET_0 es esencial como primer paso en la planificación, diseño y gestión de diversos sistemas de riego. Este parámetro constituye la base sobre la cual se fundamenta el diseño agronómico de cualquier sistema de riego, facilita su operación a través de una adecuada programación. Además, permite la planificación del uso eficiente del recurso hídrico en una cuenca o en un distrito de riego. Por todo ello, contar con una estimación precisa de la ET_0 es vital para una adecuada gestión del agua, especialmente en regiones áridas y semiáridas donde la disponibilidad hídrica es limitada.

En la actualidad, se han desarrollado numerosas ecuaciones empíricas fundamentadas tanto en experimentos de campo como en enfoques teóricos. Entre estos métodos se encuentran el tanque evaporímetro y diversas ecuaciones, como el modelo físico completo (FAO-56 Penman-Monteith), así como aquellas que se basan únicamente en la temperatura, como las de Blaney-Criddle, Thornthwaite y Turc. También existen ecuaciones que combinan la temperatura y la radiación, tales como Hargreaves, Jensen-Haise, Priestley-Taylor y FAO Radiation, entre otras.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda el método normalizado Penman-Monteith, tal como se describe en el Manual FAO-56, dado que es aplicable en diversas zonas áridas, templadas y tropicales (Allen *et al.*, 2006). Sin embargo, este método requiere varias variables meteorológicas específicas, como la temperatura (T), la radiación solar (R_s), la humedad relativa (HR) y la velocidad del viento (VV), lo que limita su implementación generalizada. Por ello, su uso se ve restringido en regiones donde no hay estaciones meteorológicas o donde la disponibilidad de datos es escasa, ya que no suelen ofrecer la frecuencia y calidad necesarias. En este contexto, otras ecuaciones pueden resultar útiles en regiones con muy poca información climatológica. Por ejemplo, las ecuaciones Hargreaves-Samani (HS) y Blaney-Criddle (BC) son las más comunes en tales situaciones, ya que solo requieren la temperatura como variable de entrada.

Asimismo, los datos de reanálisis o los datos meteorológicos asimilados representan una fuente alternativa de información para estimar la ET_0 . Estos datos se encuentran disponibles en diversas plataformas tales como NASA-POWER, GLDAS, CFSv2, NLDAS y NDFD, siendo la primera la más utilizada para la estimación de ET_0 . La plataforma NASA-POWER (National Aeronautics and Space Administration-Prediction of Worldwide Energy Resource) (NP) (NASA, 2023) proporciona datos diarios sobre temperatura del aire, precipitación, humedad relativa, radiación, dirección y velocidad del viento; es gratuita y de fácil acceso. No obstante, es fundamental llevar a cabo una evaluación y validación de esta información climática de NASA-POWER mediante estaciones meteorológicas *in situ* en el área de interés.

Objetivo

Evaluar la precisión de la ET_0 calculada con los métodos BC y HS en comparación con el método de referencia FAO-56 Penman-Monteith (PM), utilizando los datos de temperatura (máxima y mínima) de la plataforma NASA-POWER (NP), abarcando diferentes períodos de cálculo (diario, promedio y acumulado de 5 días).

Materiales y Métodos

La ET_0 se calculó utilizando tres ecuaciones empíricas, cada una de ellas con distintos requerimientos de información. La primera se basa en un modelo físico completo conocido como “FAO-56 Penman-Monteith” (PM) (Allen *et al.*, 2006; Allen *et al.*, 1996). La segunda, por otro lado, utiliza la temperatura y la radiación solar a través del método “Hargreaves-Samani” (HS) (Hargreaves y Samani, 1985). Por último, la tercera ecuación se apoya en la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento, conocida como “Blaney-Criddle” (BC) (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Para estimar la ET_0 con la ecuación PM, se recopilaron datos diarios promedio de diversas variables meteorológicas, incluyendo temperatura (T), radiación solar (Rs), humedad relativa (HR) y velocidad del viento (VV). Estos datos fueron obtenidos de una estación meteorológica automatizada (EMA) inalámbrica, marca Davis modelo *Vantage Pro 2 Plus*. El estudio abarcó un período que va del 26 de febrero al 9 de agosto de 2021, con total de 165 días de observación. La EMA se localiza en una unidad de producción agrícola en el Módulo XII del Distrito de Riego 017, en la Región Lagunera, a una altitud de 1110 msnm y coordenadas 25° 47' 00.32" latitud norte y 103° 18' 46.54" longitud oeste.

El cálculo de ET_0 para las dos fórmulas restantes (HS y BC), se descargaron datos de temperatura máxima y mínima promedio diario de la plataforma NP tomando como base la ubicación geográfica de la EMA. La resolución horizontal de la fuente de datos meteorológicos de la plataforma NP es de una cuadrícula de 1/2° x 5/8° de latitud y longitud. Estos datos provienen del modelo de asimilación GMAO MERRA-2 de la NASA y GEOS 5.12.4 FP-IT. El equipo de la plataforma NP procesa diariamente los datos de GEOS y los combina con los de MERRA-2 para generar series de tiempo diarias, lo que permite obtener productos de baja latencia que generalmente están disponibles en un plazo de aproximadamente dos días (en tiempo real).

Los parámetros inferenciales utilizados para evaluar las ecuaciones empíricas que estimaron la ET_0 (HS y BC) a partir de los datos de temperatura máxima y mínima de la plataforma NP, tomando como referencia el método PM (que se determinó con datos de la EMA), fueron los siguientes: coeficiente de determinación (R^2), error cuadrático medio (RMSE), porcentaje de error de estimación (PE), sesgo medio del error (MBE) y coeficiente de correlación (r).

La ET_0 se estimó de tres formas diferentes con ecuaciones empíricas (diaria, promedio y acumulada de 5 días), utilizando un total de 165 observaciones.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 se muestra la relación entre las variables meteorológicas medidas por la EMA y las obtenidas por la plataforma NP durante el período evaluado. En este análisis, se observó que la velocidad del viento (VV) y la radiación solar (Rs) presentaron una relación baja y moderada, respectivamente. En contraste, la Tmax y la HR mostraron una relación alta, mientras que la Tmin evidenció una relación muy alta. Es importante destacar que la VV fue la variable con el menor valor de R^2 . En consecuencia, existen muchos desafíos en la determinación de esta variable, tales como el control de calidad de los datos medidos, dado que la mejora en este aspecto podría facilitar la obtención de estimaciones más precisas.

Cuadro 1. Relación entre las variables meteorológicas medidas por la estación meteorológica automatizada (EMA) y las obtenidas por la plataforma NASA-POWER (NP) durante el período evaluado.

Variables Meteorológicas	Coeficiente de Determinación (R^2)				
	Tmax_NP	Tmin_NP	HR_NP	VV_NP	RS_NP
Tmax_EMA	0.76				
Tmin_EMA		0.81			
HR_EMA			0.80		
VV_EMA				0.27	
RS_EMA					0.45

Tmax = Temperatura máxima (°C); Tmin = Temperatura mínima (°C); HR = Humedad Relativa (%); VV = Velocidad del viento (m seg⁻¹); Rs = Radiación solar (MJ m⁻² d⁻¹).

La figura 1 muestra el sesgo de los datos medidos de la estación meteorológica automatizada (EMA) y los datos asimilados de la plataforma NP para diversas variables meteorológicas, incluyendo temperatura (tanto máxima como mínima), humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Se destaca que el

44% de los datos evaluados en relación a la temperatura máxima ($n = 165$) presentan sesgos cercanos a cero. En contraste, el 39% de los datos de la plataforma NP sobrestima la T_{max} en un rango de 2.1 a 7.5 °C, mientras que el 17% restante subestima la T_{max} entre 1.2 y 5.5 °C (figura 1a). En lo que respecta a la temperatura mínima, el 39% de los datos analizados también presenta sesgos cercanos a cero. Sin embargo, un 46% de los datos NP sobrestima la T_{min} entre 1.6 y 5.1 °C, mientras que el 15% restante la subestima en un rango de 1.8 a 5.3 °C (figura 1b).

Al analizar la HR, se observó que solo el 16% de los datos evaluados exhibieron valores de sesgo cercanos a cero. La plataforma NP mostró una subestimación de la HR en el 76% de los datos, con un rango de 3.0 a 38.8 %, y el 7% restante sobrestimó la HR entre 5.9 y 14.9% (figura 1c). En lo que respecta a la Rs, el 45% de los datos evaluados reveló diferencias mínimas de sesgo, oscilando entre 0 y 1.5 MJ m⁻² d⁻¹. Al mismo tiempo, un 36% de los datos sobrestima la radiación en un rango de 3.7 a 17.2 MJ m⁻² d⁻¹, mientras que el 19% subestima esta variable en un rango de 2.9 a 9.7 MJ m⁻² d⁻¹ (figura 1d).

Finalmente, el 50% de los datos de VV muestran sesgos cercanos a cero. Asimismo, se observa que la mayoría de los datos (41%) sobrestiman la VV entre 1.4 y 2.9 m s⁻¹, mientras que el 9% restante subestima la VV dentro de un rango de 1.2 a 3.3 m s⁻¹ (figura 1e).

Con base a la información anterior, la plataforma NP tiende a sobrestimar las variables: T_{max} , T_{min} , Rs y VV, mientras que subestima la HR.

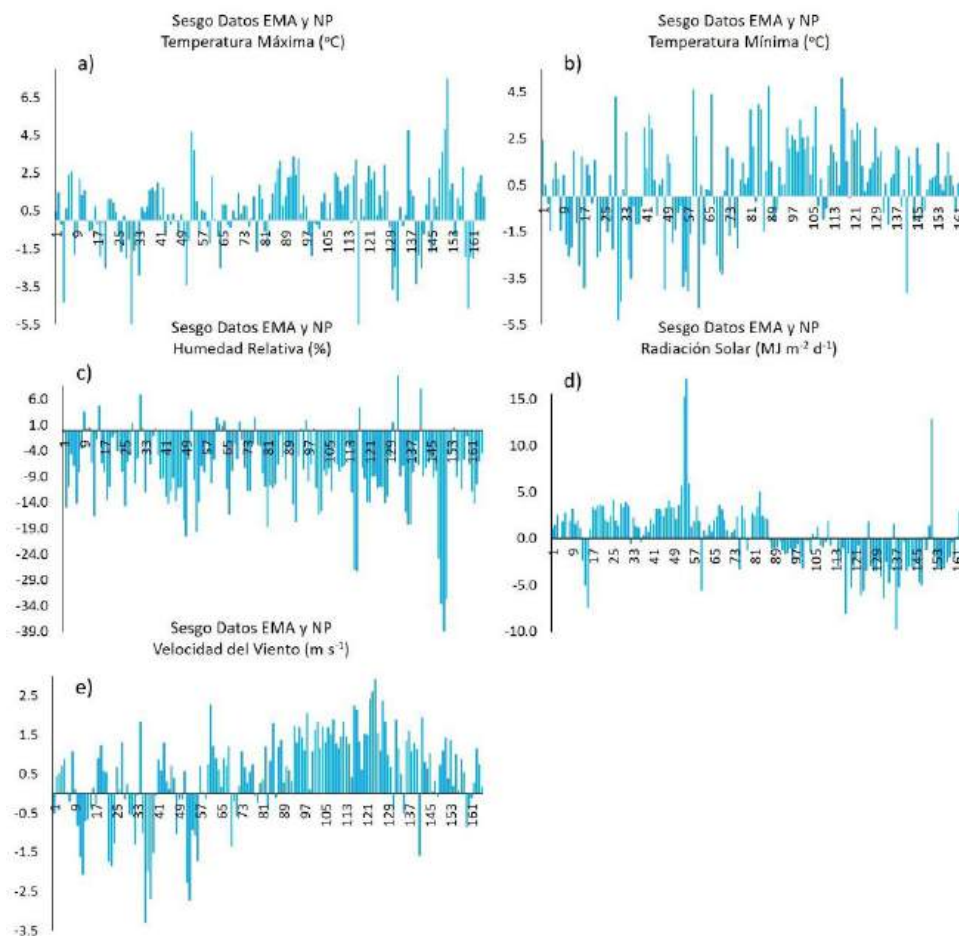


Figura 1. Sesgo entre los datos medidos por la EMA y asimilados por la plataforma NP de las variables meteorológicas: T_{max} (a), T_{min} (b), HR (c), Rs (d) y VV (e) durante el período de evaluación.

El cuadro 2 presenta los resultados de la comparación entre la ET_0 calculada por los métodos PM, HS y BC, utilizando datos de temperatura máxima y mínima de la plataforma NP para los diferentes periodos de cálculo (diario, promedio y acumulado de 5 días). Se observó que HS_{NP} mostró los mejores valores en

varios parámetros inferenciales en comparación con BC_{NP} , a excepción de R^2 y r en la estimación diaria de ET_0 . Esto indica que el método HS utilizando datos de temperatura NP, es una opción adecuada para estimar la ET_0 en los diversos periodos evaluados. Asimismo, el porcentaje de error de estimación (PE) fue inferior al 5% con HS_{NP} en los tres periodos de cálculo de ET_0 . En cuanto al MBE , este fue negativo en todos periodos, lo que indica una tendencia en la subestimación con el método HS_{NP} .

En el caso de la estimación de la ET_0 promedio de 5 días, se registraron los mejores valores en la mayoría de los parámetros estadísticos en comparación con la ET_0 promedio diaria. Sin embargo, la estimación de la ET_0 acumulada de 5 días destacó por contar con los valores más altos de r y R^2 en relación con las otras dos estimaciones (ET_0 diaria y ET_0 promedio de 5 días). Estos buenos resultados se deben a que al agrupar la ET_0 en cinco días, reduce la variabilidad de la temperatura diaria asociada a la precipitación, la velocidad del viento y la nubosidad.

Cuadro 2. Comparación de la ET_0 calculada mediante el método de referencia PM ((FAO-56 Penman-Monteith) utilizando datos meteorológicos de la EMA, frente a los métodos HS y BC con datos de temperatura de la plataforma NP.

Parámetro	Métodos					
	HS_{NP}	BC_{NP}	HS_{NP}	BC_{NP}	HS_{NP}	BC_{NP}
	ET_0 Diaria ($n = 165$)		ET_0 Prom 5 Días ($n = 33$)		ET_0 Acumulada 5 Días ($n = 33$)	
R^2 (Adimensional)	0.29	0.38	0.55	0.45	0.75	0.74
$RMSE$ (mm d ⁻¹)	1.1	1.3	0.6	1.1	3.3	5.7
PE (%)	4.4	15.0	4.1	14.6	4.4	15.0
MBE (mm d ⁻¹)	-0.28	-0.93	-0.26	-0.91	-1.38	-4.67

HS_{NP} es el método Hargreaves-Samani con datos de la plataforma NASA-POWER; BC_{NP} es el método Blaney-Criddle con datos de la plataforma NASA-POWER.

Conclusiones

Los datos de temperatura máxima y mínima de la plataforma NASA-POWER (NP) demostraron ser adecuados para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_0) utilizando la ecuación Hargreaves-Samani (HS). En este contexto, la ET_0 acumulada de 5 días fue la que mostró el mejor ajuste, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0.75. Esta fuente de información representa una alternativa valiosa, especialmente en regiones semiáridas donde la disponibilidad de datos de estaciones meteorológicas es limitada.

Referencias bibliográficas

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje Manual 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Allen, R. G., Pruitt, W. O., Businger, J. A., Fritschen, L. J., Jensen, M. E., and Quinn, F. H. (1996). Capítulo 4 Evaporation and Transpiration. In ASCE Handbook of Hydrology; American Society of Civil Engineers: Reston, VA, USA; pp. 125–252.
- Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for Predicting Crop Water Requirements; Irrigation and Drainage Paper FAO-24; FAO: Rome, Italy.
- Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96–99.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). Prediction of Worldwide Energy Resource. <https://power.larc.nasa.gov/>

RASGOS FUNCIONALES DE GENOTIPOS DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) EN RESPUESTA AL RIEGO DEFICITARIO

Raúl Ávalos-Castro^{1*}, Claudia M. Melgoza-Villagómez¹, Yolanda González-García¹, José Denis Osuna-Amador¹

¹ INIFAP, CIRNO, CE Todos Santos

*Autor para correspondencia: avalos.raul@inifap.gob.mx

Palabras clave. Déficit hídrico, garbanzo Kabuli, mejoramiento genético.

Introducción

La demanda de agua para la agricultura se podría duplicar para el año 2050, derivado de la necesidad de producir alimentos para una población creciente, en un escenario con agua dulce limitada exacerbada por las sequías recurrentes y de mayor intensidad (Lu *et al.*, 2025). La situación descrita requiere la generación y valoración de nuevos genotipos de cultivos agrícolas de interés con mayor respuesta productiva y resiliencia ante escenarios ambientales complejos, entre estos, la disponibilidad limitada de agua (Varshney *et al.*, 2021). El desarrollo de variedades de garbanzo de mayor productividad, mediante el mejoramiento convencional y en escenarios de sequía ocasional ha avanzado, pero aún existen retos. Un área de oportunidad detectada en la generación de genotipos de alto rendimiento es la valoración de rasgos funcionales de plantas, esto es, características físicas y químicas que pueden utilizarse como indicadores para predecir o explicar distintos procesos, estrategias o respuestas de las plantas ante diferentes condiciones ambientales (Zhang *et al.*, 2023). En garbanzo, se han observado, que ciertos rasgos cuantitativos como la arquitectura radicular, la eficiencia de transpiración y el vigor temprano se asocian con rasgos relacionados con la tolerancia a la sequía (Barmukh *et al.*, 2022), que, en conjunto con mecanismos bioquímicos, son considerados rasgos de importancia en mejoramiento genético. Aun cuando se ha identificado la relevancia de la evaluación de rasgos funcionales, se carece de este tipo de valoraciones en respuesta al riego deficitario en variedades generadas por el INIFAP para la región noroeste de México.

Objetivo

Evaluar el comportamiento de rasgos funcionales de variedades y líneas experimentales de garbanzo tipo Kabuli sometidos a déficit hídrico.

Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en el Sitio Experimental Valle de Santo Domingo del INIFAP en Baja California Sur (25°00'36" latitud N y 111°39'49" longitud O, 48.3 msnm) México. La precipitación media anual en el sitio es de 200 mm y la temperatura promedio de 22 °C. El experimento se estableció bajo condiciones de riego por goteo en un suelo franco arcillo arenoso, con 0.23% de materia orgánica, pH de 8.9 y conductividad eléctrica de 0.76 dS m⁻¹. Para la evaluación se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro replicas y arreglo bifactorial. El factor A (Genotipos) consideró las variedades: Blanco Sinaloa 92 (G1), Calisur (G2) y Blanoro (G3), y las líneas experimentales: HOGA-2011-31-16 (G4), HOGA-2010-23-7 (G5), HOGA-2006-40-12 (G6), HOGA-2008-6-20 (G7) y HOGA-2006-27-1 (G8). El factor B (tipo de riego) consideró las condiciones: riego recomendado y riego deficitario. El riego recomendado consideró 40 cm de lámina de riego total en el ciclo del cultivo (Inifap, 2017), la condición de riego deficitario consideró la aplicación de 20 cm de lámina. La siembra y la aplicación del primer riego del experimento se realizaron el 22 de diciembre de 2023. La densidad de siembra utilizada fue de 13 semillas m⁻¹ en surcos espaciados a 0.80 m. Se fertilizó con la dosis 90-40-00, con las fuentes UAN 32[®] y ácido fosfórico. Para el control de maleza y de gusano minador (*Liriomyza sativae*), se hicieron aplicaciones pre-emergentes de oxifluorfen a dosis de 240 g ingrediente activo ha⁻¹ y de Clorantniliprol a dosis de 150 mL ha⁻¹, respectivamente. Durante el experimento no se presentaron lluvias.

Los rasgos funcionales evaluados fueron: largo de la raíz principal (LRP) y altura de planta (AP), ambas en centímetros, así como el número de ramas con vainas (NRCV), además del número de granos por cápsula

(NGPC) y de cápsulas por planta (NCP). Las muestras fueron tomadas de ocho plantas seleccionadas al azar por genotipo (dos plantas por repetición) a los 90 días después de la siembra (etapa R9 en el cultivo).

Los datos obtenidos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2014), a través de un procedimiento GLM y empleando la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

Resultados y Discusión

Entre genotipos, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para la variable LRP, y altamente significativa ($p < 0.01$) para AP y NCP. Para las condiciones de riego (TR), se observó diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) para LRP, AP, NRCV y NCP. Se observó interacción altamente significativa ($p < 0.01$) para AP (cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis de varianza para rasgos funcionales de genotipos de garbanzo producidos en diferentes tipos de riego.

Fuente de variación	GL	LRP	AP	NRCV	NGPC	NCP
Genotipos (G)	7	18.38*	99.93**	7.24 ^{ns}	0.27 ^{ns}	512.26**
Tipo de riego (TR)	1	205.53**	953.75**	351.12**	0.50 ^{ns}	22525.03**
G*TR	7	11.53 ^{ns}	79.69**	10.84 ^{ns}	0.21 ^{ns}	166.24 ^{ns}
Error	48	5.22	9.47	6.63	0.25	67.34
C.V.		11.93	5.13	21.52	40.40	18.70

C.V.= coeficiente de variación. GL= grados de libertad. LRP= largo de raíz principal, en cm. AP= altura de planta, en cm. NRCV= número de ramas con vaina. NGPC= número de granos por cápsula. NCP= número de cápsulas por planta. Los valores dentro de columna en cada una de las variables de respuesta representan el cuadro medio del error. ^{ns}= no significativo. * = significativo ($p < 0.05$). **= altamente significativo ($p < 0.01$).

Entre los genotipos estudiados, la diferencia entre el mayor y menor LRP fue de 6 cm, siendo la mayor para la variedad Blanoro (G3), aunque no fue diferente entre el resto de los genotipos, solo se observó diferencia con HOGA-2011-31-6 (G4), la cual presentó la menor longitud de raíz principal (cuadro 2). Los genotipos con el mayor AP fueron Blanoro (G3), HOGA-2011-31-16 (G4), HOGA-2008-6-20 (G7) y HOGA-2006-27-1 (G8); Calisur (G2), presentó la AP menor. El mayor NCP fue para HOGA-2011-31-16 (G4), HOGA-2006-40-12 (G7) y HOGA-2010-23-7.

La evaluación de las respuestas del garbanzo al estrés hídrico mostró variaciones significativas para diferentes características que pueden influir el rendimiento de grano, principalmente sobre la variable NCP, variable que mostro la mayor diferencia entre condiciones de riego (61.61 %). Para la comparación entre genotipos, el hecho de que las variables NRCV y NGPC hayan sido menos afectadas, pudiera interpretarse a que existe mínima diferencia genética entre ellos para estas variables. En cuanto a la profundidad de raíz, se ha observado que en aquellos genotipos en los que esta variable no difiere, con relación a la cantidad de agua ofrecida, se debe a que pudiera existir una respuesta de adaptación al estrés hídrico (Suárez *et al.*, 2014). En nuestra investigación se observó que el genotipo HOGA-2011-31-16 (G4) presentó la menor profundidad de raíz principal, pero a la vez fue el que presentó el mayor número de cápsulas por planta. En general, se ha observado que raíces profundas y ramificadas son fundamentales para el comportamiento de los cultivos en limitaciones de suministro de agua (Blum, 2005) y que cuando falta este elemento descienden a capas profundas del suelo, permitiendo que la planta adquiera un desarrollo adecuado (Molina, 2008).

Para las diferencias entre condiciones de riego, se observaron reducciones de 61.61, 37.01, 25.00 y 18.40 %, para el NCP, NRCV, LRP y AP, respectivamente, cuando se sometieron a riego deficitario sostenido. En la variable NRCV se observó una influencia directa entre condiciones de riego, presentando una reducción del 37 % cuando los genotipos se someten a riego deficitario. Con base en lo observado, se identificó que los genotipos adaptan, principalmente, el número de ramas con vainas y el número de cápsulas por planta al restringirse la disponibilidad de agua de riego.

Cuadro 2. Valores promedio de rasgos funcionales en genotipos de garbanzo producidos en diferentes condiciones de riego.

Variable	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	DMS
LRP	20.66a	19.02ab	21.15a	15.00b	21.52a	17.79ab	19.61a	18.37ab	4.04
AP	58.32bc	55.10c	65.32a	61.65ab	57.88bc	59.81bc	60.90ab	61.08ab	5.44
NRCV	11.30a	12.30a	10.10a	11.80a	11.40a	14.10a	13.80a	11.90a	4.55
NGPC	1.10a	1.50a	1.20a	1.30a	1.10a	1.30a	1.40a	1.00a	0.89
NCP	39.9bcd	43.8bcd	42.1bcd	59.50a	48.10abc	50.60ab	32.9d	35.3cd	14.52

abc= columnas con diferentes literales indican diferencia significativa ($p < 0.05$). G1= Blanco Sinaloa 92. G2= Calisur. G3= Blanoro. G4= HOGA-2011-31-16. G5= HOGA-2010-23-7. G6= HOGA-2006-40-12. G7= HOGA-2008-6-20. G8= HOGA-2006-27-1. LRP= largo de raíz principal, en cm. AP= altura de planta, en cm. NRCV= número de ramas con vaina. NGPC= número de granos por cápsula. NCP= número de cápsulas por planta. DMS= diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Valores medios de rasgos funcionales de genotipos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en dos condiciones de riego.

Variable	Riego Recomendado	Riego Deficitario	DMS
LRP	23.81a	17.97b	1.47
AP	70.38a	57.43b	1.98
NRCV	17.00a	10.70b	1.66
NGPC	1.19a	1.25a	0.32
NCP	86.56a	33.23b	5.30

ab= Diferente literal entre los valores medios de una misma variable entre tipos de riego, indican diferencia significativa ($p < 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Riego recomendado= 40 cm de lámina de riego. Riego deficitario= 40 cm de lámina de riego. LRP= largo de raíz principal, en cm. AP= altura de planta, en cm. NRCV= número de ramas con vaina. NGPC= número de granos por cápsula. NCP= número de cápsulas por planta.

Conclusiones

Los genotipos variaron solo en la longitud de su raíz principal, altura de planta y número de cápsulas por plantas. La condición de riego deficitario generó una limitación mayor en el número de ramas con vainas, número de cápsulas por planta, la longitud de raíz principal y la altura de planta. Aunque el genotipo HOGA-2011-31-16 presentó la menor longitud de raíz principal, fue el que tuvo mayor número de cápsulas por planta, lo que sugiere valorar a futuro las raíces secundarias como rasgo funcional de ventaja en el acceso a recursos como agua y nutrientes.

Referencias bibliográficas

- Barmukh, R., Roorkiwal, M., Garg, V., Khan, A.W., German, L., Jaganathan, D., Chitkineni, A. et al. (2022) Genetic variation in CaTIFY4b contributes to drought adaptation in chickpea. *Plant Biotechnol. J.* 20, 1701–1715.
- Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian J. Agric. Res.* 56:1159-1168.
- Chaturvedi, P., Pierides, I., López-Hidalgo, C., Garg, V., Zhang, S., Barmukh, R., ... & Weckwerth, W. (2024). Natural variation in the chickpea metabolome under drought stress. *Plant biotechnology journal*, 22(12), 3278-3294.
- Inifap (2017). Agenda Técnica Agrícola de Baja California Sur. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Pp. 40 – 44.
- Lu, J., Jia, L., Menenti, M., Zheng, C., Hu, G., & Ji, D. (2025). The impacts of drought on water availability: spatial and temporal analysis in the Belt and Road region (2001–2020). *International Journal of Digital Earth*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2449706>
- Molina, J. (2008). Evaluación de poblaciones de frijol rojo bajo condiciones de sequía. Disponible en: <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/protocolos/granos-basicos.html>

SAS (Statistical Analysis System). *Procedure Guide*, SAS Version 9.3; SAS Inc.: Cary, NC, USA, 2011; pp. 1–515.

Suárez, A. D., Hernández, Y. P., del Castillo, M. S., del Castillo, D. S., & Suárez, R. R. (2014). Efecto del estrés hídrico sobre la germinación de genotipos de frijol común en condiciones experimentales de sequía. *Avanzada Científica*, 17(1), 53-67.

Varshney, R.K., Barmukh, R., Roorkiwal, M., Qi, Y., Kholova, J., Tuberosa, R., Reynolds, M.P. et al. (2021) Breeding custom-designed crops for improved drought adaptation. *Adv Genet*.

Zhang, P., Huang, J., Ma, Y., Wang, X., Kang, M., & Song, Y. (2023). Crop/plant modeling supports plant breeding: II. Guidance of functional plant phenotyping for trait discovery. *Plant Phenomics*, 5, 0091.



EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE SUELO Y AGUA DE USO AGRÍCOLA EN LA ZONA CITRÍCOLA DE TAMAULIPAS

Claudia Berenice Olazarán-Santibáñez¹, Laura Rosa Margarita Sánchez-Castillo^{1*}, Edmar Meléndez-Jaramillo¹, María Teresa Maldonado-Sada¹, Efraín Neri-Ramírez¹, Ignacio Gonzalez-Gutierrez¹.

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas

*Autor para correspondencia: laura.sanchez@uat.edu.mx

Palabras clave. Citricultura, degradación, fertilidad.

Introducción

La degradación de los recursos naturales es una problemática global que pone en riesgo la sostenibilidad agrícola. México, como productor destacado de naranja a nivel mundial, enfrenta la presión de una explotación intensiva de los recursos naturales, especialmente en la región citrícola de Tamaulipas, que representa una zona clave para la producción internacional. La sobreexplotación de suelo y agua, junto con prácticas inadecuadas en el uso de fertilizantes y agroquímicos, genera desequilibrios en la nutrición de los cultivos, contaminación de cuerpos de agua y deterioro de la estructura del suelo, comprometiendo tanto la productividad agrícola como el equilibrio ecológico.

En este contexto, la caracterización fisicoquímica de los recursos naturales se presenta como una herramienta fundamental para evaluar la magnitud de la degradación de suelos y aguas en zonas agrícolas. A través de técnicas especializadas, es posible obtener datos precisos sobre las condiciones químicas y físicas del suelo, la interacción con los nutrientes y la calidad del agua de riego. Estos estudios permiten identificar procesos de lixiviación y arrastre de contaminantes, contribuyendo al diagnóstico integral de los problemas relacionados con la contaminación y la pérdida de fertilidad en las tierras agrícolas.

La implementación de metodologías avanzadas de caracterización fisicoquímica en la región citrícola de Tamaulipas es crucial para desarrollar estrategias de conservación adaptadas a las necesidades específicas de los cultivos, garantizando un manejo sostenible de los recursos. Esta aproximación no solo es clave para la sostenibilidad agrícola local, sino que también tiene implicaciones globales en términos de seguridad alimentaria y manejo eficiente de los recursos hídricos y terrestres a escala internacional.

Objetivo

Evaluar la calidad del agua y suelo de uso agrícola a través de parámetros fisicoquímicos en la zona citrícola de Tamaulipas, México.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Güémez, ubicado en la zona citrícola de Tamaulipas, México. Esta región, localizada en las coordenadas 23°45'10" N y 100°29'25" O, presenta un clima semicálido subhúmedo con lluvias de verano, con una temperatura media anual de 24.1°C y una precipitación anual de 940 mm. Los tipos de suelo predominantes en esta área incluyen Vertisol, Leptosol, Kastañozem y Chernozem.

Muestreo

Se empleó un muestreo aleatorio simplificado, seleccionando 15 sitios donde cada uno de ellos representa una huerta de naranja valencia (figura 1). Estas huertas se caracterizan por la prevalencia de un modelo agrícola tradicional y de monocultivo.

Para la recolección de suelo, se tomaron muestras simples a 30 cm de profundidad en cada sitio, con una cantidad de 0.5 kg por muestra, que fue etiquetada y secada en papel de estraza a temperatura ambiente durante 72 horas. Tras este proceso, se eliminaron la biomasa y piedras, y se molió el suelo en un mortero antes de ser tamizado con malla de 2 mm, conforme a la NOM-021-RECNAT-2000.

En cuanto al muestreo de agua, se siguió la NOM-014-SSA1-1993, recolectando 1 L de agua en envases PET limpios en cada sitio. Estos envases fueron etiquetados, enjuagados con agua tres veces para evitar contaminación y transportados en hieleras a 4 °C para su análisis posterior en el laboratorio.

La antigüedad de los cultivos se determinó mediante entrevistas semiestructuradas y observación directa hacia los propietarios de las huertas.

Análisis fisicoquímico

El análisis fisicoquímico de las muestras se realizó en el laboratorio central de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Se seleccionaron 13 propiedades fisicoquímicas del suelo que son relevantes para evaluar su calidad y las funciones que ocurren en el medio ambiente agrícola. El pH se determinó en una suspensión suelo-agua 1:2 usando un potenciómetro Orion Star A211, y la conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación con un conductímetro Fisher Scientific. La relación de adsorción de sodio (RAS) se calculó a partir de las concentraciones de cationes extraídos con acetato de amonio 1 N. El contenido de materia orgánica (MO) se midió mediante el método de Walkley-Black, el calcio y magnesio intercambiables por espectrofotometría de absorción atómica, y el sodio y potasio intercambiables mediante flamometría con el equipo Jenway PFP7. Además, se evaluó la textura del suelo por el método de Bouyoucos y el fósforo extractable por colorimetría. El contenido de nitrógeno total se estimó indirectamente multiplicando el porcentaje de materia orgánica por 0.05 (García Serrano *et al.*, 2012).

Se analizaron 14 parámetros fisicoquímicos de agua bajo normativas mexicanas. El pH se midió con potenciómetro, y la conductividad eléctrica mediante conductimetría. El índice RAS se calculó con la fórmula de Richards (1985), y la dureza total mediante titulación con EDTA según la NMX-AA-072-SCFI-2001. Las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} se determinaron por volumetría, y Na^{+} y K^{+} mediante fotometría de flama. La alcalinidad, carbonatos y bicarbonatos se evaluaron por titulaciones, y los sulfatos por turbidimetría según la NMX-AA-074-SCFI-2014.

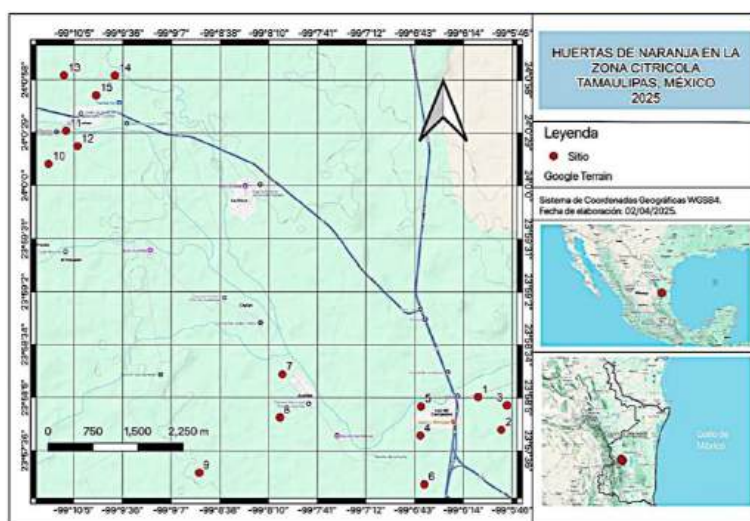


Figura 1. Localización de los sitios en la zona citrícola de Tamaulipas.

Análisis estadístico

Se aplicó un análisis descriptivo para caracterizar la condición del agua y el suelo en la zona citrícola. Dado que los datos no siguieron una distribución normal, se aplicó una transformación logarítmica. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre las variables fisicoquímicas del suelo utilizando el software PASS, considerando un nivel de significancia de $p > 0.05$.

Resultados y Discusión

Los análisis fisicoquímicos realizados en 15 sitios de huertas citrícolas de Tamaulipas revelaron variabilidad entre ubicaciones (cuadro 1), destacando el sitio 10 por presentar los valores más bajos en CE, dureza, cationes y SDT, mientras que el sitio 6 mostró concentraciones elevadas de sales, lo que sugiere influencia de fertilizantes y características geológicas locales (Pacheco y Cabrera, 2015). El pH de la mayoría de los sitios fue neutro (media 7.1), salvo el sitio 10 que superó ligeramente el rango óptimo para riego agrícola. La CE osciló entre 0.86 y 2.55 mS cm^{-1} , clasificando la mayoría de las muestras como C3-S1, lo cual implica

un riesgo alto de salinidad, pero bajo de sodicidad, respaldado por valores de RAS generalmente bajos (1.17 mmol L^{-1} en promedio). Los sólidos disueltos totales variaron entre 545 y 1689 mg L^{-1} y todos los sitios mostraron aguas duras con alta alcalinidad ($>150 \text{ mg L}^{-1}$), lo cual puede afectar la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Jiménez, 2001). Finalmente, el análisis de cationes y aniones confirmó una mayor carga iónica en el sitio 6, reflejando una mayor salinidad y posible impacto en el potencial osmótico del suelo. A pesar de estas variaciones, el agua evaluada se considera en general apta para el riego agrícola, aunque es indispensable implementar planes de manejo que prevengan la degradación del suelo y aseguren la sostenibilidad de los cultivos.

Cuadro 1. Valores obtenidos de parámetros fisicoquímicos de agua de riego en los 15 sitios de huertas de naranja en la zona citrícola de Tamaulipas.

Sitio	pH	CE	RAS	SDT	Dur	Alc	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
1	7.1	1.62	1.55	1050.0	635.0	225.0	7.30	5.40	0.12	3.93	0.00	4.50	11.02	2.32
2	7.1	1.61	1.39	1075.0	650.0	310.5	7.00	6.00	0.04	3.57	0.00	6.21	7.82	2.74
3	7.1	1.40	1.34	868.0	565.0	310.5	6.60	4.70	0.03	3.19	0.00	6.21	7.49	1.69
4	7.1	1.48	1.29	925.0	605.0	287.5	9.10	3.00	0.04	3.19	0.00	5.75	8.37	2.11
5	7.2	0.95	0.91	607.3	415.0	215.0	5.60	2.70	0.04	1.87	0.00	4.30	4.82	1.27
6	6.9	2.55	0.73	1689.0	1145.0	241.5	17.30	5.60	0.05	2.50	0.00	4.83	18.17	5.06
7	7.2	1.55	1.26	1011.0	585.5	255.0	6.20	3.90	0.05	2.86	0.00	5.10	7.98	2.18
8	7.2	1.53	1.25	1004.0	585.5	250.0	5.90	4.40	0.04	2.86	0.00	5.00	8.13	2.23
9	6.9	1.68	0.04	1080.0	875.0	264.5	13.00	4.50	0.06	0.13	0.00	5.29	9.57	3.59
10	7.4	0.86	0.81	545.0	390.0	264.5	3.80	4.00	0.06	1.61	0.00	5.29	3.33	0.84
11	7.1	1.11	0.86	712.4	470.0	282.0	5.60	3.80	0.06	1.87	0.00	5.64	5.29	1.27
12	7.1	1.17	1.50	740.0	450.0	322.0	5.50	3.50	0.06	3.19	0.00	6.44	4.86	1.48
13	7.1	1.35	1.47	850.0	540.0	310.5	7.60	3.20	0.05	3.44	0.00	6.21	5.88	2.74
14	7.0	1.39	1.47	905.6	540.0	265.0	7.80	3.00	0.05	3.44	0.00	5.30	6.81	3.17
15	7.3	1.21	1.55	810.0	485.0	293.5	6.10	3.72	0.06	3.44	0.00	5.87	4.94	2.11

pH; CE: Conductividad eléctrica (mS cm^{-1}); RAS: Relación de adsorción sodio (mmol L^{-1}); SDT: sólidos disueltos totales (mg L^{-1}); Dur: dureza (mg L^{-1}); Alc: alcalinidad (mg L^{-1}); Ca²⁺: calcio (mEq L^{-1}); Mg²⁺: magnesio (mEq L^{-1}); K⁺: potasio (mEq L^{-1}); Na⁺: sodio (mEq L^{-1}); CO₃²⁻: carbonatos (mEq L^{-1}); HCO₃⁻: bicarbonatos (mEq L^{-1}); SO₄²⁻: sulfatos (mEq L^{-1}); Cl⁻: cloruros (mEq L^{-1}).

Los resultados del análisis fisicoquímico del suelo en las huertas de naranja en la zona citrícola de Tamaulipas (cuadro 2) revelaron una notable heterogeneidad espacial entre los 15 sitios evaluados, evidenciando diferencias en parámetros como pH, CE, RAS, MO, carbonatos, cationes y nutrientes.

Cuadro 2. Valores obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de suelo agrícola en los 15 sitios de huertas de naranja en la zona citrícola de Tamaulipas.

Sitio	pH	CE	RAS	MO	CaCO ₃	N	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	Fe	Zn
1	8.4	0.61	0.40	2.93	15.66	0.17	0.44	0.92	60.12	91.17	2.40	0.44	0.29
2	8.3	0.61	0.49	1.93	17.10	0.12	0.72	0.85	65.13	33.43	8.56	0.72	0.48
3	8.2	0.50	0.49	2.13	19.50	0.13	0.63	0.85	95.19	15.20	7.11	0.63	0.55
4	8.2	0.55	0.37	2.06	15.30	0.12	0.33	1.90	60.12	36.47	9.51	0.33	0.40
5	8.1	0.55	2.03	1.86	19.26	0.11	0.28	3.36	65.13	27.35	7.70	0.28	0.22
6	7.5	0.67	0.55	4.66	32.34	0.28	1.38	1.13	110.22	36.47	34.64	1.38	0.69
7	7.6	0.54	0.65	1.86	18.78	0.11	0.64	1.13	95.19	15.20	29.89	0.64	0.22
8	7.6	0.54	0.21	2.26	15.18	0.13	0.33	0.35	90.18	12.16	0.91	0.33	0.21
9	7.4	0.57	0.46	6.80	45.96	0.41	1.28	0.85	95.19	24.31	5.75	1.28	0.25
10	7.5	0.44	0.27	2.86	19.50	0.17	0.79	0.35	60.12	6.08	2.22	0.79	0.38
11	7.4	0.64	0.16	2.53	21.18	0.15	0.30	0.31	110.22	18.23	1.90	0.30	0.22
12	7.4	0.31	0.33	1.20	23.58	0.07	0.45	0.63	100.20	27.35	2.67	0.45	0.30
13	7.4	0.32	0.50	2.06	15.90	0.12	0.73	0.92	105.21	18.23	3.85	0.73	0.40
14	7.3	0.52	0.31	3.20	20.22	0.19	0.97	0.56	115.23	9.12	13.92	0.97	0.31
15	8.0	0.57	0.47	2.33	32.46	0.14	1.04	0.85	195.39	45.22	41.43	1.04	1.03

pH; CE: conductividad eléctrica (mS cm^{-1}); RAS: relación de adsorción de sodio (mmol kg^{-1}); MO: materia orgánica (%); CaCO₃: carbonatos de calcio (%); N: nitrógeno (%); K⁺: potasio (Cmol kg^{-1}); Na⁺: sodio (Cmol kg^{-1}); Ca²⁺: calcio (mg kg^{-1}); Mg²⁺: magnesio (mg kg^{-1}); P: fósforo (mg kg^{-1}); Fe: hierro (mg kg^{-1}); Zn: zinc (mg kg^{-1}).

El pH se mantuvo en un rango básico (7.3 - 8.4), adecuado para cítricos en general, pero superior al óptimo específico para naranjos (5.5 - 6.0), lo cual podría limitar la disponibilidad de ciertos micronutrientes

(Vargas-Rodríguez, 2015; Molina, 2000). La CE fue baja en todos los sitios, sin representar riesgo de salinidad, aunque la RAS fue elevada en el sitio 5 (2.03 mmol L^{-1}), lo que podría afectar negativamente el desarrollo del cultivo por acumulación de sodio (Nuñez-Vázquez *et al.*, 2017). Así mismo, se identificó un contenido bajo de materia orgánica en el sitio 12 (1.20%), lo cual puede repercutir en la disponibilidad de nutrientes y en la estabilidad estructural del suelo (Jordán, 2006). En cuanto a los cationes, destacó una alta concentración de sodio en el sitio 5 y exceso de potasio en los sitios 6, 9, 14 y 15, lo que podría generar desequilibrios nutricionales y afectar la absorción de otros elementos (Stevenson y Cole, 1999). Además, se registraron altos niveles de fósforo en varios sitios, particularmente en el sitio 6, situación que coincide con un descenso en las concentraciones de zinc y hierro en la mayoría de las muestras, posiblemente por antagonismo entre nutrientes.

Los análisis texturales del suelo en las huertas de naranja de Tamaulipas revelaron una predominancia de textura franca arcillosa arenosa, seguida por texturas francas y arcillosas, lo que indica una variada proporción de arena, limo y arcilla entre los sitios evaluados (figura 2). Esta diversidad influye directamente en propiedades clave del suelo como la retención de agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes. Las texturas franco arcillosas, frecuentes en el estudio, ofrecen buenas condiciones para la agricultura si se manejan adecuadamente, aunque pueden presentar problemas de drenaje (Brady y Weil, 2016). En contraste, los suelos arcillosos (como en los sitios 9, 10 y 15), aunque retienen más humedad, limitan la aireación y aumentan el riesgo de enfermedades radiculares, lo que los hace menos aptos para cítricos (Molina, 2000; Castellanos *et al.*, 2020). Los suelos francos, presentes en sitios como el 2, 4 y 8, son ideales por su equilibrio entre humedad y porosidad, mientras que los más arenosos, como el sitio 11, presentan menor capacidad de retención de nutrientes. En conjunto, los resultados refuerzan la importancia de considerar la textura del suelo en el manejo agrícola, ya que influye directamente en la salud y productividad del cultivo.

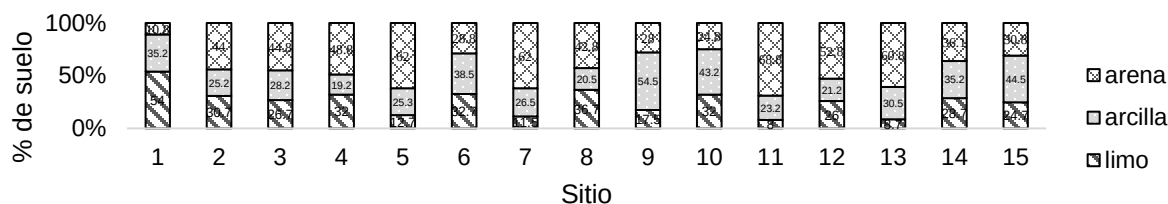


Figura 2. Porcentaje de arena, arcilla y limo en los sitios en los 15 sitios de huertas de naranja en la zona citrícola de Tamaulipas.

El análisis de correlación entre los parámetros fisicoquímicos del suelo evidenció relaciones significativas (figura 3). Se observó una correlación positiva entre el pH y el Mg^{2+} , lo que sugiere que suelos más alcalinos tienden a tener mayor disponibilidad de este nutriente (Villazón *et al.*, 2017). Así mismo, la MO mostró una fuerte asociación con el N y los CaCO_3 , lo cual puede atribuirse tanto a procesos de descomposición como a la fracción coloidal del suelo (Castellanos *et al.*, 2020; Echeverría-Pérez *et al.*, 2023). Finalmente, se identificó una tendencia decreciente de materia orgánica y nutrientes como N y CaCO_3 conforme aumenta la edad del cultivo, lo cual sugiere un agotamiento de estos elementos por prácticas agrícolas prolongadas sin adecuada reposición (Jiménez *et al.*, 2021).

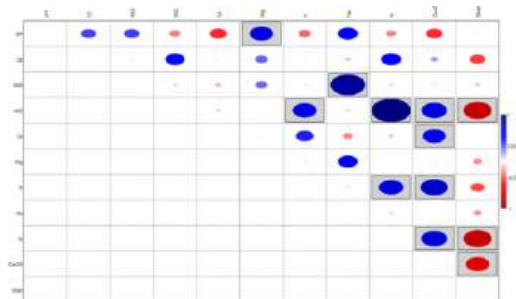


Figura 3. Correlación de Pearson de los parámetros fisicoquímicos del suelo en la zona citrícola.

Conclusiones

En general, el análisis del agua y del suelo en las huertas de naranja de la zona citrícola de Tamaulipas indica que, aunque las condiciones no son limitantes severas, existen aspectos que requieren atención para asegurar la sostenibilidad del cultivo. El agua es mayormente apta para riego, aunque en algunos sitios se detectaron niveles elevados de sales, dureza y alcalinidad que podrían afectar la estructura del suelo. Respecto al suelo agrícola, la alcalinidad, el desbalance de cationes y la disminución de materia orgánica en suelos de cultivos más antiguos evidencian un desgaste progresivo que puede comprometer la fertilidad. Las correlaciones entre pH, magnesio, materia orgánica, nitrógeno y carbonatos refuerzan la importancia de conservar la salud del suelo mediante estrategias de manejo que favorezcan su equilibrio químico y estructural. Estos hallazgos subrayan la necesidad de prácticas agrícolas que prioricen el monitoreo, la reposición de nutrientes y la conservación del suelo para mantener su productividad a largo plazo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma de Tamaulipas, la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación, así como a los productores que amablemente colaboraron.

Fuente financiadora

Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación financiadora del proyecto mediante la beca de maestría otorgada con CVU 1310281.

Referencias bibliográficas

- Castellanos, L. G., González-Pedraza, A., & Capacho Mogollón, A. (2020). Caracterización de los suelos de seis municipios en Norte de Santander. *INGE CUC*, 17, 69–81.
- García-Serrano, P., Ruano, S. C., Lucena, J. J. M., & Nogales, M. G. (2012). *Guía práctica de la fertilización racional de cultivos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino.
- Jiménez, A. (2001). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Temas de Nuestra América*, 17(30), 65–78.
- Jordán, A. L. (2006). *Manual de edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla.
- Molina, E. (2000). Nutrición y fertilización de la naranja. *Informaciones Agronómicas*, 40, 5–11.
- Núñez-Vázquez, M., Amico-Rodríguez, J. D., Pérez-Hernández, M., & Betancourt-Grandal, M. (2017). Estrés hídrico y salino en cítricos: Estrategias para la reducción de daños. *Cultivos Tropicales*, 38, 65–74.
- Pacheco, J., & Cabrera, A. (2015). Efecto del uso de fertilizantes en la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(3), 79–93.
- Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). *Cycles of soil: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Vargas-Rodríguez, D. F., Cerón-González, A., Olivares-Martínez, L. D., & Bobadilla-Ballesteros, M. D. (2020). Manual de evaluación de suelos. Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos, Comisión de Acción Juvenil de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Weil, R. R., & Brady, N. C. (2016). *The nature and properties of soils* (15th ed.). Pearson.
- Sección a la que se envía: Agua: Calidad del agua; Suelo: Restauración de suelos degradados; Agrobiodiversidad: Aprovechamiento sustentable de la agrobiodiversidad.

EVALUACIÓN DEL ESTRÉS HÍDRICO Y ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA HUASTECA HIDALGUENSE

Manuel Carrillo-Cárdenas^{1*}

¹Universidad Politécnica de Huejutla

*Autor para correspondencia: mcarrillo@uphuejutla.edu.mx

Palabras clave. Agua, escasez, Huasteca.

Introducción

El crecimiento de la población mundial ha traído consigo un aumento de la demanda de bienes y, como consecuencia, una mayor presión sobre los recursos naturales. El agua, considerado como uno de los recursos más valiosos y críticos para la supervivencia, se ha visto sometido a una presión en aumento en las últimas décadas, lo que ha llevado a que una situación preocupante donde una porción considerable de la población mundial viva en una situación de escasez de este recurso. La presión sobre el agua se intensifica no solo por el aumento en la población, sino también por el desarrollo industrial y económico, pues este último lleva a que las personas adquieran más productos cuya fabricación consume agua. Si la presión sobre el agua rebasa la capacidad de regeneración de este recurso, se llega a una situación de escasez de agua, que trae consigo problemas para la población como el desarrollo de enfermedades debido a la incapacidad para producir suficiente alimento y la dificultad para mantener condiciones salubres (Esparza, 2014). Adicionalmente, hay que añadir a esta situación el factor del cambio climático, que ocasiona que en determinadas regiones llueva menos y que la evapotranspiración se intensifique, es decir, que haya mayores pérdidas de agua sin la posibilidad de recuperarla localmente.

Existen algunos indicadores para evaluar el grado de presión que las personas que habitan determinada región ejercen sobre el agua, entre los que se encuentra el estrés hídrico. Este indicador se define por la relación entre la demanda de agua en esa región y la cantidad de agua disponible. Recientemente se ha sugerido sustraer a la cantidad total de agua disponible en la región en cuestión la cantidad que el entorno requiere para mantenerse saludable, de modo que la satisfacción de las necesidades de la población no ponga en riesgo la salud y buen funcionamiento de los ecosistemas. Se calcula que al iniciar la presente década poco más del 20 % de la población mundial padece un estrés hídrico catalogado como medio o alto, mientras que un 8 % de la población mundial lo padece en un nivel crítico (FAO, 2024).

Por sus características intrínsecas, las regiones áridas o semiáridas del planeta, así como las más pobladas, son las que han recibido especial atención en cuanto a las evaluaciones del estrés hídrico que padecen, aunque en años recientes hemos visto que las regiones donde predomina un clima húmedo también pueden sufrir de estrés hídrico o de escasez de agua, al menos durante la época del año con menor precipitación pluvial. La Huasteca hidalguense, una región con un clima cálido subhúmedo y semicálido húmedo (INEGI, 2025), ha presentado en los últimos años escasez del líquido, al menos por algunas semanas durante la época más cálida y seca del año. Esto ha repercutido negativamente en la producción de las cosechas y en la salud del ganado en la región, a la vez que ha generado un desabasto temporal de agua en los hogares, lo que genera situaciones de insalubridad y malestar social. En este estudio se presenta una evaluación a nivel municipal del estrés hídrico. También se analizan las tendencias mostradas en los últimos años de los factores que afectan la disponibilidad de agua en la región, particularmente las temperaturas ambientales en los municipios de la región y la precipitación pluvial acumulada. Con ello se busca obtener un panorama sobre la situación de la región en cuanto a la disponibilidad de este recurso.

Objetivo

Obtener un análisis a nivel municipal de los factores que influyen en la escasez de agua en la Huasteca hidalguense y un posible escenario para los próximos años considerando las tendencias mostradas en históricamente en las condiciones meteorológicas afectadas por el calentamiento global.

Materiales y Métodos

Se consideraron los siguientes municipios de la Huasteca hidalguense en este estudio: Atlapexco, Huautla, Huejutla, Jaltocán, San Felipe Orizatlán, Tlanchinol, Xochiatipan y Yahualica. Adicionalmente se incluyó a Calnali y Tlanchinol a pesar de que en ocasiones se les considera como municipios de la sierra y no de la Huasteca. Por otra parte, al municipio de Huazalingo se le incluyó únicamente de manera parcial debido a que no se encontraron registros suficientes para llevar a cabo todos los análisis propuestos. En un primer acercamiento al problema se calculó el estrés hídrico de cada municipio considerando la disponibilidad de agua en cada uno de ellos y los aprovechamientos actuales. Para ambas variables se tomó en cuenta tanto el agua superficial como la subterránea. Se empleó el indicador 6.4.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para calcular el nivel de estrés hídrico de la Huasteca, el cual está dado por la ecuación 1 (FAO, 2024).

$$EH = \frac{U}{D - E} \times 100 \quad (1)$$

donde EH es el estrés hídrico, U es la cantidad de agua usada por los diferentes sectores, D es la cantidad de agua disponible desde fuentes renovables y E es la cantidad que el entorno requiere para mantener sanos sus ecosistemas. El valor obtenido ofrece una relación entre la cantidad de agua consumida por las diferentes actividades de la población y la cantidad de agua disponible, considerando la fracción que el medio ambiente requiere para mantener los ecosistemas saludables. La misma FAO ha establecido los criterios del cuadro 1 para evaluar el estrés hídrico.

Cuadro 1. Evaluación del estrés hídrico de acuerdo con el indicador 6.4.2 de la FAO.

Estrés hídrico (%)	Evaluación del estrés hídrico
< 25	Sin estrés
25 – 50	Bajo
50 – 75	Medio
75 – 100	Alto
> 100	Crítico

En este estudio no fue necesario obtener valores de la variable E , pues los valores de D reportados por la CONAGUA (2025a), llamados disponibilidad media anual, ya tienen sustraída la cantidad de agua que los ecosistemas necesitan.

Ya que los factores climáticos influyen directamente en la cantidad de agua disponible en una región, se obtuvieron registros de las temperaturas ambientales y de la precipitación pluvial en los municipios estudiados desde el año 2000. Los datos se obtuvieron de los registros de estaciones meteorológicas ubicadas en cada municipio o en sus proximidades, como fue el caso de Yahualica y Xochiatipan (CONAGUA, 2025b). Para cada municipio se construyeron gráficos de las temperaturas máximas promedio anual en función del tiempo y de la cantidad de lluvia acumulada en cada año. Se decidió emplear las temperaturas máximas promedio y no las temperaturas promedio mensuales para considerar un escenario en el que la evaporación del agua es máxima. Con los gráficos de la lluvia acumulada anualmente se busca identificar tendencias en la cantidad total de agua que recibe cada municipio como precipitación, previendo posibles escenarios en el futuro.

Resultados y Discusión

Ninguno de los cálculos del estrés hídrico arrojó valores superiores a 5.0 (cuadro 2), lo que indica que en la Huasteca hidalguense se encuentra aún lejos de presentar una situación de estrés hídrico. Sin embargo, en años recientes se ha observado una escasez de agua en la región, sobre todo durante los meses más cálidos del año. De acuerdo con el Registro Público de Agua (RPDA) de la CONAGUA (2025a), los municipios de la Huasteca hidalguense obtienen principalmente su suministro de agua desde aprovechamientos superficiales. Únicamente Yahualica obtiene el 23 % del agua que emplea de aprovechamientos subterráneos. Para el resto de los municipios considerados el agua proveniente de los acuíferos representa tan solo entre el 0 y el 11 % del total del agua que emplean. Es por ello que la escasez

de agua observada durante los periodos más cálidos del año en la región se debe probablemente a limitaciones en la cantidad del agua proveniente de los aprovechamientos superficiales.

El caudal de un río está influenciado por factores como la precipitación, la evapotranspiración, la temperatura ambiental, la recarga de los acuíferos y demás intercambios que la cuenca en cuestión tenga con las cuencas vecinas.

Cuadro 2. Evaluación del estrés hídrico de los municipios de la Huasteca hidalguense.

Municipio	Estrés hídrico (%)	Evaluación del estrés hídrico
Atlapexco	0.48	Sin estrés hídrico
Calnali	3.75	
Huautla	0.52	
Huejutla	1.11	
Jaltocán	0.01	
San Felipe Orizatlán	0.33	
Tlanchinol	2.38	
Xochiatipan	0.17	
Yahualica	0.29	

En la figura 1 se muestra el registro histórico de las temperaturas máximas promedio en cada año para los municipios de la región en estudio. Para el municipio de Jaltocán los registros se interrumpen en el año 2013 y tanto Huautla como Yahualica muestran variaciones que se alejan considerablemente de las temperaturas promedio, lo que pudiera tratarse de valores erráticos. En general, no se observa una tendencia clara que indique un aumento gradual en las temperaturas de la región. Destacan las temperaturas relativamente bajas y constantes de Tlanchinol que, al estar ubicado en la sierra, presenta temperaturas más frescas.

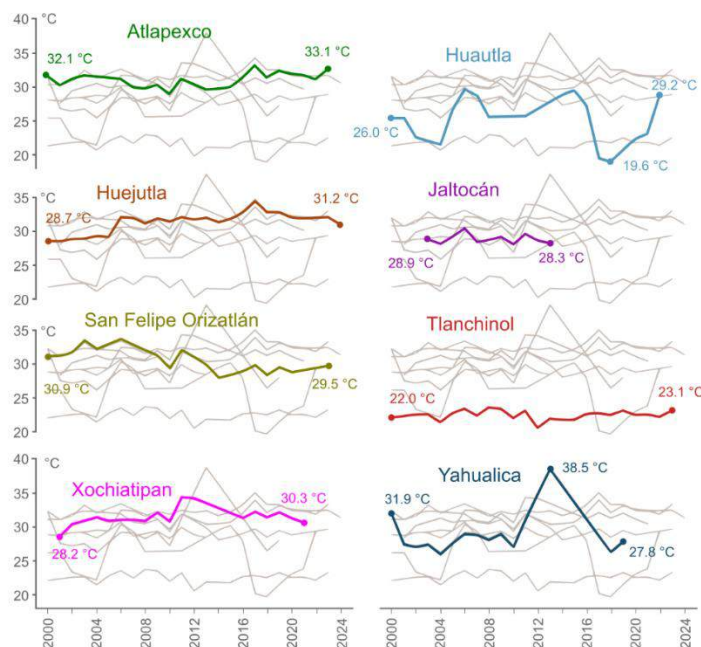


Figura 1. Registro histórico de las temperaturas máximas promedio en los municipios de la Huasteca hidalguense durante el presente siglo. Los datos asociados a los municipios de Xochiatipan y Yahualica provienen de estaciones metereológicas ubicadas en las proximidades, mas no dentro del municipio.

Durante el último cuarto de siglo las temperaturas máximas en San Felipe Orizatlán muestran una tendencia ligeramente a la baja, comportamiento que no se observa en ningún otro municipio. Tanto en Atlapexco, en Huejutla y en Xochiatipan se observa un ligero incremento durante el periodo estudiado, con

un pico en común en el año 2017. Debido al fenómeno del calentamiento global se podría esperar un aumento generalizado en las temperaturas máximas de la región, sin embargo, esto no se observa en la Huasteca.

Por otro lado, sí se observa una tendencia generalizada en la región en cuanto a la cantidad de lluvia acumulada cada año (figura 2). Salvo en el municipio de Jaltocán, se observa que a partir del año 2013 se muestra una tendencia a la baja de esta variable en el resto de los municipios. Se hallaron datos históricos de evapotranspiración para tan solo seis de los municipios en estudio y ninguno de ellos muestra un incremento de esta variable a lo largo del tiempo en los últimos años (datos no mostrados), sin embargo, una reducción en la precipitación impacta directamente en la cantidad de agua que llevan los ríos y, por lo tanto, la cantidad de agua que puede ser aprovechada por la población. En una segunda fase de este estudio se obtendrán estimaciones del caudal de los ríos de la región en función de las variables meteorológicas, pero parece ser que la reducción en la cantidad de lluvia anual ha llevado a la escasez de agua en la región a pesar de no presentar estrés hídrico alguno.

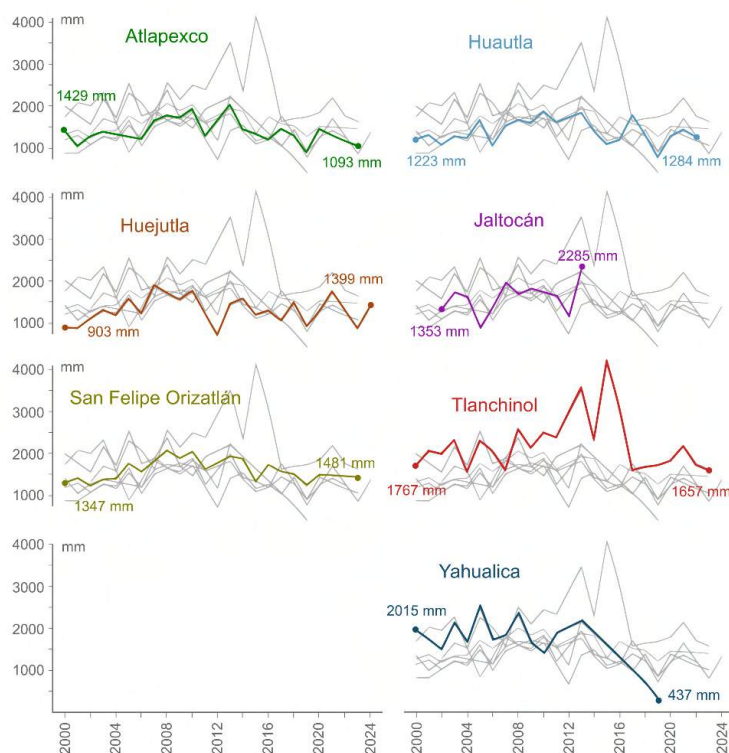


Figura 2. Lluvia acumulada anualmente en los municipios de la Huasteca hidalguense durante el presente siglo. Los datos asociados Yahualica provienen de una estación meteorológica ubicada en las proximidades, mas no dentro del municipio.

Poco más del 60 % del agua que se usa en la Huasteca hidalguense se emplea para actividades agropecuarias, casi el 39 % se usa para el servicio público y doméstico y menos del 0.3 % para la industria, siendo únicamente Atlapexco y Calnali quienes reportan aprovechamiento para uso industrial. Comparada con otras regiones del país, el consumo de agua en la Huasteca hidalguense es bajo y la disponibilidad de agua es alta, lo que no ha evitado que se presenten situaciones de escasez de este líquido, probablemente causadas por el caudal reducido de los ríos en épocas de estiaje. Las tendencias observadas a nivel municipal en cuanto a la cantidad de lluvia acumulada anual en la región indican que el problema puede agravarse en los próximos años. Se sugiere aumentar la capacidad de tratamiento de aguas residuales en la región para retomar la fracción usada para el servicio público y doméstico a los ríos. Debido a que la región obtiene más del 95 % del agua que emplea de aprovechamientos subterráneos, otra posible

alternativa es aprovechar más el agua subterránea, al menos durante los periodos en los que el caudal de los ríos baja.

Cuadro 3. Volumen de agua aprovechada en cada municipio de la Huasteca de acuerdo con su origen.

Municipio	Aprovechamiento en 2023 (Mm ³)		
	Subterráneo	Superficial	Total
Atlapexco	0.17	1.90	2.07
Calnali	0.00	1.15	1.15
Huautla	0.05	2.58	2.63
Huazalingo	0.00	0.68	0.68
Huejutla	0.44	4.35	4.79
Jaltocán	0.01	0.08	0.09
San Felipe Orizatlán	0.02	4.47	4.49
Tlanchinol	0.00	6.41	6.41
Xochiatipan	0.00	0.87	0.87
Yahualica	0.29	0.97	1.26
Total (Mm ³)	0.98	23.46	24.44
Porcentaje (%)	4.01	95.99	100.00

Conclusiones

No se identificó que la Huasteca hidalguense muestre estrés hídrico en ninguno de sus municipios, considerando el indicador correspondiente propuesto por la FAO. Sin embargo, se ha observado una escasez de agua en años recientes durante los meses más cálidos del año, lo que probablemente esté asociado a la reducción en el caudal de los ríos de donde se obtiene el agua que emplea la población. Esta reducción en el caudal puede agravarse con las condiciones meteorológicas que impondrá el cambio climático. Los registros históricos de las temperaturas máximas promedio anual en los municipios de la Huasteca hidalguense desde el año 2000 no presentan tendencias al alza como podría esperarse por el calentamiento global, sin embargo, la cantidad de lluvia acumulada en cada año sí muestra una tendencia a disminuir con el transcurso del tiempo. Como la cantidad de lluvia impacta directamente en el caudal de los ríos, es de esperarse que la situación de escasez de agua durante la época de estiaje se agrave en la región. Una opción para atender la escasez de agua podría ser el aprovechamiento del agua subterránea en la región, ya que actualmente esta fuente contribuye con menos del 5 % del total del agua consumida.

Fuente financiadora

Este proyecto no contó con alguna fuente de financiamiento.

Referencias bibliográficas

- CONAGUA. (2025a). *Sistema Nacional de Información del Agua*. SINA 3.0. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=repda>
- CONAGUA. (2025b). *Información Estadística Climatológica*. Mapa interactivo en línea. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, 89, 195-219. <https://www.scielo.org.mx/pdf/secu/n89/n89a8.pdf>
- FAO. (2024). *Progress on the level of water stress. Mid-term status of SDG Indicator 6.4.2 and acceleration needs, with special focus on Food Security*. Food and Agriculture Organization. https://www.unwater.org/sites/default/files/2024-12/SDG6_Indicator_Report_642_Progress-of-water-stress_2024_EN.pdf
- INEGI. (2025). *Climatología*. Mapas interactivos en línea. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/#mapas>

ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA MEDIANTE RUTA CRÍTICA, PERT Y PERT/COSTO: UN ESTUDIO DE CASO

Ma. Magdalena Sánchez-Astello^{1*}

¹Departamento de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: mastello83@hotmail.com

Palabras clave. Infraestructura hidroagrícola, ruta crítica, PERT.

Introducción

La infraestructura hidroagrícola es esencial para la gestión eficiente del agua en la agricultura, permitiendo el riego controlado y la conservación de recursos hídricos en zonas agrícolas. La administración efectiva de las obras asociadas con esta infraestructura es crucial para asegurar que los proyectos se completen a tiempo, dentro del presupuesto y con la calidad requerida. No obstante, los proyectos de infraestructura hidroagrícola como cualquier otra obra presentan desafíos como el incremento de costos, retrasos y problemas técnicos, entre otros, lo cual puede comprometer su efectividad y término.

La construcción de la infraestructura hidroagrícola en México se debe de sujetar a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Mismas y a su Reglamento (LOPySRM), desde su proyecto, ejecución y control, el artículo 3 de esta ley la considera como una obra pública, por lo que para llevar a cabo este tipo de infraestructura se aplica la administración de obra, definiéndola a esta como el conjunto de actividades orientadas a la planificación, organización, dirección y control de los recursos disponibles para la ejecución de un proyecto de construcción, con el objetivo de cumplir con los plazos, costos y calidad establecidos, minimizando riesgos y garantizando la satisfacción del cliente, Valderrama (2015).

Objetivo

Aplicar las metodologías de administración de proyectos de PERT (Program Evaluation and Review Technique) y PERT/Costo para mejorar la administración de obras de infraestructura hidroagrícola, aplicada a un estudio de caso: un sistema de riego por aspersión fija en caña y pasto en el Ejido San Antonio, Municipio de Tlalixcoyan, Estado de Veracruz.

Materiales y Métodos

Este trabajo se desarrolla en un sistema de riego por aspersión fija para caña (*Saccharum officinarum* L.) y pasto (*Cynodon nlemfuensis*) en una superficie de 44 ha distribuidas en 22 ha para caña y 22 ha para pasto tipo Estrella de África en San Antonio Tlalixcoyan, Veracruz. El proyecto se dividió en conceptos de trabajo y se analizaron sus componentes empleando la metodología de análisis de precios unitarios publicada en el Reglamento de la LOPySRM, obteniendo 49 conceptos. Las cantidades requeridas para cada concepto de trabajo fueron extraídas del diseño del sistema de riego y los rendimientos empleados para los grupos de trabajo son producto de la experiencia en instalación de quienes realizaron ese trabajo de investigación. Como resultado se obtuvo el catálogo de conceptos que proporciona el monto global de todo el proyecto (Muñoz y Rosas, 2019).

Se conformaron las actividades del proyecto a partir de los conceptos de trabajo. El orden en que se inician estas actividades y sus relaciones entre ellas constituyen el plan de construcción, este es iterativo hasta que se llega al plan definitivo, para realizar el diagrama de la red. Cada actividad se le define con una letra del abecedario, pero también puede ser un nombre corto o clave. El método por utilizar es el AOA (Activity on Arrow), las flechas son las actividades y los nodos son eventos, un evento es un suceso que marca el inicio o fin de algo. Cada flecha representa una actividad, el sentido de esta indica la precedencia y su longitud y no tiene que ver con la duración de la actividad. Los nodos (círculos) son eventos que indican el inicio y término de una actividad, y en una red general se especifica el nodo inicial y final del proyecto. Cada evento se numera para facilitar la identificación de cada flecha o actividad, de tal manera que, para pasar un evento, es indispensable que todas las flechas (actividades) que terminan en dicho evento se hayan terminado (Antill, 2002). Al dibujar surgen actividades que su función es cumplir el orden de precedencias, a estas se les llama ficticias y se les identifica con las letras de alfabeto griego o con la letra F y un número secuencial de cómo van apareciendo en el dibujo.

La Técnica de Evaluación y Revisión de Programas (PERT) se aplica cuando ya se ha construido la red de un proyecto y se asigna un tiempo, los creadores de esta metodología utilizaron una distribución de probabilidad basada en tres estimaciones para cada actividad: tiempo optimista (a), tiempo que tomaría una actividad si todo sale tan bien como sea posible; tiempo pesimista (b), tiempo que tomaría una actividad suponiendo condiciones muy desfavorables; y tiempo más probable (m), estimación de tiempo más realista para completar la actividad. Después se obtiene un promedio ponderado de estos tiempos para usarlo con PERT, estos promedios se emplean para encontrar la ruta crítica. Además, ellos querían medir la incertidumbre en el tiempo estimado, por lo que supone que las estimaciones de tiempo siguen la distribución de probabilidad beta. Se ha encontrado que esta distribución continua es adecuada, en muchos casos, para determinar un valor esperado y la varianza de los tiempos de terminación de las actividades, (Render, 2012).

Para encontrar el tiempo esperado de la actividad (t), la distribución beta lo estima como sigue:

$$t = \frac{a+4m+b}{6} \quad (1)$$

a = Tiempo más optimista, b = Tiempo más pesimista y m = Tiempo más probable.

Para calcular la dispersión o variación de los tiempos inciertos de terminación de las actividades, se usa la siguiente fórmula de la desviación estándar (σ) de una actividad:

$$\sigma_{Actividad} = \frac{b-a}{6} \quad (2)$$

Cuando se ha calculado el tiempo esperado (t) de cada actividad se determina la ruta crítica del proyecto, sin embargo, las variaciones de los tiempos de las actividades que se encuentran en la ruta crítica pueden llegar a afectar la terminación del proyecto y quizás retrasarlo, para conocer este efecto de incertidumbre, se calcula la desviación estándar de la ruta crítica con las desviaciones estándar de las actividades que forman esta:

$$\sigma_{proyecto} = \sqrt{\sigma_{Actividad\ 1\ de\ la\ RC}^2 + \sigma_{Actividad\ 2\ de\ la\ RC}^2 + \dots + \sigma_{Actividad\ n\ de\ la\ RC}^2} \quad (3)$$

PERT supone que los tiempos de las actividades son independientes, también que el tiempo total de terminación del proyecto completo sigue una distribución de probabilidad normal. Con tales supuestos, se calcula la probabilidad de terminación de un proyecto con la ecuación normal estándar como sigue (Render 2012, p. 470):

$$Z = \frac{Fecha\ de\ entrega\ del\ proyecto - Fecha\ esperada\ de\ terminación\ del\ proyecto}{\sigma_{proyecto}} \quad (4)$$

Donde: Z es el número de desviaciones estándar a las que la fecha de entrega o la fecha meta se separa de la media o fecha esperada. Si consultamos la distribución normal de probabilidades, con esta Z encontramos la probabilidad de que el proyecto se termine en la fecha de entrega.

Resultados y Discusión

Determinación de costo y tiempo de cada actividad. Para el cálculo del costo se identificó cuáles son los conceptos que incluyen cada una de las actividades en el catálogo y su parte correspondiente de materiales, mano de obra y maquinaria. Para el tiempo se cuantifica el número de jornadas que la mano de obra requiere para ejecutar la actividad, en base a los coeficientes de rendimiento de los análisis de precios unitarios de los diferentes conceptos que integran las actividades.

Construcción de la red y determinación de la ruta crítica. Para construir la red se establecieron dos procedimientos a la par, la construcción de la línea o tubería principal y la de la tubería secundaria, adicional a estos procesos constructivos se definieron las actividades de suministro, en donde pueden iniciar sin depender de alguna otra actividad, pero deben de terminarse para cuando las actividades que requiera el mismo deban de iniciar, la figura 1 ilustra la red y su ruta crítica.

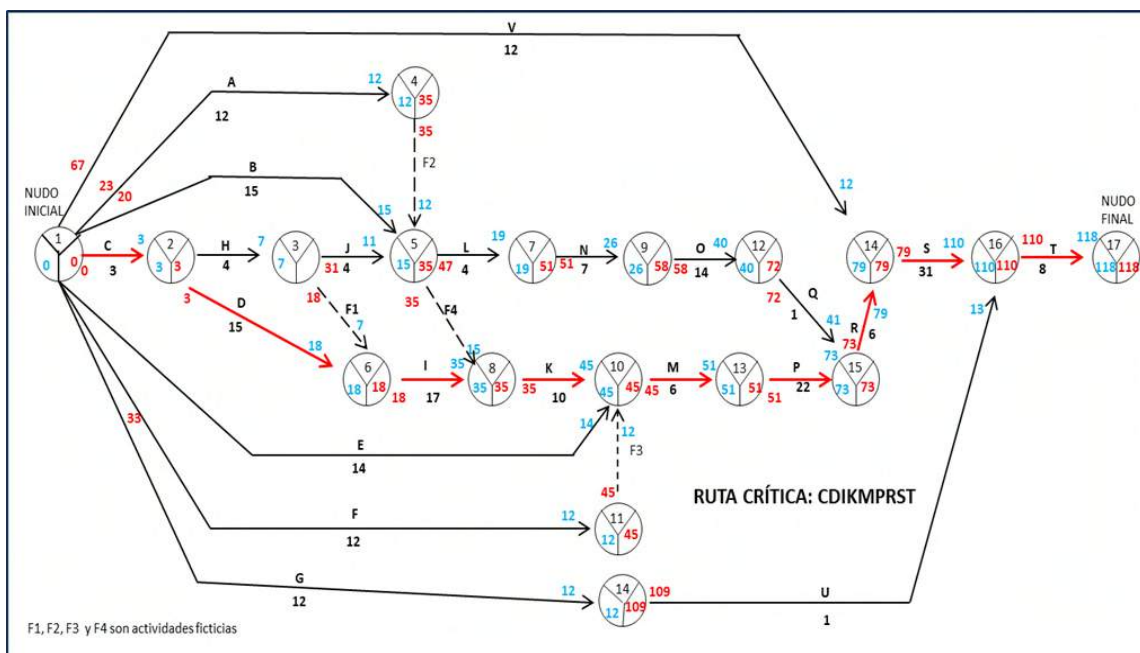


Figura 1. Red del proyecto.

Aplicación de PERT. Para la aplicación de PERT se propone utilizar los coeficientes eficiencia de mano de obra propuestos por SRH (1963) y citado por Arteaga (2018) en cuanto a las condiciones de la obra y la administración, así que para el tiempo optimista se consideran condiciones excelentes con un 84% de eficiencia, por lo tanto, para el 100% se requiere que el tiempo sea menor en un 16%, para el tiempo medio se tomará el tiempo calculado y para el tiempo pesimista se consideran condiciones buenas con un 71.3% de eficiencia, de tal manera que este tiempo se tardará un 28.7% más. Con esta información se calcula el tiempo estimado de cada actividad aplicando la ecuación 1 y la desviación estándar se calcula con la ecuación 2 de las actividades que conforman a la ruta crítica, ver cuadro 1.

Con los tiempos estimados se calcula nuevamente la ruta crítica de la red, esta sigue sin cambiar y la duración del proyecto es de 121 días. Con esta información se aplica la ecuación 3 y se obtiene la desviación estándar del proyecto:

$$\sigma_{proyecto} = \sqrt{0.1667^2 + 0.8333^2 + 1^2 + 0.6667^2 + 0.3333^2 + 1.3333^2 + 0.3333^2 + 1.8333^2 + 0.5^2} = 3.2446$$

Con este valor y utilizando la ecuación 4 se calcula la probabilidad de terminación del proyecto, en la fecha de entrega del proyecto, se consideran varias fechas para obtener un panorama general de las probabilidades de terminar el proyecto y en la fecha esperada de terminación se consideran los 121 días del tiempo estimado. En la figura 2, se observa que si el proyecto se quiere terminar en 118 días (lo ya establecido en el plan general de ejecución de la obra), se tiene una probabilidad de alcanzarlo de 17.8%, es importante mencionar que para que haya una probabilidad mayor al 50% de terminar la obra es arriba de los 121 días y para un 99.7% es de 130 días, lo cual puede ser un margen para el planeador.

Cuadro 1. Determinación de los tiempos estimados y la desviación estándar del proyecto.

Clave	Actividad	Costo \$	Tiempo (días)			Tiempo estimado	Desviación estándar
			Optimista (a)	Medio (m)	Pesimista (b)		
A	S piezas especiales y válvulas para la tubería principal	53,289	10	12	15	12	
B	S de tubería principal	335,963	13	15	19	15	
C	Trazo de tubería principal	18,107	3	3	4	3	0.1667
D	Trazo de tubería secundaria	86,070	13	15	19	15	1
E	S de tubería secundaria	348,449	12	14	18	14	
F	S piezas especiales para la tubería secundaria	48,783	10	12	15	12	
G	S e I de medidor de flujo	31,784	10	12	15	12	
H	Exc. de la tubería principal	24,818	3	3	5	3	
I	Exc. de la tubería secundaria	118,961	15	17	22	18	1.1667
J	P de la tubería principal	4,460	3	3	5	3	
K	P de la tubería secundaria	22,302	9	10	13	10	0.6667
L	I de tubería principal	20,864	3	3	5	3	
M	I de tubería secundaria	39,647	5	6	8	6	0.5
N	Atraques tubería principal	24,479	6	7	9	7	
O	Arrope tubería principal	15,611	12	14	18	14	
P	Arrope tubería secundaria	73,597	19	22	28	23	1.5
Q	Relleno tubería principal	8,005	1	1	1	1	
R	Relleno tubería secundaria	41,036	5	6	8	6	0.5
S	Construcción y revestimiento elevadores zapatas cañones	358,412	27	31	40	32	2.1667
T	Instalación de cañones	69,416	7	8	10	8	0.5
U	S e I equipo de fertirriego	29,335	1	1	1	1	
V	S de materiales para elevador y cañón	256,085	10	12	15	12	
Total del proyecto		\$	2,029,473				

Notas: S: suministro, I: instalación, Exc.: excavación, P: plantilla

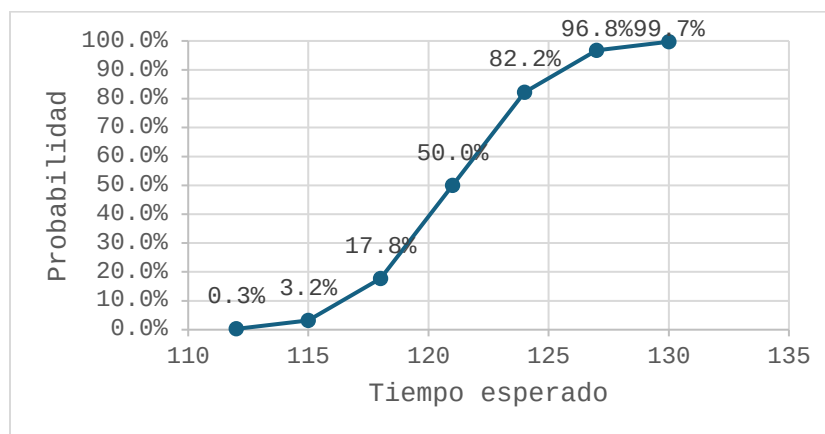


Figura 2. Probabilidad de ejecutar la obra en los tiempos esperados.

PERT/COSTO. Para la utilización de PERT/costo, se toma el tiempo calculado de cada actividad (no el tiempo estimado), se realizan los diagramas de Gantt con la fmc del nudo inicial y fml del nodo final con el objetivo de conocer cómo se comporta el presupuesto con estas planeaciones, la gráfica de la figura 3 se construye a partir de estas; muestra cómo se distribuye el presupuesto en el tiempo de ejecución del proyecto, la fmc es iniciando inmediatamente y las holguras se consideran al final de la planeación, y la fml es consumiendo al principio las holguras de las actividades no críticas A, B, E, F, G, L, N, O y V, en donde todo el proyecto es crítico. Esta gráfica también sirve en la ejecución del proyecto para monitorear cómo se desarrolla el presupuesto en el tiempo y prevenir los desfases del mismo.

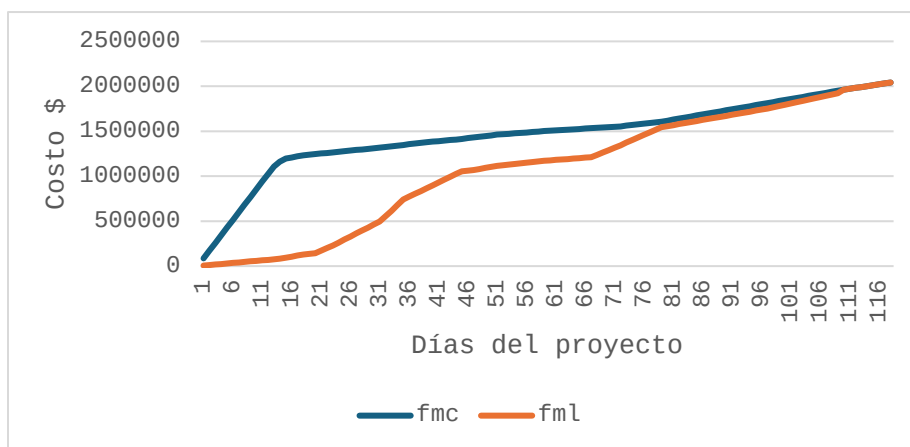


Figura 3. Costo del proyecto en el tiempo de ejecución.

Conclusiones

La identificación de la ruta crítica permitió determinar las actividades clave que no admiten demoras sin afectar la duración total del proyecto.

En el análisis mediante PERT permitió calcular los tiempos esperados de finalización de las actividades, considerando las variaciones optimistas y pesimistas. Se determinó que la duración estimada del proyecto es de 121 días, con una desviación estándar de 3.2446 días. Y la probabilidad de concluir el proyecto en el tiempo planeado de 118 días fue del 17.8%, sugiriendo la necesidad de considerar un margen de seguridad para mitigar riesgos.

PERT/Costo integra el tiempo y los costos, identificando los costos críticos. Facilita la asignación eficiente de recursos financieros y ayuda a decidir entre acelerar actividades o mantener el cronograma original. Las actividades que determinan las curvas de costo/tiempo son las de surtimiento de piezas especiales y válvulas, que en conjunto representan el 55% del presupuesto.

Referencias bibliográficas

- Antill J. M. & Woodhead R. W. (2002). *Método de la ruta crítica y sus aplicaciones en la construcción*. México, D.F., Editorial Limusa, pp. 23-25.
- Arteaga T. E. (2018). *Proyecto de minipresas de almacenamiento*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, p. 181.
- Muñoz O. A. & Rosas P. L. F. (2019). *Determinación de costos directos en un sistema de riego por aspersión fija para caña (Saccharum officinarum L.) y pasto (Cynodon nlemfuensis)*. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 62, 74, 246-248 y 256.
- Render, B., Ralph M. & Michael E. (2012) *Métodos cuantitativos para los negocios*. Undécima edición Pearson Educación, México, pp. 464-470.
- Valderrama, F. (2015). *Organización y Gestión de Obras*. Madrid: Ediciones Universidad Politécnica de Madrid, pp. 34-36. España.

ADMINISTRACIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA HIDROAGRÍCOLA APLICANDO EL MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA (CPM): UN ESTUDIO DE CASO

Ma. Magdalena Sánchez-Astello^{1*}

¹Departamento de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: mastello83@hotmail.com

Palabras clave. Infraestructura hidroagrícola, ruta crítica, PERT.

Introducción

La mayoría de las obras de construcción en general sufren retrasos, estos tienen costos significativos que afectan tanto al sector público como privado. Estos costos no solo se limitan al aumento en el presupuesto original de los proyectos, sino que también incluyen pérdidas económicas para las comunidades agrícolas, impactos ambientales, y costos asociados a conflictos legales y sociales, entre otros. Calderón, F. & Vega, L. (2018) encontraron “que los proyectos de infraestructura hidroagrícola en México pueden experimentar un incremento de hasta el 20-30% en los costos iniciales debido a retrasos en la ejecución. Este aumento en los costos afecta no solo a los inversionistas y contratistas, sino también a los recursos públicos asignados a estos proyectos”. La forma de evitar esto es mejorando la eficiencia en la administración de las obras.

Este proyecto de investigación se centra en la aplicación del CPM (Critical Path Method), para mejorar la administración de obras de infraestructura hidroagrícola, aplicada a un estudio de caso: un sistema de riego por aspersión fija en caña y pasto en el Ejido San Antonio, Municipio de Tlalixcoyan, Estado de Veracruz. Para evaluar la efectividad de estos métodos en este tipo de infraestructura y optimizar su planificación, ejecución y control.

Objetivo

Aplicar la metodología del Método del Camino Crítico (CPM) para mejorar la administración de obras de infraestructura hidroagrícola.

Materiales y Métodos

Este trabajo se desarrolla en un sistema de riego por aspersión fija para caña (*Saccharum officinarum* L.) y pasto (*Cynodon nlemfuensis*) en una superficie de 44 ha distribuidas en 22 ha para caña y 22 ha para pasto tipo Estrella de África en San Antonio Tlalixcoyan, Veracruz. El proyecto se dividió en conceptos de trabajo y se analizaron sus componentes empleando la metodología de análisis de precios unitarios publicada en el Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (2010), obteniendo 49 conceptos. Las cantidades requeridas para cada concepto de trabajo fueron extraídas del diseño del sistema de riego y los rendimientos empleados para los grupos de trabajo son producto de la experiencia en instalación de quienes realizaron ese trabajo de investigación. Como resultado se obtuvo el catálogo de conceptos que proporciona el monto global de todo el proyecto (Muñoz y Rosas, 2019).

Se conformaron las actividades del proyecto a partir de los conceptos de trabajo. El orden en que se inician estas actividades y sus relaciones entre ellas constituyen el plan de construcción, este es iterativo hasta que se llega al plan definitivo, para realizar el diagrama de la red. Cada actividad se le define con una letra del abecedario, pero también puede ser un nombre corto o clave. El método por utilizar es el AOA (Activity on Arrow), las flechas son las actividades y los nodos son eventos, un evento es un suceso que marca el inicio o fin de algo. Cada flecha representa una actividad, el sentido de esta indica la precedencia y su longitud y no tiene que ver con la duración de la actividad. Los nodos (círculos) son eventos que indican el inicio y término de una actividad, y en una red general se especifica el nodo inicial y final del proyecto. Cada evento se numera para facilitar la identificación de cada flecha o actividad, de tal manera que, para pasar un evento, es indispensable que todas las flechas (actividades) que terminan en dicho evento se hayan terminado (Antill, 2002). Al dibujar surgen actividades que su función es cumplir el orden de precedencias, a estas se les llama ficticias y se les identifica con las letras de alfabeto griego o con la letra F y un número secuencial de cómo van apareciendo en el dibujo.

Método de la ruta crítica (CPM). Después de que se ha construido la red del proyecto se utiliza CPM, en esta metodología se indican dos estimados de costo y de tiempo para cada actividad, un estimado normal y un estimado acelerado. El costo normal es el asociado con la terminación del proyecto en tiempo normal. El tiempo acelerado es el tiempo que sería requerido si no se evita costo alguno con tal de reducir el tiempo del proyecto. El costo acelerado es el costo asociado con hacer el trabajo en una base acelerada para minimizar el tiempo de terminación.

Render (2012) define los siguientes pasos para acelerar un proyecto:

1. Encontrar la ruta crítica normal e identificar las actividades críticas.
2. Calcular el costo de aceleración por semana (u otro periodo) para todas las actividades de la red, usando la fórmula:

$$\frac{\text{Costo acelerado}}{\text{Periodo de tiempo}} = \frac{\text{Costo acelerado} - \text{Costo normal}}{\text{Tiempo normal} - \text{Tiempo acelerado}} \quad (1)$$

Esta fórmula supone que los costos acelerados son lineales. Si no los son, deben hacerse ajustes

3. Seleccionar la actividad en la ruta crítica con el menor costo de aceleración por semana. Acelerar esta actividad lo máximo posible o al punto donde se logre la fecha de entrega deseada.
4. Verificar que la trayectoria crítica que se acelera todavía sea crítica. Con frecuencia, una reducción en el tiempo de una actividad en la ruta crítica ocasiona que otra u otras trayectorias no críticas se conviertan en críticas. Si la ruta crítica todavía es la ruta más larga a través de la red, regresar al paso 3. Si no, encontrar la nueva ruta crítica y regresar al paso 3.

Como se trabaja en la ruta crítica y se van reduciendo los tiempos, otras rutas no críticas van pasando a serlo y puede llegar a que todo el proyecto sea crítico. La decisión de “parar” la aceleración de un proyecto va a ser la relación beneficio costo de cada acción y el impacto que tiene este costo sobre los costos indirectos y contingentes.

Resultados y Discusión

Determinación de costo normal y tiempo normal de cada actividad. Para el cálculo del costo normal se identificó cuáles son los conceptos que incluyen cada una de las actividades en el catálogo y su parte correspondiente de materiales, mano de obra y maquinaria. Para el tiempo normal se cuantifica el número de jornadas que la mano de obra requiere para ejecutar la actividad, en base a los coeficientes de rendimiento de los análisis de precios unitarios de los diferentes conceptos que integran las actividades, ver cuadro 1.

Determinación de los costos y tiempos acelerado. Para acelerar los tiempos en CPM y con base al análisis de precios unitarios de los conceptos se realiza la revisión de cada actividad y se propone la reducción de la duración de las actividades a partir del incremento de la cantidad de personal, (cuadrillas de trabajo) junto con la maquinaria o equipo necesaria para ejecutar la tarea. De esto se obtiene que las actividades de suministro (A, B, E, F, G, U y V) no se reducen debido a que el tiempo de pedido y entrega del material no disminuye, la actividad Q no se reduce debido a que dura un día. Para las demás actividades se analizó una por una y se incrementó en general la cuadrilla de trabajo a 2, excepto en las actividades L y M, y en la P donde se consideran el uso de 3 cuadrillas. Adicional a lo anterior, se considera un 15% de costos indirectos, generados por el trabajo que conlleva tener más mano de obra y maquinaria y equipo en campo, es decir, la búsqueda y contratación de personal, la gestión administrativa de sus pagos y prestaciones, el hospedaje y sobresueldo en la obra, el transporte para llevarlos a la obra, entre otros.

Construcción de la red con tiempo normal y determinación de la ruta crítica. Para construir la red inicial se realiza con el denominado tiempo normal, se establecieron dos procedimientos a la par, la construcción de la línea o tubería principal y la de la tubería secundaria, adicional a estos procesos constructivos se definieron las actividades de suministro, en donde pueden iniciar sin depender de alguna otra actividad, pero deben de terminarse para cuando las actividades que requiera el mismo deban de iniciar, la figura 1 ilustra la red y su ruta crítica con el tiempo normal.

Para este proyecto se toma la consideración de la Cámara Mexicana de Industria de la Construcción (CMIC, sf) de un 15% de costos indirectos sobre el costo directo. Este proyecto tiene un monto de costos directos de \$2,014,598.23, por lo tanto, \$302,189.74 de indirectos, de tal manera que los indirectos por día son iguales a \$1,688.21.

Cuadro 1. Costos normales y acelerados, tiempos normales y acelerados del proyecto.

No.	Actividad	Costo normal (Cn)	Tiempo normal (Tn) (días)	Costo acelerado (Ca)	Tiempo acelerado (Ta) (días)	Tn-Ta	Ca-Cn	$\frac{Ca - Cn}{Tn - Ta}$
1	A	\$53,289.17	12	\$53,289.17	12	0	\$0.00	
2	B	\$335,963.17	15	\$335,963.17	15	0	\$0.00	
3	C	\$18,106.81	3	\$25,855.14	2	1	\$7,748.33	\$7,748.33
4	D	\$86,070.26	15	\$105,695.89	8	7	\$19,625.63	\$2,803.66
5	E	\$348,448.56	14	\$348,448.56	14	0	\$0.00	
6	F	\$48,782.97	12	\$48,782.97	12	0	\$0.00	
7	G	\$31,783.84	12	\$31,783.84	12	0	\$0.00	
8	H	\$24,818.14	4	\$30,401.20	2	2	\$5,583.06	\$2,791.53
9	I	\$111,030.48	17	\$136,805.42	9	8	\$25,774.93	\$3,221.87
10	J	\$3,902.85	4	\$5,129.45	2	2	\$1,226.61	\$613.30
11	K	\$21,186.88	19	\$25,647.27	10	9	\$4,460.40	\$495.60
12	L	\$20,863.70	4	\$20,863.70	2	2	\$0.00	\$0.00
13	M	\$39,647.13	6	\$39,647.13	4	2	\$0.00	\$0.00
14	N	\$22,763.88	7	\$28,150.89	4	3	\$5,387.02	\$1,795.67
15	O	\$15,611.38	14	\$17,953.09	7	7	\$2,341.71	\$334.53
16	P	\$73,596.52	66	\$84,636.00	22	44	\$11,039.48	\$250.90
17	Q	\$8,004.72	1	\$8,004.72	1	0	\$0.00	
18	R	\$42,223.35	6	\$47,191.08	4	2	\$4,967.73	\$2,483.87
19	S	\$355,185.58	31	\$412,173.87	16	15	\$56,988.29	\$3,799.22
20	T	\$67,898.86	16	\$79,828.39	8	8	\$11,929.53	\$1,491.19
21	U	\$29,334.65	1	\$29,334.65	1	0	\$0.00	
22	V	\$256,085.33	12	\$256,085.33	12	0	\$0.00	
		\$2,014,598.23		\$2,171,670.94				

Nota. Elaboración propia.

En la figura 1. Red del proyecto con tiempo normal se identifica la ruta crítica con un tiempo de ejecución de 179 días, se revisan las actividades que están dentro de la ruta crítica y se buscan aquellas actividades (o actividad) en las cuales el costo de acelerar por tiempo sea más bajo y que impacte en la reducción del tiempo del proyecto, aplicando la ecuación 1. Además, se considera otro elemento, los costos indirectos, cada período de tiempo que se reduce son costos indirectos que la empresa ya no va a erogar, por lo que se mide el impacto de gastar en reducir el tiempo versus el “ahorro” de ya no gastar en indirectos.

Se realizan 5 acciones de iteraciones y se paran en el momento que al revisar las demás actividades de la ruta crítica que se pueden reducir, su costo es muy alto, de tal manera que su aceleración no supera el ahorro de los costos indirectos, ver cuadro 2, de tal manera que en el proyecto se reduce a P, K y T, y tendrá una duración de 118 días. La ruta crítica sigue siendo la misma y costo acelerado acumulado de \$27,429.40, ver figura 2.

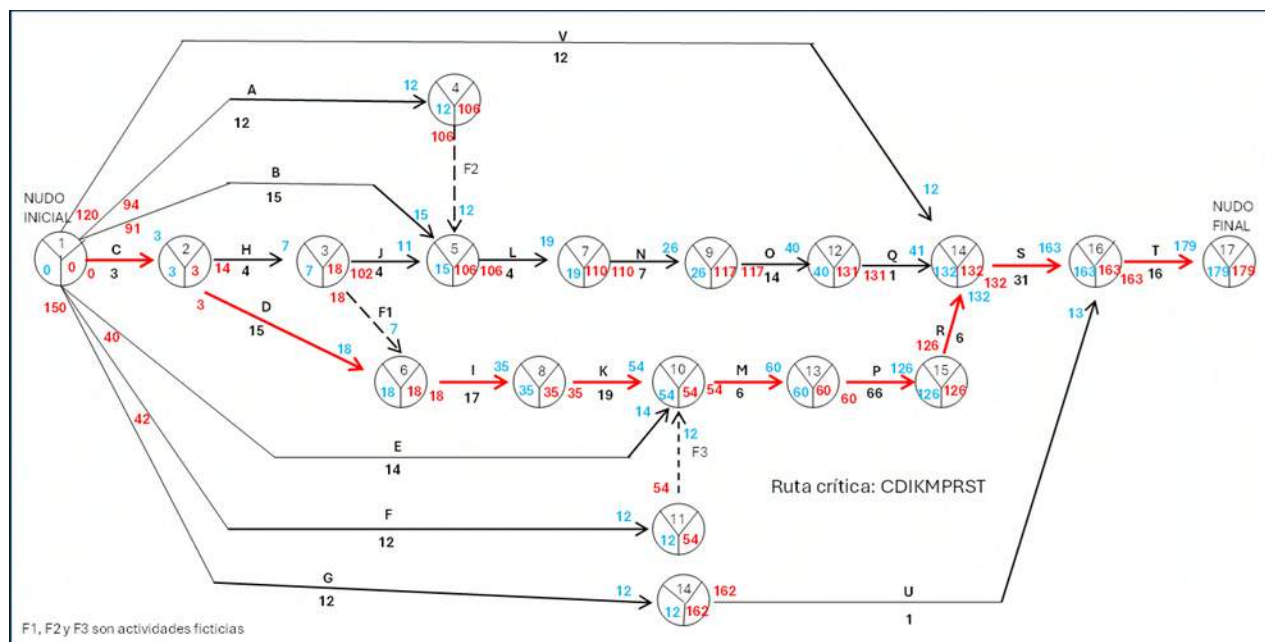


Figura 1. Red del proyecto con el tiempo normal.

Cuadro 2. Acciones de aceleración de costos y tiempos para el proyecto.

Acción de reducción de actividades	Tiempo (días)	Reduc- ción acumula- da de tiempo (días)	Costo Directo (CD)	Costo Indirecto (CI)	Costo por acelera- ción (CA)	Costo por aceleración acumulado (CAA)	Costo Total = CD + CI + CAA	Ahorro
	179		\$2,014,598	\$302,189			\$2,316,787	
1.P	135	44	\$2,014,598	\$227,908	\$11,039	\$11,039.48	\$2,253,546	\$63,241
2.P y K	126	53	\$2,014,598	\$212,714	\$4,460	\$15,499.87	\$2,242,812	\$73,975
3.P, K y T	118	61	\$2,014,598	\$199,208	\$11,929	\$27,429.40	\$2,241,236	\$12,309
4.P, K, T y R	116	63	\$2,014,598	\$195,832	\$4,967	\$32,397.13	\$2,242,827	-\$15
5.P, K, T, R y D	109	70	\$2,014,598	\$184,014	\$19,625	\$52,022.76	\$2,250,635	-\$9,399

Nota. Elaboración propia.

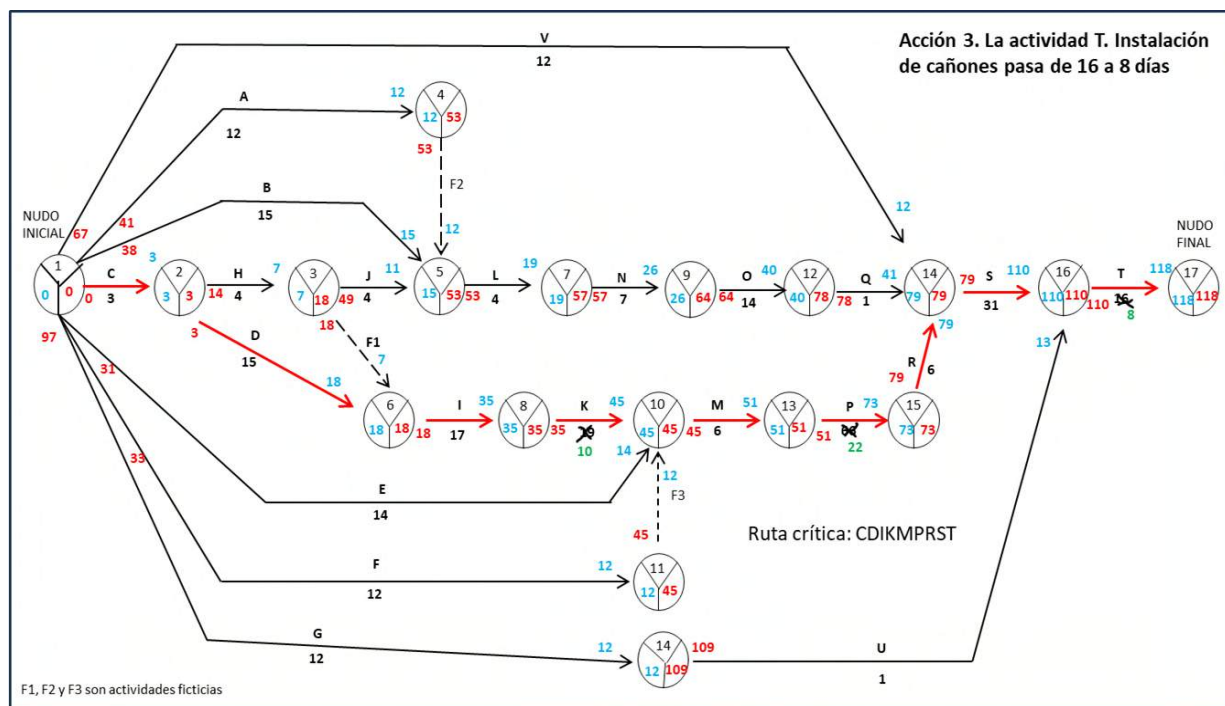


Figura 2. Red del proyecto con actividades aceleradas.

Conclusiones

La identificación de la ruta crítica permitió determinar las actividades clave que no admiten demoras sin afectar la duración total del proyecto.

En CPM, al realizar "crashing" se pueden generar nuevas rutas críticas y se analizan de manera subsecuente hasta que el tomador de decisiones decide parar el proceso o desde el punto de vista económico ya no conviene. Se identificó un punto óptimo donde se maximiza el ahorro total del proyecto al reducir las actividades P, K y T, con una reducción del 34% en el tiempo de ejecución (118 días) con un incremento en el costo directo del 1.4%.

Referencias bibliográficas

- Antill J. M. & Woodhead R. W. (2002). *Método de la ruta crítica y sus aplicaciones en la construcción*. México, D.F., Editorial Limusa, pp. 23-25.
- Calderón, F., & Vega, L. (2018). El impacto económico de los retrasos en proyectos hidroagrícolas en México. *Revista de Economía y Desarrollo Rural*, 12(3), 45-62. México.
- CMIC, s.f. Conferencia "Los costos indirectos en la industria de la construcción" recuperado de https://www.cmic.org.mx/comisiones/Tematicas/costosyp/Conferencias/1er%20Conferencia/Presentacion_Costos_Indirectos.pdf el 20 feb 2025.
- Muñoz O. A. & Rosas P. L. F. (2019). *Determinación de costos directos en un sistema de riego por aspersión fija para caña (Saccharum officinarum L.) y pasto (Cynodon nlemfuensis)*. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp. 62, 74, 246-248 y 256.
- Render, B., Ralph M. & Michael E. (2012) *Métodos cuantitativos para los negocios*. Undécima edición Pearson Educación, México, pp. 464-470.

CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE TUXPAN, GUERRERO

Martín Solís-Martínez^{1*}, Emely Arisbeth Ramírez-Bustamante¹, Mayra Isela Merlos-Brito¹, Juan Antonio Chamú-Baranda¹, Eloy Canales-Sosa¹

¹Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero

*Autor para correspondencia: martin.solis@csaegro.edu.mx

Palabras clave. Cationes, aniones, sales solubles.

Introducción

El agua es una de las sustancias más abundantes en nuestro alrededor. Este esencial líquido representa una de las moléculas (H₂O) que más prevalecen en el Universo entero, ocupando el segundo lugar después de la molécula de hidrógeno (H₂). Como es sabido, el agua es también la sustancia más importante para el desarrollo y el sostén de la vida en nuestro planeta; de hecho, la mayoría de los procesos biológicos se llevan al cabo gracias a ella. Como dato adicional, podemos recordar que, aproximadamente, 70% de la superficie terrestre está cubierta por el líquido. A esto se suma el hecho de que la mayor parte de la energía solar que obtiene la superficie de nuestro planeta se absorbe gracias a su contenido de agua y su evaporación, y la consecuente formación de nubes es uno de los principales factores que coadyuvan a estabilizar la temperatura terrestre (Peralta, 2007). La cuenca del Lago de Tuxpan, municipio de Iguala, Guerrero, geográficamente se ubica entre los 18° 18' 44" y 18° 24' 09" LN y 99° 27' 15" y 99° 32' 07" LO, comprendiendo una superficie de alrededor de 7000 ha, de las cuales el Lago de Tuxpan ocupa 290 ha. La geomorfología de la zona está formada por montañas y cerros, con altitudes de 850 a 1870 m; lomajes asociados con valles aluviales y una red de drenaje dendrítico con cárcavas, barrancas y arroyos, con altitudes de 750 a 850 m, y planicies que circundan la laguna de Tuxpan, a altitudes de alrededor de 750 m (González *et al.*, 2007). El clima de la zona es Awo(w)(i)g, que corresponde al más seco de los cálidos subhúmedos, y presenta una temperatura media anual de 25.5 °C, precipitación media anual de 1067 mm (García, 1988) y régimen de lluvias de verano de junio a septiembre, con sequía intraestival desde mediados de julio hasta mediados de agosto. En la cuenca Lago de Tuxpan predominan tipos de rocas como la caliza dolomita y conglomerado polimíctico arenisca, es un lago de origen tectónico. En los alrededores del lago, la economía depende principalmente de la pesca y el comercio de mango (exportación a los EE.UU.). También se presenta la ganadería (pastoreo de bovinos y caprinos), y la agricultura de temporal (maíz, sorgo y cacahuete) y de riego (hortalizas, flores y frutales). También resultan particularmente importantes los servicios turísticos (restaurantes en la rivera del cuerpo de agua). Sin embargo, no existe un control sobre el cuidado y uso del agua, debido a que durante muchos años ha sido objeto de descargas de drenaje, incorporaciones de contaminantes de uso agrícola, detergentes, partículas de suelo y materia orgánica en suspensión, provocando el azolve de este lago (Meza, 2013). Tanto el exceso como el déficit de sales en el agua juegan un rol negativo en la producción pecuaria. Su calidad, los efectos de las sales y las fuentes disponibles en el Lago de Tuxpan son aspectos por conocer para asegurar la provisión de este elemento esencial en cantidad, calidad y continuidad.

Objetivo

Caracterizar física y químicamente el agua del Lago de Tuxpan, Guerrero, y estimar el grado de contaminación que existe.

Materiales y Métodos

Previo a la toma de las muestras de agua, se realizó un recorrido por todo el lago en el cual se observaron los puntos donde se realizan más descargas de agua y las áreas que utilizan para el lavado de ropa y vajillas, seleccionando 12 puntos de muestreo representativos (figura 1). En total se realizaron seis muestreos en las siguientes fechas: 26 de marzo, 30 abril, 25 de mayo, 25 de junio, 24 de julio y 28 de agosto del año 2022.

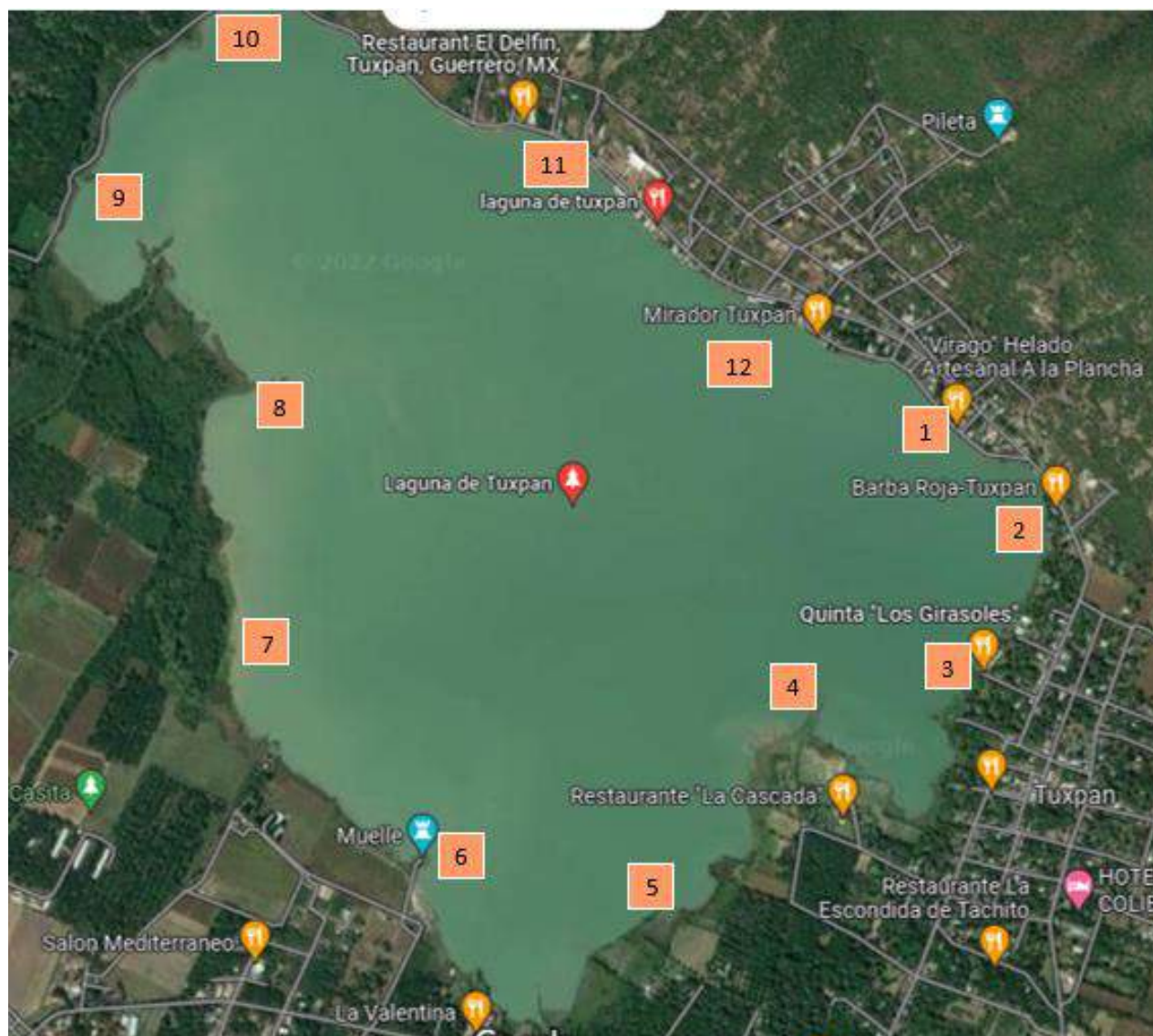


Figura 5. Ubicación de los sitios de muestreo, en el Lago de Tuxpan, Gro.

El muestreo de agua se realizó de acuerdo con las metodologías recomendadas por Palacios y Aceves (1994), y por la Norma Oficial Mexicana. La colecta de las muestras se efectuó de la siguiente manera: en cada sitio seleccionado se colectaron dos submuestras de agua de 1 L cada una, a una profundidad de 60 cm, con una distancia aproximada de la orilla de 4 m, utilizando un vaso de polipropileno adaptado a un palo de madera, el cual se utilizó como muestreador. Las submuestras de agua se vertieron en una cubeta de plástico limpia, con capacidad para 20 L y se homogenizaron para formar una muestra. De ésta, se tomó 1 L y se colocó en un recipiente de pet de igual volumen, previamente enjuagado con la misma agua, se cerró herméticamente con un tapón de rosca, se etiquetó y se llevó al laboratorio de Química Ambiental del Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO) para realizar, al siguiente día, el análisis químico respectivo, a fin de evitar cambios en las características químicas y biológicas de las aguas colectadas. *In situ* se determinó la temperatura, pH, el contenido de sales solubles y los sólidos totales disueltos del agua. Se determinó, además, la concentración de los iones calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, bicarbonatos, cloruros y sulfatos, de acuerdo con los procedimientos de Palacios y Aceves (1994).

Resultados y Discusión

El intervalo de las temperaturas del agua en los diferentes muestreos, varió de 26 a 29 °C, con una media de 28.49 °C. Meza (2013), en un estudio realizado en este mismo Lago de Tuxpan para determinar la calidad del agua, obtuvo una media de 25.2 °C en los meses de febrero, marzo, abril y mayo. En el presente trabajo de investigación se obtuvo una media de 28.49 °C en los meses en que se realizaron los muestreos, es decir, hay una diferencia de 3.29 °C en un período de 9 años entre los dos estudios; por otro lado, los resultados de ambos trabajos coinciden en que el mes de mayo es donde se presenta la temporada más calurosa. Los valores de pH oscilaron de 8.30 a 8.80 (alcalinos). Meza (2013), en este mismo Lago de Tuxpan obtuvo un pH promedio de 8.5, como se observa, no existió una diferencia significativa en el periodo entre los dos estudios. Respecto al contenido de sales en las muestras de agua analizadas, se obtuvo un valor promedio en los diferentes muestreos de 535.62 $\mu\text{S cm}^{-1}$, una concentración máxima de 587.95 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y mínima de 462.33 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Meza (2013), obtuvo una media de 411 $\mu\text{S cm}^{-1}$, existiendo una diferencia de 30.32 % con relación a la media obtenida en la presente investigación. En relación con los sólidos totales disueltos, las muestras de agua presentaron una concentración promedio de 358.62 mg L^{-1} , por su parte, Meza (2013), reportó una media de 137 mg L^{-1} en este mismo Lago, observándose un incremento importante en la cantidad de sólidos disueltos. Con respecto a los cationes solubles, el calcio presentó una concentración promedio de 2.18 meq L^{-1} , el magnesio 0.99 meq L^{-1} , el potasio 0.39 meq L^{-1} y el sodio 4.11 meq L^{-1} . En su estudio, Meza (2013) reportó promedios de 0.50 meq L^{-1} , 0.80 meq L^{-1} , 0.20 meq L^{-1} y 1.73 meq L^{-1} , de calcio, magnesio, potasio y sodio, respectivamente. Se observa un incremento muy significativo en las concentraciones de estos elementos, en el periodo de 2013 a 2022, posiblemente por las descargas de sedimentos, aguas residuales, detergentes y fertilizantes que recibe el Lago. En cuanto a los aniones solubles cuantificados en las muestras de agua analizadas, los promedios obtenidos fueron, carbonatos (0.81 meq L^{-1}), bicarbonatos (4.27 meq L^{-1}), cloruros (2.61 meq L^{-1}) y sulfatos (3.24 meq L^{-1}). Meza (2013) reporta los siguientes resultados promedio, expresados en meq L^{-1} : carbonatos (0.5), bicarbonatos (2.2), cloruros (1.44) y sulfatos (1.40). De la misma forma que los cationes solubles, la concentración de los aniones se incrementó de manera importante, por las razones señaladas anteriormente.

Conclusiones

La calidad del agua no fue la misma en los diferentes sitios de muestreo debido a factores químicos y ambientales. El grado de contaminación del agua del Lago está siendo afectado por el pH y el incremento de los cationes y aniones solubles, principalmente calcio, sodio y los bicarbonatos.

Referencias bibliográficas

- González Mateos, R., Volke Haller, V., Gonzáles Rios, J., Ocampo Portillo, M., Ortiz Solorio, C., y Manzo Ramos, F. (2007). Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamericana*, 399-408.
- Meza, T. I. (2013). Calidad del agua del lago de Tuxpan, Gro. Tesis para obtener el grado de Ingeniero agronomo fitotecnista. Cocula Guerrero.
- Palacios V.O., y Aceves N. E. (1994). Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego. Colegio de Postgraduados.
- Peralta, J. P. (2007). Academia Mexicana de ciencia. Obtenido de El agua, una sustancia tan comun como sorprendente : <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones-antteriores/77-vol-58-num-3-julio-septiembre-2007/agua/115-el-agua-una-sustancia-tan-comun-como-sorprendente>

CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DE VARIEDADES DE ARROZ

Antonio Villalobos-González¹, Mónica Beatriz López-Hernández^{2*}, Leonardo Hernández-Aragón³, Hermes Pérez-Hernández¹, Leticia Tavitas-Fuentes³

¹ INIFAP, CE Edzná. ²Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico de Chiná, Tecnológico Nacional de México. ³INIFAP, CE Zacatepec

*Autor para correspondencia: monica.lh@china.tecnm.mx

Palabras clave. Genotipo, clima, adaptación.

Introducción

En el estado de Campeche se cultivan anualmente más de siete mil hectáreas en condiciones de temporal (SIAP, 2022), que están expuestas a la variación de las precipitaciones de lluvia. Estudios posteriores (Shrestha, *et al.*, 2021), indican que existen variedades de arroz tolerantes al estrés hídrico; sin embargo, estas suelen presentar un bajo potencial de rendimiento y tienden a encamarse con altos niveles de insumos como fertilizantes y riego suplementario. Otros trabajos señalan que los estudios en arroz en condiciones de secano son útiles para identificar materiales sobresalientes, que posteriormente pueden ser útiles como progenitores para el desarrollo de otras variedades con mejor adaptación a ambientes de cultivo con estrés hídrico o resistencia a enfermedades (Ramanathan y Kanipriya, 2023). Shrestha *et al.* (2021) también señala que el estudio de características como la altura de planta, longitud de panícula, peso de 100 granos y el número de granos llenos y vacíos por panícula son fundamentales antes de implementar cualquier programa de mejoramiento exitoso. Por lo tanto, es importante el estudio de características agronómicas de materiales de arroz en condiciones de temporal, tales como la altura de planta, longitud de panícula, acame y manchado de grano.

Objetivo

Evaluación de características agronómicas de variedades de arroz en condiciones de temporal y riego de auxilio en el ciclo de primavera-verano.

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el Sitio Experimental Edzná, ubicado en la localidad de Uzahzil Edzná, Municipio de San Francisco de Campeche, Camp., México (19.609430 y longitud: -90.220306, y 27 msnm). El experimento se desarrolló sobre los suelos denominados en la región como Yax-chom y/o llamados Vertizoles, que agrupo a cinco materiales de arroz provenientes del Campo Experimental Zacatepec: Milagro (Zacatepec), Miloax 98-2, INIFLAR RT-1, IR 69915-12MI-15UBN-22 y IR8, que pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias y ubicado en el estado de Morelos, México.

Las líneas y variedades de arroz que agrupo el estudio se establecieron de forma manual en julio del 2024. Para ello se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela estaba constituida de seis surcos de seis metros de longitud, separados a 0.20 metros entre surco. Alrededor todo el contorno de las parcelas útiles se formaron bordos para la aplicación de riego de auxilio. Antes de la emergencia se realizó la aplicación de 150 ml de Glufosinato de amonio más 100 ml de Tromba (2,4-D Amina), mezclados en 20 litros de agua. En relación a la fertilización, se utilizó la fórmula 92-46-60. La cual se aplicó el 100 % del fósforo antes del segundo rastreo agrícola. Mientras que la urea se fraccionó en dos partes, aplicando el 50 % a los 35 días después de la germinación y el otro 50 % a la formación del primordio floral. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio (uno en septiembre y noviembre y dos en diciembre). Se registró la altura de planta (ALP, cm), que se determinó al promediar 20 plantas y medirse con un flexómetro desde la base del suelo hasta el ápice de la panícula más alta. De 20 plantas se midió la longitud de la panícula (LOP, cm) con una regla metálica del espacio entre la hoja bandera hasta el ápice de la panícula. Acame de planta se determinó utilizando una escala de valores de 10 clases, donde la clase uno indico un alto nivel de resistencia al acame con plantas completamente erectas (0 % de plantas acamadas) y la clase diez indico un alto nivel de susceptibilidad al acame (90 al 100%). Grano manchado se determinó utilizando una escala de valores de nueve clases, donde la clase uno indico un alto nivel de resistencia

(menos del 1 %) y la clase nueve indico un alto nivel de susceptibilidad al manchado de grano (más del 50 %). Los datos de la ALP y LOP fueron sometidos a un análisis de varianza en el programa SAS (Statistical Analysis System, para Windows Versión 9.0) (SAS, 2002) en forma individual. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de la diferencia mínima significativa (Tukey) a un nivel de probabilidad de error de 0.05.

Resultados y Discusión

Los resultados indican que existen diferencias ($P \leq 0.05$) entre materiales de arroz para la ALP y LOE (figura 1). El material IR8-2 presento la mayor ALP con un promedio de 131 cm. Mientras que Milagro (Zacatepec), Miloax 98-2 y INIFLAR RT-1 obtuvieron menor ALP con un promedio de 116 cm. Con respecto a la LOP, el material IR 69915-12MI-15UBN-22 y IR8-2 mostraron mayor LOP con un promedio de 35 cm en comparación con INIFLAR RT-1 que obtuvo la menor LOP con 23 cm, respectivamente. Resultados similares fueron reportados por Shrestha *et al.* (2021), quienes también observaron una variación altamente significativa ALP y LOE e informaron que estas características estaban bajo el control de la diferencia genotípica entre los genotipos.

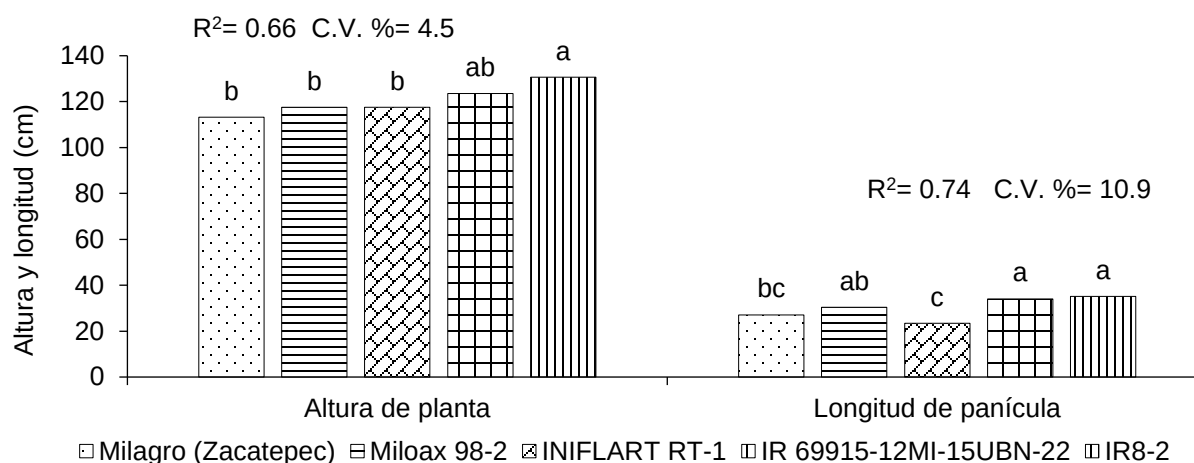


Figura 1. Altura de planta y longitud de panícula de materiales de arroz, ciclo de primavera-verano 2024. Campeche, México. Letras iguales denotan que no hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$).



Figura 2. Panícula de materiales de arroz, ciclo de primavera-verano 2024. Campeche, México.

Con respecto al acame, todos los materiales presentaron resistencia al acame. En relación a la enfermedad de manchado de grano, el material que sobresalió fue Milagro (Zacatepec) al obtener un valor de escala tres; es decir un material moderadamente resistente al manchado de grano en comparación con las variedades Miloax 98-2, INIFLAR RT-1, IR 69915-12MI-15UBN-22 y IR8-2 que presentaron un valor de escala de cinco que representa a materiales moderadamente susceptible al manchado de grano. Otros estudios similares (Ramanathan y Kanipriya, 2023) observaron que genotipos de arroz AD 17083, ADT 39,

AD 18035 y Karuppukavuni mostraron una resistencia moderada a enfermedades en condiciones naturales de campo; por lo que estos genotipos podrían utilizarse como fuente genética en programas de mejoramiento de arroz con resistencia a múltiples enfermedades, tales como Milagro (Zacatepec).

Conclusiones

Se identificaron materiales con menor y mayor altura de planta y longitud de panícula. Se identificó también materiales con menor y mayor susceptibilidad a la enfermedad de manchado de grano en condiciones de temporal y riego de auxilio en el ciclo de primavera-verano, tales como Milagro (Zacatepec). Asimismo, el estudio permitió observar que los materiales presentan resistencia al acame.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Al laboratorio de Ecofisiología de Cultivos Tropicales del Tecnológico Nacional de México (TECNM) Campus Chiná, Campeche, México por brindar su apoyo. Este trabajo fue apoyado con recursos internos del INIFAP con base al proyecto con número 2-1.6-9405836229-A-M.2-2.

Referencias bibliográficas

Ramanathan, A., Kanipriya, R. 2023. Screening of Rice Genotypes and Evaluating the efficacy of Single and Combination Agrochemicals against Blast, Brown Spot and Bacterial Leaf Blight Diseases in Rice. Biological Forum – An International Journal. 15 (8a): 429-437.

SAS, 2002. The SAS System Release for Windows 9.0; SAS Institute Inc.: Cary, NC, USA, 2002.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). Producción Agrícola, base de datos, consultada el 07 de junio de 2025.

Shrestha, J., Subedi, S., Singh, K.U.K., and Maharjan, B. 2021. Evaluation of rice genotypes for growth, yield and yield components. Journal of Agriculture and Natural Resources. 4(2): 339-346.



RENDIMIENTO DE GRANO EN VARIEDADES DE TRIGO DURO EXPUESTAS A SEQUÍA TERMINAL

Jorge Iván Alvarado-Padilla^{1*}, René Hortelano-Santa Rosa², Alberto Borbon-Gracias³, Héctor Eduardo Villaseñor-Mir³, Gabriela Chávez-Villalba², Julio Huerta-Espino³, José Ángel Marroquín-Morales², Eliel Martínez-Cruz³

¹ INIFAP, CEMEXI. ²CEVAMEX. ³CENEB

*Autor para correspondencia: alvarado.jorge@inifap.gob.mx

Palabras clave. Trigo duro, déficit de humedad, sequía.

Introducción

El mejoramiento genético del trigo para tolerancia a sequía representa una alternativa para incrementar la productividad de trigo duro bajo estas condiciones de manejo del agua (Valenzuela *et al.*, 2018), ya que su amplio sistema radical para explorar el suelo en busca de humedad es uno de los principales atributos del trigo para lograr producción rentable de grano con menor cantidad de agua (Miranda *et al.*, 2016). Esta característica es importante porque representa una oportunidad para el ahorro del agua de riego (Cárdenas, *et al.*, 2018). Una forma de lograr resultados en menor tiempo consiste en evaluar genotipos o variedades de trigo sin restricción de humedad (riegos completos) y con suspensión de riego en etapa reproductiva del cultivo para identificar a los más sobresalientes en rendimiento (Martínez, *et al.*, 2020).

Objetivo

Identificar genotipos con rendimiento de grano en condiciones de déficit de humedad en la etapa de llenado de grano.

Materiales y Métodos

El material vegetal utilizado fueron las variedades comerciales de trigo duro: CIRNO C2008, BAROBAMPO C2015, CONASIST C2015, RÍO BRAVO C2019, DON GOYO C2019 y la línea TARRO_1. Las siembras se realizaron en tres ciclos agrícolas (2022-2023, 2023-2024 y 2024-2025), en la Estación Experimental Chapultepec del Campo experimental Valle de Mexicali (CEMEXI) del INIFAP en Mexicali, Baja California. Los genotipos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar, con dos repeticiones, la unidad experimental fue de dos surcos de 75 cm de separación con 3 m de longitud y sobre el lomo del surco dos hileras con una separación de 30 cm, la densidad de siembra fue de 70 kg ha⁻¹. Las siembras se realizaron en la segunda semana de diciembre, aplicándose el riego de germinación con 25 cm de lámina y tres de auxilio en la etapa de amacollo, encañe y espigamiento con una lámina de 20 cm en cada riego y sometiendo a sequía durante el llenado de grano.

Se aplicó la dosis de fertilización 245-70-00, dividiendo la fertilización nitrogenada en cuatro aplicaciones 15% en presembrado, 30% amacollo, 30% encañe y 25% en espigamiento y todo el P₂O₅ con la siembra. Las fuentes de fertilizante fueron urea con 46%, Amoniaco Anhidro 82% y Fosfato Monoamónico 11-52. Para la cosecha de las parcelas se utilizó una mini-trilladora Wintersteiger® para cereales de grano pequeño, separando el grano de cada parcela para limpieza y pesado para estimar el rendimiento de grano (REG) en kg ha⁻¹. Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento FAUANL versión 1.6 y se realizó la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 5% para identificar las diferencias entre variedades.

Resultados y Discusión

Al analizar el rendimiento de grano entre ciclo de producción no se encontraron diferencias significativas entre variedades, lo anterior indica que en general la falta de agua en llenado de grano afecta por igual a las variedades evaluadas. Lo anterior, concuerda con Tari, 2016, quien publicó que el efecto del déficit hídrico, en el rendimiento está asociado a la etapa de crecimiento del trigo.

En el cuadro 1, se observa que en el ciclo 2022-2023 la variedad con mayor rendimiento fue CONASIST C2015 con 7617 kg ha⁻¹ de grano superando a CIRNO C2008 con 5.4%, TARRO_1 que es línea candidata a variedad también supera a la variedad testigo CIRNO C2008 con 2.4%. En el ciclo agrícola 2023-2024,

Tarro_1 fue la de mayor rendimiento con 7853 kg ha⁻¹ de grano, superando nuevamente al testigo CIRNO C2008 con 0.8%. En el ciclo 2024-2025 TARRO_1 supera nuevamente el rendimiento de grano de las variedades obteniendo una producción de 7794 kg ha⁻¹ y nuevamente supero a CIRNCO C2008 con 10.3%. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Ul-Allah *et al.*, 2018 quienes encontraron que el rendimiento de grano es afectado por el riego y genotipo.

Cuadro 1. Rendimiento de grano de seis variedades de trigo duro producidas en tres ciclos agrícolas.

Variedad	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)			
	2022-2023	2023-2024	2024-2025	Promedio
CIRNO C2008	7414 A	7795 A	7069 A	7426
BAROBAMPO C2015	7156 A	7695 A	7039 A	7296
CONASIST C2015	7817 A	7789 A	7095 A	7567
RÍO BRAVO C2018	7656 A	7595 A	7006 A	7419
DON GOYO C2019	7589 A	7717 A	7733 A	7680
TARRO_1	7595 A	7853 A	7794 A	7747

Conclusiones

El rendimiento de grano se afectó por efecto varietal cuando se suspendió el riego en la etapa de llenado de grano, por lo que los programas de mejoramiento deben trabajar más en generar nuevas líneas con menor efecto y usar como progenitores a genotipos como TARRO_1 para generar progenie con mayor rendimiento de grano.

Agradecimientos

Se agradece al INIFAP por el financiamiento del proyecto que lleva por nombre Programa nacional de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México y al Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo por el financiamiento parcial para generar estos resultados.

Fuente financiadora

La fuente financiera es fiscal y fue proporcionada por el INIFAP a través del proyecto Programa nacional de mejoramiento genético para generar variedades resistentes a royas, de alto rendimiento y alta calidad para una producción sustentable de trigo en México.

Referencias bibliográficas

- Cárdenas S. V. A., Escobosa G. M. I., Bali K. M., Soto O. R., Núñez R. F., Avilés M. S. M., Ruíz A. C., Román C. J. A. 2018. Nivel de humedad del suelo en el último riego y su efecto producción en el cultivo de trigo, en el Valle de Mexicali. *Agroproductividad*. 11 (10): 165-167.
- Martínez C. E., Espitia R. E., Villaseñor M. H. E. y Hortelano S. R. 2020. La productividad del trigo harinero bajo diferentes condiciones de riego. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*. 11 (6): 1349-1360.
- Miranda D. L. E., López C. C., Benítez R. I. y Mejía C. J. A. 2016. Desarrollo radical y rendimiento en diferentes variedades de trigo, cebada y triticale bajo condiciones limitantes de humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*. 34 (4): 393-407.
- Tari, A. F. 2016. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. *Agr. Water Manage.* 167(3):1-10.
- Ul-Allah, S.; Iqbal, M.; Maqsood, S.; Naeem, M.; Ijaz, M.; Ashfaq, W. and Hussain, M. 2018. Improving the performance of bread wheat genotypes by managing irrigation and nitrogen under semi-arid conditions. *Archives Agron. Soil Sci.* 64(12):1678-1689.

Valenzuela A. J. L., Bénitez R. I., Villaseñor M. H. E., Huerta E. J., Lobato O. R., Bueno A. G. y Vargas H. M. 2018. Comparación del rendimiento de trigos harineros y cristalinos a través de diferentes ambientes de riego. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 41 (2): 159 - 166



MONITOREO COMUNITARIO PARTICIPATIVO DE AGUA EN LA SIERRA JUÁREZ

Sandra Flor Cosmes-Guzmán¹, Laura Jiménez-Bautista², Lucina Ruiz-Pérez², Oscar Francisco Mijangos-Ricárdez¹

¹Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, ²Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez (UZACHI)

*Autor para correspondencia: osramin23@unsij.edu.mx/ osramin@gmail.com

Palabras clave. Educación ambiental comunitaria, gestión hídrica, gobernanza del agua, monitoreo comunitario participativo.

Introducción

El trabajo que aquí se menciona, lo llamamos Monitoreo Comunitario Participativo (MCP) y es un proceso colaborativo para recabar y analizar datos relacionados a la cantidad y calidad del agua, comunicar los resultados y manejar de manera conjunta el recurso. Se busca involucrar a un número amplio de actores en todas las etapas del proceso, incorporando métodos de análisis e indicadores de calidad adaptados (p.ej. La gran mayoría de los análisis de calidad de agua están implementados para ciudades, actividades industriales, agrícolas y con poca participación del sujeto social; fue necesario recurrir a las necesidades de los sujetos sociales en función de sus recursos humanos, sociales y económicos para definir los parámetros más idóneos, tomando en cuenta la corresponsabilidad del conocimiento generado) y significativos para cada uno de los participantes. Quien realiza monitoreo comunitario, aprende a examinar la calidad del agua, no sólo recaba información verificable sobre el estado del recurso hídrico; sino que da fortaleza en decisión y gobernabilidad (empodera a través de las asambleas comunitarias), genera relaciones de confianza y coadyuva en la resolución de conflictos acerca de los impactos de las actividades humanas sobre el agua. Y se fortalecen capacidades de exploración en búsqueda de soluciones, la formación y capacitación que permite no tener resultados poco comprensibles sino ideas y acciones que los sujetos sociales articulan para transformar su entorno.

Recordemos que el monitoreo comunitario del agua no es solamente técnico, sino también social, político, educativo y cultural. Requiere apertura, disposición para escuchar diferentes puntos de vista, aceptación del conocimiento y rol de los diferentes participantes y reconocer los conocimientos ancestrales. El monitoreo comunitario implica diferentes niveles de participación de la comunidad, que va desde aprender cómo recolectar e interpretar los datos para la investigación científica hasta el involucramiento completo (individuo y comunidad) en la determinación del problema y la adecuación de esquemas de monitoreo en virtud de necesidades identificadas, recursos disponibles y conocimiento aprendido (Chapela 2012). Por tanto, el monitoreo comunitario participativo fortalece el vínculo entre la sociedad y la academia para que, conjuntamente, se logre la comprensión de diversas problemáticas socioecológicas, además, mejorando la construcción del conocimiento, el acceso a la información y disminuyendo la vulnerabilidad social.

Objetivo

El monitoreo de la calidad de agua es un estudio que se realiza con el objetivo de conocer las fluctuaciones en determinados parámetros físicos, químicos y biológicos, analizar si sus características son aptas para recreación, potabilización, servicios ecológicos y/o protección de vida acuática; proporciona información básica sobre la variabilidad temporal y espacial de la calidad de agua.

El monitoreo de la cantidad de agua consiste en la determinación de los caudales, es decir, medir la cantidad de agua que pasa por un determinado punto por unidad de tiempo; permite estudiar el comportamiento del recurso hídrico en el tiempo y determinar la disponibilidad de agua en una zona puntual.

Materiales y Métodos

Es necesario clarificar que el trabajo se basa en identificar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad, nitritos, alcalinidad y acidez total, dureza total, oxígeno disuelto, salinidad, sólidos disueltos totales, presión atmosférica y temperatura) y bacteriológicos (coliformes totales y fecales) más vulnerables y que modifiquen la calidad del agua, en zonas bajo manejo forestal. Dichos parámetros se midieron cada

tres meses por un período de un año, y cada parámetro se determinó por triplicado en laboratorio, además los parámetros en campo (pH, conductividad, salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales se determinan *in situ* adicional al trabajo en laboratorio) (Secofi 2013, Secofi 2018, Se 2001, Se 2001, Se 2015, Se 2021). Y proponer metodologías para determinar la cantidad de agua que permitan la gestión adecuada en el territorio forestal de este recurso que es de seguridad comunitaria.

El número de sitios monitoreados por comunidad dependió de tres aspectos: a) extensión del territorio, b) número de cuerpos de agua por comunidad y c) importancia del cuerpo de agua. Además, se invitó a los técnicos comunitarios y ciudadanos en general a participar en los talleres de capacitación para ser monitores ambientales y realizar de manera conjunta este trabajo, dando así fortalezas a las personas para que conozcan el territorio y sus relaciones socioecológicas.

El monitoreo para la calidad de agua se realizó en el año 2023 (enero a diciembre) dividido en dos etapas (época de secas y lluvias), cada una de 6 meses. Cada cuerpo de agua fue monitoreado una vez cada tres meses (figuras 1 y 2), con la participación activa de los técnicos comunitarios, consejo de vigilancia, comisariado de bienes comunales, ciudadanos de las comunidades y personal técnico de la UZACHI (figuras 3 y 4). La comunidad de Santiago Comaltepec requirió de dos días para el monitoreo, debido a su extensión territorial y la distancia entre sitios, y los dos restantes sólo se requirió un día de monitoreo.

Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el MCP tanto de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos como de cantidad de agua (flujo de agua):

Capulálpam de Méndez

Para la época de secas, se observó que en tres de los sitios el valor obtenido de dureza total no se encontró dentro del límite permisible de agua para uso y consumo humano establecido por la NOM-127-SSA1-2021, del mismo modo en todos los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite mínimo permisible, mientras que en todos los sitios el valor de potencial de hidrógeno (pH) no se encontró dentro del límite permisible. Los valores obtenidos del resto de los parámetros fisicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad de agua establecidos por la normatividad en todos los sitios.

Para la época de lluvias, se encontró que el límite permisible de agua para uso y consumo humano para la dureza total, establecido por la NOM-127-SSA1-2021 fue superado en uno de los sitios, mientras que en todos los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite permisible. El límite permisible de agua para uso y consumo humano para el resto de los parámetros físicoquímicos no fue superado en todos los sitios.

Santiago Comaltepec

Para la época de secas, se observó que en uno de los sitios el valor obtenido de dureza total no se encontró dentro del límite permisible de agua para uso y consumo humano establecido por la NOM-127-SSA1-2021, del mismo modo en tres de los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite mínimo permisible, mientras que en uno de los sitios el valor de potencial de hidrógeno (pH) no se encontró dentro del límite permisible. Los valores obtenidos del resto de los parámetros físicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad de agua establecidos por la normatividad en todos los sitios.

Para la época de lluvias, se encontró que el límite permisible de agua para uso y consumo humano para la dureza total, establecido por la NOM-127-SSA1-2021 fue superado en dos de los sitios, del mismo modo en tres de los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite mínimo permisible, mientras que en tres de los sitios el valor de temperatura no se encontró dentro del límite permisible. El límite permisible de agua para uso y consumo humano para el resto de los parámetros físicoquímicos no fue superado en todos los sitios.

Santiago Xiacuí

Para la época de secas, se observó que en cinco de los sitios el valor obtenido de dureza total no se encontró dentro del límite permisible de agua para uso y consumo humano establecido por la NOM-127-SSA1-2021, mientras que en todos los sitios el valor de potencial de hidrógeno (pH) no se encontró dentro del límite permisible. Los valores obtenidos del resto de los parámetros físicoquímicos se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad de agua establecidos por la normatividad en todos los sitios.

Para la época de lluvias, se encontró que el límite permisible de agua para uso y consumo humano para la dureza total, establecido por la NOM-127-SSA1-2021 fue superado en cuatro de los sitios. El límite permisible de agua para uso y consumo humano para el resto de los parámetros físicoquímicos no fue superado en todos los sitios.



Figura 1. Monitoreo Comunitario Participativo de agua.



Figura 2. Actividades de medición de cantidad de agua.

Considerando que la mayoría de los parámetros físicoquímicos se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normatividad en las tres comunidades, se puede decir que la calidad del agua es apta para uso y consumo humano en los sitios monitoreados.



Figura 3. Capacitación de monitores comunitarios del agua.



Figura 4. Medición de parámetros físicoquímicos de agua.

Conclusiones

La continuidad al Monitoreo Comunitario Participativo del agua es fundamental para conocer su calidad y disponibilidad actual, a través del tiempo, y producir la información necesaria para retroalimentar el manejo adaptativo. Acompañar las mejores prácticas de manejo forestal a nivel paisaje, las cuales al considerar el tipo, tamaño y configuración de los rodales en el paisaje se puede alcanzar un equilibrio entre los diferentes componentes del mosaico forestal, a fin de proporcionar las condiciones óptimas para una amplia gama de especies y poblaciones presentes en los bosques de producción, también a nivel rodal, las cuales determina la composición y estructura del rodal, la cual se logra a través de la aplicación de tratamientos silvícolas con objetivos de sostenibilidad en cada uno de los elementos que lo componen y a nivel sitio, todo lo anterior brindará aseguramiento del recurso hídrico en calidad y cantidad.

Se debe adicionar el monitoreo del agua de lluvia mediante el uso de estaciones climatológicas con el objetivo de obtener información acerca de sus características espaciales, de su frecuencia y de la cantidad precipitada sobre el área de estudio a través del tiempo. Esto también debe acompañarse del monitoreo de caudal mensualmente permanentemente con el objetivo de identificar el mes con mayor y menor disponibilidad de agua, definir el inicio de la temporada de lluvias y de secas, aumentar la precisión del

caudal promedio calculado para cada temporada, calcular la disponibilidad real, monitorear la cantidad de precipitaciones anualmente y determinar las posibles causas de la disminución del caudal.

Finalmente reforzar la educación ambiental comunitaria en todos los niveles educativos, pero primordialmente en ciudadanos que no conocen su territorio, o bien no visitan frecuentemente su comunidad de origen, esto dará valor de pertenencia y sensibilidad ante la problemática del agua, para a través del diálogo de saberes e intergeneracional conservar la riqueza hídrica y el entorno social que resiste embates del neoliberalismo del agua.

Referencias bibliográficas

Balvanera P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas*. 21: 136-147.

Chacon, M. (2016). Análisis físico y químico de la calidad del agua.

Chapela F. (2012). Estado de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 217 p.

López R., P. F. (2016). Diagnóstico socioambiental del recurso hídrico en Santiago Comaltepec, Sierra Juárez, Oaxaca (Tesis de licenciatura). Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Manzano V., J. P. 2016. Análisis socioambiental del agua en Capulálpam de Méndez, Sierra Juárez, Oaxaca (Tesis de licenciatura). Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Nolasco Y. V, H. (2019). Monitoreo de agua en zonas bajo manejo forestal en comunidades de la UZACHI (Tesis de licenciatura). Universidad de la Sierra Juárez. Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

Rivas, S. H. (2018). Manual para la implementación de programas de monitoreo comunitario de la calidad del agua, UNAM: CIGA. Morelia, México. 130 p.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (1980) NMX-AA-014-1980. Análisis de agua en cuerpos receptores, muestreo. Diario Oficial de la Federación, 5 de septiembre de 1980.

Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2013) NMX-AA-007-SCFI-2013 Análisis de Agua - Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 9 de diciembre de 2013.

Secofi, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (2018). NMX-AA-093-SCFI-2018 Análisis de Agua - Determinación de la Conductividad Electrolítica - Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 10 de abril de 2018.

Se, Secretaría de Economía (2001). NORMA MEXICANA NMX-AA-036-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Acidez y Alcalinidad en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 01 de agosto de 2001.

Se, Secretaría de Economía (2001). NORMA MEXICANA NMX-AA-072-SCFI-2001, Análisis de Agua - Determinación de Dureza Total en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 13 de agosto de 2001.

Se, Secretaría de Economía (2015) NMX-AA-034-SCFI-2015 Análisis de Agua - Medición de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas – Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 11 de febrero de 2016.

Se, Secretaría de Economía (2021). NORMA MEXICANA NMX-AA-099-SCFI-2021, Análisis de Agua – Medición de Nitrógeno de Nitritos en Aguas Naturales, Residuales, Residuales Tratadas y Marinas – Método de Prueba. Diario Oficial de la Federación, 13 de agosto de 2021.

SS, Secretaría de Salud (2021). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Diario Oficial de la Federación, 17 de diciembre de 2021.

Suárez G. (2017). Sobre la importancia del manejo forestal comunitario para garantizar el agua que todos necesitamos. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.

OPTIMIZACIÓN DEL RIEGO: EFECTOS EN EL RENDIMIENTO Y EN LA EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA DE *Carica papaya* L.

David Trujillo-García^{1*}, Carlos Trejo¹, Ebandro Uscanga-Mortera¹, Marco A. Otero-Sánchez³, David Jaén-Contreras², Alberto E Becerril- Román²

¹Posgrado en Botánica; ²Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados; ³Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero

*Autor para correspondencia: trujillo.david@colpos.mx

Palabras clave. *Carica papaya* L, eficiencia en el uso del agua, riego deficitario.

Introducción

El agua es un recurso natural esencial para la actividad agrícola; sin embargo, su disponibilidad ha disminuido significativamente debido al cambio climático, al crecimiento demográfico y a su uso ineficiente. Se estima que más del 80% de las tierras cultivables a nivel mundial enfrentarán escasez de agua en las próximas décadas, lo que representará una amenaza directa para la seguridad alimentaria global. *Carica papaya* L. es un frutal tropical con demanda y huella hídrica alta. El riego deficitario (RD) o estrés hídrico ligero, surge como una estrategia prometedora para reducir el consumo de agua sin comprometer significativamente el rendimiento. El RD consiste en suministrar volúmenes de agua reducidos durante fases fenológicas específicas del cultivo, lo que puede incidir en las respuestas fisiológicas de adaptación en las plantas. No obstante, las respuestas al RD serán diferentes de acuerdo a la especie, al cultivar, a la etapa fenológica y al nivel del estrés. Además, el RD puede contribuir a la reducción de la huella hídrica y en algunos casos, aumentar la concentración de metabolitos secundarios con propiedades nutraceuticas. La presente investigación pretendió generar información que contribuya al desarrollo de sistemas de producción agrícola sostenibles y resilientes ante la creciente escasez del agua.

Objetivo

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto de riegos deficitarios en variables fisiológicas, la concentración nutrimental foliar, el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua de *Carica papaya* L. bajo malla sombra.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló abajo de una malla sombra en el vivero “Valerio Trujano” del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), México. Durante el experimento, la temperatura ambiental osciló entre 13 y 41 °C, y la humedad relativa entre 32 y 83%. La radiación fotosintéticamente activa promedio fue de 760 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. El híbrido de papaya MSXJ, caracterizado por su tolerancia a temperaturas superiores a 35 °C durante la etapa de floración y ausencia de frutos carpeloides, fue el material vegetal usado. Las plántulas se trasplantaron en macetas con capacidad de 60 kg, utilizando arena de río como sustrato. Los tratamientos de riego deficitario consistieron en dos porcentajes de volumen de agua retenida por el sustrato más el testigo de agua máxima retenida (cuadro 1) Se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar, con seis repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió de una planta. Dichos tratamientos se iniciaron a los 89 días después del trasplante (ddt).

Cuadro 1. Volumen de agua aplicada por tratamientos (de los 89 a los 296 días después del trasplante).

Tratamientos	Litros de agua por planta
Testigo (agua máxima retenida)	1,678.12
RDI-59 (41% de agua retenida)	679.79
RDI-66 (34% de agua retenida)	573.60

A partir del inicio de los tratamientos (89 ddt) y hasta los 254 ddt, se evaluaron cada siete días en seis plantas por tratamiento las siguientes variables: el intercambio de gases se determinó con un analizador

portátil de gases en el espectro infrarrojo (IRGA, modelo CIRAS-3, PPSystems, U.K) en el lóbulo central de una hoja joven completamente expandida (aproximadamente de tres semanas de edad) a las 12:00 h; el potencial hídrico de la hoja ($\Psi_{a\text{ hoja}}$) se determinó en el lóbulo medio de la hoja con una cámara de presión tipo "Scholander" (Soil Moisture model 3115, Santa Barbara, CA., EE. UU.); la concentración de prolina se determinó en el tejido foliar previamente liofilizado (Bates *et al.*, 1973). A la cosecha se cuantificaron los frutos por planta y se determinó el peso promedio por fruto (un fruto por planta o repetición). La cosecha se realizó cuando la cáscara del fruto mostró una raya amarillo-naranja en la punta. El rendimiento por planta se obtuvo al multiplicar el número de frutos por planta por el peso promedio de fruto. La productividad del agua (PA) se obtuvo al dividir el rendimiento (kg planta^{-1}) entre el volumen de agua total aplicado por planta (VA).

El análisis nutrimental foliar (N-P-K) se llevó a cabo a los 53, 80, 103, 131 y 159 ddt. Se tomaron cinco hojas totalmente expandidas por tratamiento de la parte media del dosel, se secaron en una estufa a 70 °C hasta peso constante. Posteriormente se estimó la concentración de nitrógeno (N), se digestó 0.1 g de materia seca molida de cada muestra con una mezcla de sulfatos y ácido sulfúrico + ácido salicílico; la concentración de N se determinó en la solución obtenida de la dilución del digestado por el método del MicroKjeldahl. Para obtener la concentración foliar de fósforo (P) y potasio (K) se pesaron 0.5 g de cada muestra seca foliar y se sometieron a una digestión con una mezcla de solución de ácido nítrico y perclórico; la concentración de P se determinó en la solución obtenida por el método de molibdato de amonio, leyéndose en un espectrofotómetro a 470 nm, y en el caso de K, se midió mediante espectrofotometría por emisión atómica.

Análisis de datos. A los datos se les realizó la verificación de supuestos (homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett y normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk), así como un análisis de varianza y comparación de medias Tukey ($\alpha \leq 0.05$) con RStudio versión 4.0.2.

Resultados y Discusión

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el intercambio de gases entre tratamientos a partir de los 7 días después de la aplicación de los tratamientos (ddat). La conductancia estomática disminuyó un 39 y 53% en los tratamientos RD-59 y RD-66, respectivamente, en comparación con el testigo (cuadro 2). Esto se reflejó en una reducción de la asimilación de CO_2 (29% en RD-59 y 46% en RD-66) y en la transpiración (18% en RD-59 y 29% en RD-66), respecto al testigo (cuadro 2).

Cuadro 2. Conductancia estomática, asimilación de dióxido de carbono y transpiración promedio durante 207 días después de la aplicación de los tratamientos en *C. papaya* L. en porcentajes diferentes de agua retenida.

Tratamientos	Conductancia estomática ($\text{mmoles m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Asimilación de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Testigo	$394.5 \pm 87a$	$14.4 \pm a$	$5.95 \pm 0.98a$
RD-59	$239 \pm 66b$	$10.2 \pm b$	$4.86 \pm 0.81b$
RD-66	$184 \pm 48c$	$7.85 \pm c$	$4.20 \pm 0.78c$
Significancia ($P \leq 0.05$)	**	**	**

Medias $\pm$ el error estándar, $n = 5$. $\alpha 0.05$ mediante Tukey.

Estudios en papaya (Santos *et al.*, 2021) reportaron una reducción similar en conductancia estomática bajo riego deficitario, con disminuciones entre 33 y 46% respecto al testigo, resultados similares a los del presente estudio. No se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el potencial de agua foliar (Ψ_a) entre el testigo y RD-59, mientras que RD-66 mostró valores significativamente menores desde el inicio hasta el final del experimento, especialmente a los 53 y 80 ddat. En promedio, RD-66 disminuyó el potencial de agua foliar en 18.3% (cuadro 3). En *C. papaya*, se observó un aumento gradual de prolina, mayor en RD-59 y RD-66 que, en el testigo, aunque sin diferencias estadísticas (cuadro 3). El estrés hídrico provoca alteraciones fisiológicas generales y limita la absorción de agua, especialmente en condiciones de baja humedad relativa y alta temperatura (Giménez *et al.*, 2013).

Cuadro 3. Potencial de agua y contenido de prolina promedio durante 207 días en *C. papaya* L. en diferentes porcentajes de agua retenida.

Tratamientos	Potencial de agua (MPa)	Prolina (nmoles g ⁻¹ de peso seco)
Testigo	-1.04±0.08b	445.8±68a
RD-59	-1.13±0.07ab	518.3±159a
RD-66	-1.23±0.13a	518.0±57a
Significancia (P≤0.05)	*	NS

NS= No significativo; *= Significativo. Los datos son el promedio ± el error estándar, n= 5. α 0.05 mediante Tukey

El rendimiento por planta (kg planta⁻¹) disminuyó 21 en RD-59 y 3% y RD-66, en comparación con el testigo, sin diferencias estadísticamente significativas (cuadro 4). Estudios previos reportan reducciones mayores bajo déficit hídrico (Manjunath *et al.*, 2017). Sin embargo, la productividad del agua aumentó considerablemente, el ahorro de agua fue del 88.8 en RD-59 y 177% en RD-66 (cuadro 4).

Cuadro 4. Producción y productividad del agua en *C. papaya* L. en diferentes porcentajes de agua retenida.

Tratamientos	Rendimiento (kg de fruto planta ⁻¹)	Productividad del agua (g de fruto L ⁻¹ de agua)
Testigo	29 ± 6.4a	18 ± 0.03c
RD-59	23 ± 2.2a	34 ± 0.03b
RD-66	28 ± 5.3a	50 ± 0.09a
Significancia (P≤0.05)	NS	***

Medias ± el error estándar. n= 5. Tukey α ≤ 0.05.

Durante la etapa de madurez fisiológica del fruto (141 ddat), se observó una disminución significativa en la concentración foliar de nitrógeno en todos los tratamientos (P≤0.05). Al finalizar el experimento, la concentración de N aumentó en todos los tratamientos, siendo más notable en el testigo (53%) y en RD-66 (33%). Estos valores se encuentran dentro del rango de suficiencia reportada para el cultivo de papaya (Mills y Jones, 1997). Los niveles de P estuvieron por debajo del rango de suficiencia para papaya (Mills y Jones, 1997). La concentración foliar de potasio (K) no presentó diferencias significativas, aunque mostró una tendencia al aumento en tratamientos deficitarios, probablemente como estrategia adaptativa al estrés. Los valores de K estuvieron por debajo del rango adecuado, lo que puede limitar el crecimiento de las plantas debido a la baja disponibilidad hídrica (Reuter y Robinson, 1988) (figura 1).

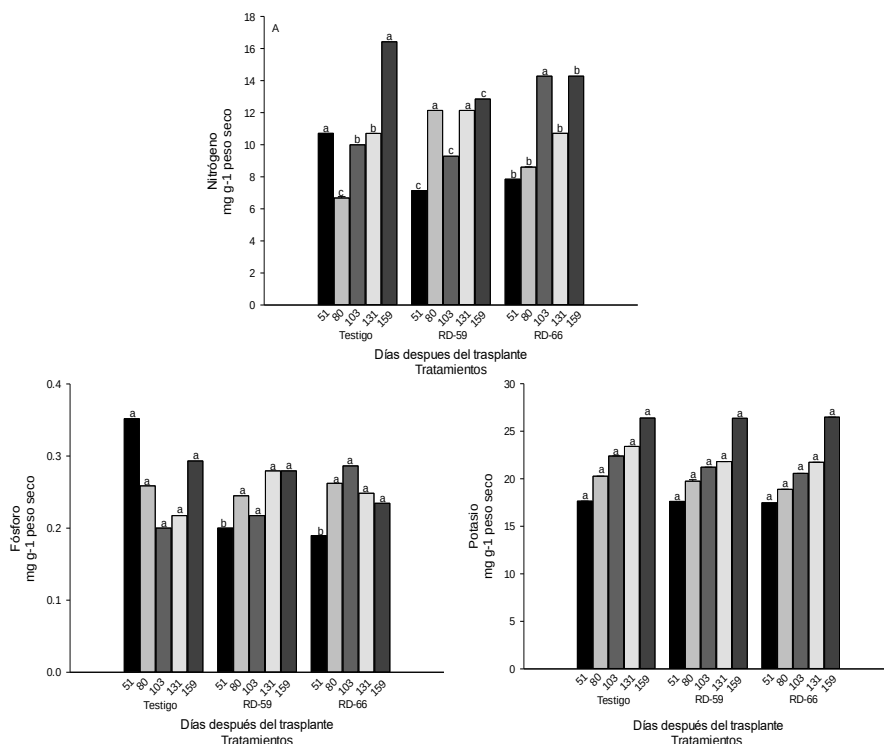


Figura 1. Concentración foliar de a) nitrógeno, b) fósforo, c) potasio en *C. papaya* L. en diferentes porcentajes de agua retenida.

Conclusión

El riego deficitario en *Carica papaya* L. permitió ahorrar agua sin afectar significativamente el rendimiento. Aunque se observaron reducciones en parámetros fisiológicos como la conductancia estomática y transpiración, no afectaron el estado nutricional de las plantas. Estos resultados, indican al RD como estrategia sostenible para el cultivo de papaya en regiones con limitación hídrica.

Referencias bibliográficas

- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207. <https://doi.org/10.1007/bf00018060>
- Giménez, C., Gallardo, M., & Thompson, R. (2013). Plant–water relations. In Elsevier eBooks. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.05257-x>
- Manjunath, B. L., Laxman, R. H., Upreti, K. K., & Raghupathi, H. B. (2017). Partial root zone drying irrigation in papaya (*Carica papaya* L.) for enhanced water use efficiency under limited water situations. *Journal of Horticultural Sciences*, 12, 143–149. <https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/17601/1/DECEMBER%3d2017.pdf>
- Mills, H. A., & Jones, J. B. (1997). Plant analysis handbook II: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide (2nd ed.). Micro Macro Publishing.
- Reuter, D. J., & Robinson, J. B. (1988). Plant analysis: An interpretation manual. Inkata Press.
- Santos, D. L., Coelho, E. F., Cunha, F. F. D., Donato, S. L. R., Bernado, W. D. P., Rodriguez, W. P., & Campostrini, E. (2021). Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 243, 106421. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106421>

DETERMINACIÓN DE LA COSECHA PARA EL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum*)

Pablo Noé Núñez-Aragón¹, Lessly Gabriela López-Velázquez¹, Carlos Alberto Pérez-Cabrera¹, Jesús Francisco Martínez-Blas², Erwin San Juan-Martínez^{3*}

¹CEP-CSAEGRO. ²Universidad Tecnológica de la Sierra Sur de Oaxaca. ³Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: erwin.sjimartinez@gmail.com

Palabras clave. Forraje verde hidropónico, proteína, *Triticum aestivum*.

Introducción

La producción agrícola utiliza aproximadamente un 76% del total de agua dulce disponible para el territorio mexicano (CONAGUA, 2018), siendo que ésta se encuentra en crisis debido a su uso irracional, el cambio climático, y contaminación, entre otras. Estas problemáticas ocasionan la reducción de áreas de pastura, reduciendo el nivel nutricional del ganado, pérdida de peso, bajo volumen de leche, lo que representa a su vez un aumento en los costos de producción.

El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es una alternativa como una fuente complementaria para la alimentación, ya que logra producir en el menor espacio disponible, con una cantidad de agua mínima y durante todo el año como una alternativa económica y fácil de producir para la complementación de la dieta del ganado. El FVH es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas sobre charolas, captando la energía del sol y preferentemente asimilando los minerales de una solución nutritiva. El grano germinado alcanza una altura promedio de 25 cm, permitiendo consumir la parte aérea formada por el tallo y las hojas verdes hasta los restos de semilla y raíz. Este procedimiento permite la producción intensiva de forraje fresco para animales de trabajo o engorda, que maximiza el aprovechamiento de espacio y de recursos, con muy buenos resultados, los principales alimentos producidos por este medio son: maíz, sorgo, cebada, trigo, alfalfa.

El trigo se cultiva desde hace miles de años en todo el mundo, existen vestigios de su presencia en civilizaciones como Egipto y Mesopotamia (actual Irak y Siria) en el oriente medio. El trigo llegó a nuestro país gracias a los colonizadores y se ubicó como uno de los principales cereales para la alimentación en la Nueva España, junto con el maíz.

En México los 10 principales productores son el estado de Sonora, seguido de Sinaloa, Michoacán, Guanajuato, Baja California, Jalisco, Chihuahua, Tlaxcala, Nuevo León y Baja California Sur (SIAP-SIACON, 2023). Las exportaciones de trigo se destinan principalmente a Argelia, Guatemala y Cuba (SE, 2024). El trigo harinero llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo. El trigo es uno de los cereales con más contenido proteico que hay disponibles para alimentación, siendo superior al maíz, si las condiciones de cultivo y crecimiento son adecuadas, llega hasta el 18%. Además, posee un alto valor de energía con 3.0 a 3.5 Mcal EM (Energía Metabolizable), esta elevada cantidad de proteína junto con un valor alto de energía, hacen que el trigo sea una buena alternativa para alimentación animal, por otro lado, posee una gran cantidad de fibra lo cual facilita los procesos digestivos. Sin embargo, se reconoce que el trigo suministrado tiene baja cantidad de lignina y altos contenidos de azúcares, en forma de almidón, por lo cual su consumo debe limitarse. El ciclo de producción del FVH, depende del grano germinado, contemplado entre la siembra y la cosecha, no supera los 15 a 16 días, a pesar de que el óptimo definido por varios estudios científicos, indican que este periodo no puede extenderse más allá de los 12 días. Pues, a partir de este día, comienza un marcado descenso en el valor nutricional.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es evaluar días a cosecha en Forraje Verde Hidropónico de trigo harinero (*Triticum aestivum*) a través de la cuantificación de contenido proteico.

Materiales y Métodos

El presente proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Tehuacán, Puebla en conjunto con el Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Para la producción del

FVH, se limpió y desinfectaron las charolas con agua y jabón y una solución de cloro al 5%, utilizando un rack con capacidad para 50 charolas de la marca Hydro environment®, de 53 cm x 27 cm x 2.5 cm, se utilizaron semillas de trigo de la región, utilizando 250 g/charola, desinfectadas con cloro 5% por 20 min, realizando lavados subsecuentes para eliminar el cloro, se utilizaron 2 L de agua/kg de semilla. Para evitar la contaminación por hongo se aplicó un biofungicida a base de *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* y *Bacillus subtilis*, a una concentración de 4 mL por cada litro de agua, se dejó remojando por 15 h antes de la germinación en cuarto oscuro. Al día siguiente de haber remojado la semilla se realizó el paso de la semilla a las charolas, manteniendo en oscuridad para facilitar la germinación. Para el riego se utilizó un sistema de riego por nebulización con micro jets 360° con un gasto de 40 L/h, esparcidos cada 40 cm, el agua utilizada tenía un pH de 5.9. Los riegos tuvieron una duración de 1 minuto y se realizaron un total de 6 riegos por día; los horarios que se manejaron fueron, 08:00, 09:30, 11:00, 12:00, 14:00 y 17:00 h. Finalmente, una vez que la plúmula alcanzó una altura de 5 cm, las charolas se pasaron al exterior donde tuvo mayor radiación solar. Se tomaron muestras de aproximadamente 150 - 200 g, los días 1, 4, 7, 10, 13 y 14, colectando un total de 28 muestras, donde se incluyó la plúmula, la raíz y la semilla. Para el secado se mantuvieron por cinco días a una temperatura de 35°C, posteriormente se molió con ayuda de un mortero y pistilo, para determinar el peso seco. Finalmente, se determinó el contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl, y el porcentaje de proteína de acuerdo con la NOM-F-68-S-1980.

Resultados y Discusión

El cultivo de trigo empezó a germinar después de 24 h del proceso de imbibición de la semilla, las charolas se mantuvieron bajo condiciones de poca radiación un total de cinco días después de la siembra mostrando un rápido desarrollo, en este periodo la plúmula alcanzó una altura de 5 cm y durante nueve días posteriores la planta se desarrolló hasta alcanzar una altura entre los 15 a 20 cm. Se obtuvo un rendimiento promedio de 5.7 kg de forraje fresco por kg de semilla utilizada. En el cuadro 1 se pueden observar el rendimiento del peso seco de acuerdo con los días de cosecha, observando el mayor rendimiento de materia seca en los primeros días de cosecha, disminuyendo hasta el día 10 y manteniéndose hasta el 14 con un promedio del 6.4%.

Cuadro 1. Biomasa fresca y seca obtenida del FVH en diferentes días después de la siembra.

Días después de la siembra	Biomasa		
	Fresca	Seca	%
14	186.3±35.2 ^a	11.1±2.1 ^a	6.0
13	171.3±18.8 ^a	11.4±1.0 ^a	6.7
10	161.5±11.6 ^a	10.5±0.4 ^a	6.5
7	167.3±7.6 ^a	20.0±1.1 ^b	11.9
4	170.0±4.3 ^a	26.4±1.9 ^c	15.5
1	154.3±1.4 ^a	69.9±4.6 ^d	45.3

Diferente literal indica diferencia significativa, ANOVA seguida de una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

En cuanto al espacio, se obtuvo un rendimiento de 12.4 kg/m² de forraje en donde el 5.98 % es materia seca, aproximándose a los datos que Albert *et al.*, (2016) mencionan que es alrededor del 7.97 - 8.68 % de materia seca de trigo, los rendimientos obtenidos son menores a los de otros trabajos, esto posiblemente influenciado a las temperaturas que se presentaron en el interior del invernadero donde se mantuvo el rack de producción de forraje, las cuales fueron superiores a las óptimas, en promedio 28°C, llegando a tener máximas de 39 °C.

Para determinar el porcentaje de proteína bruta (PB) se utilizó el factor de conversión de 6.31 (para germinado de trigo) y se obtuvieron los porcentajes de la figura 1, para la semilla se determinó el 16.5 %, mientras que, para el germinado, aumento el porcentaje desde el día 1 hasta el día 10 con un 21.5 %, manteniéndose hasta el día 13, y finalmente disminuyendo a los 14 días. Estos resultados son cercanos a lo que obtuvo Albert *et al.*, (2016) que reporta un 22.10 % de PB a los 12 días de germinación.

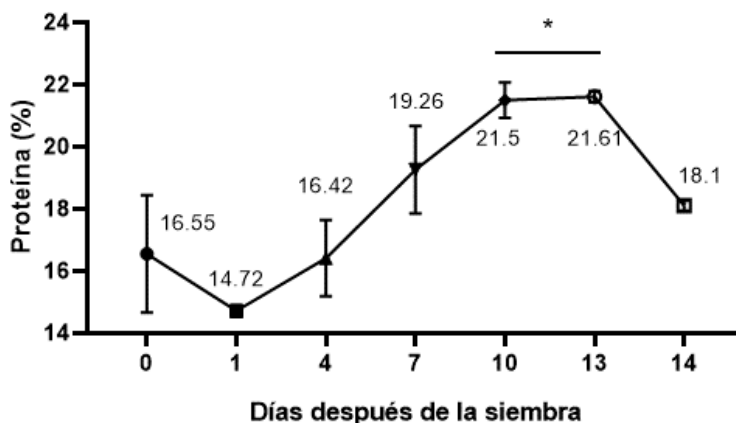


Figura 1. Determinación de proteína por el método Kjeldahl a diferentes días de cosecha. * indica diferencia significativa, ANOVA seguida de una prueba de Dunnett ($p < 0.05$), comparada con el día 0.

Conclusiones

El óptimo día para cosechar es el día 10 con un 21.50 % de proteína, por lo que la producción de FVH puede optarse como una alternativa viable como complemento en la dieta del ganado de interés.

Referencias bibliográficas

Albert, G, Alonso, N, Cabrera, A, Rojas, L, & Rosthoj, S. (2016). Evaluación productiva del Forraje Verde Hidropónico de maíz, avena y trigo. *Compendio de Ciencias Veterinarias*, Vol. 06. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2018). *Agua. Cuéntame de México*. Recupera donde: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/publicaciones/eam2018.pdf>

SIAP (2023) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>

SE (2024). Secretaría de Economía Data - México. Recuperado de: <https://www.economia.gob.mx/datamexico>

EVALUACIÓN DE AGUA TRATADA EN EL RIEGO DE LECHUGA (*Lactuca Sativa* L.) BAJO MANEJO AGRONÓMICO ALTERNATIVO

Claudia Tiscareño-Villa^{1*}, Juan Carlos Rodríguez-Ortiz¹, Paola Elizabeth Díaz-Flores², Jorge Alonso Alcalá-Jáuregui¹, Mauricio Jesús Romero-Méndez¹

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria, UASLP. ²Facultad de Ciencias Químicas, UASLP

*Autor para correspondencia: juancarlos.rodriguez@uaslp.mx

Palabras clave. Saponinas, bacterias acidificantes, oxigenación.

Introducción

La reutilización de las aguas tratadas, representa distintos beneficios ambientales y económicos, así como algunos retos asociados a su aprovechamiento se deben de revisar a detalle previo a su uso en riego agrícola, como son: la salinización del suelo a mediano plazo, la sodificación del suelo, el aporte excesivo de nutrientes a los cultivos o la presencia de microorganismos patógenos (Price *et al.*, 2016), y algunas sustancias tóxicas pueden estar presentes en las AT, como metales pesados (Zamora *et al.*, 2008). A diferencia del manejo convencional, el manejo agronómico alternativo considera la implementación de estrategias no convencionales que utilizan distintas técnicas ecológicas que pueden ser aplicadas a los recursos agua, suelo y planta, cuya finalidad es complementar el manejo convencional y realizar un aprovechamiento racional, controlado y sostenible de las aguas tratadas. Las estrategias consideradas en este estudio, para usar de forma individual o en conjunto, son: a) la oxigenación del agua, que puede ayudar a un mejor crecimiento de las raíces y, por lo tanto, al crecimiento de las plantas; además, puede mejorar la biota benéfica de la rizosfera (Góngora *et al.*, 2023). b) aplicación de un producto a base de saponinas esteroidales de extracto de agave (Hostettmann, 1991) el cual se reporta como un agente de doble acción, por un lado, estimula el crecimiento vegetal, y actúa como un dispersante de sales en el suelo (Yang *et al.*, 2018). c) bacterias que puedan acidificar la rizósfera con la intención de disminuir carbonatos del agua y mejorar la disponibilidad de los nutrientes del suelo (Zahid *et al.*, 2015).

Objetivo

Estudiar los efectos en plantas de lechuga (crecimiento- producción y fisiología) con agua tratada de origen urbano mediante un manejo agronómico alternativo a base de oxigenación del agua, estimulante vegetal-dispersante de sales y bacterias acidificantes.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en los meses de agosto a noviembre de 2023, en el Centro de Capacitación y Autoproducción de DIF de Gobierno del estado de San Luis Potosí, ubicado en las coordenadas 22°07'34" N y 101°00' 01" O. Y se hicieron evaluaciones en etapa de desarrollo vegetativo (roseta) y en etapa de cosecha (cogollo). El recurso hídrico para el riego del cultivo con el que se dispuso fue agua tratada y potable. La primera fue proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales, que recibe un influente de áreas urbanas, cuyo tipo de tratamiento es realizado con lodos activados en reactores; mientras que el agua potable fue de la red municipal. El cultivo, sujeto de estudio, fue lechuga tipo Iceberg de la variedad Tulum. El experimento se realizó con un diseño en bloques al azar con 9 tratamientos y 5 repeticiones. El trasplante se hizo con plántulas de un mes de edad que se colocaron en macetas de 40 L con una mezcla de sustrato con hojarasca, gallinaza, tierra lama y arena en una proporción de 1:0.5:2:2, respectivamente; las propiedades del sustrato fueron: pH: 6.60, CE: 9.91. Los factores evaluados fueron: aumento a 3 ppm (O₂) al agua para riego, aplicación de saponinas (SAP) y inoculación de las bacterias *Pseudomonas fluorescens* y *Raoultella terrigena* (BA) y la mezcla.

En respuesta al objetivo, estudiar los efectos en plantas de lechuga (crecimiento- producción y fisiología) con agua tratada de origen urbano mediante un manejo agronómico alternativo. Pudo detectarse, que para entre ellos.

Resultados y Discusión

Cuadro 1. Variables de producción y fisiología en lechuga (etapa de roseta y etapa de formación de cosecha).

Tratamientos				Etapa de roseta					
	O ₂	SAP	BA	RPF (g)	RPS (g)	HPF (g)	HPS (g)	NBI	FLAV
T1	sin	sin	sin	12.5±1.50 ab	1.24± 0.15ab	117.32 ±19.40a	11.39 ±1. 65a	25.975±1.72 c	0.518±0.04 b
T2	sin	sin	con	13.5±1.12 ab	1.17±0.12 ab	92.0 ± 9.00bcd	9.40 ±0.90abc	34.57± 1. 83a	0.586± 0.09ab
T3	sin	con	sin	17.7±2.12 a	1.36 ±0. 21a	97.35 ±8.85abcd	9.80 ±1.43abc	33.424± ab	0.556±0.09 b
T4	sin	con	con	12.6±1.14 ab	1.26± 0.15ab	118.8 ±10.87a	11.94±1.17 a	34.5± ab	0.958±0.34 a
T5	con	sin	sin	13.7± 1.48ab	1.38±0.13 a	115.5 ±2. 60a	11.22± 1. 23a	29.974± abc	0.75 ±0.25ab
T6	con	sin	con	9.6±2.00 b	0.99± 0.29ab	80.45 ±19.04cd	8.28 ±2.21bc	27.94± bc	0.67 ±0.20ab
T7	con	con	sin	9.2 ±3.21b	0.97± 0.32ab	107.6±9.79 ab	10.57 ±1.50ab	31.464 abc	0.568 ±0.06b
T8	con	con	con	8.25±1.64 b	0.82±0.17 b	75.04 ±11.54d	7.67 ±1.15c	30.2 abc	0.626± 0.19ab
T9	Testigo (agua potable)			12± 2.51ab	1.23±0.26 ab	101.75 ±6.52abc	10.36 ±1.58abc	32.35 abc	0.69 ±0.07ab

Tratamientos				Etapa de formación de cosecha					
	O ₂	SAP	BA	RPF (g)	RPS (g)	CPF (g)	CPS (g)	NBI	FLAV
T1	sin	sin	sin	27.95 ±0.76 bc	2.78 ± 0.10 bc	397 ± bcd	20.19 ± 3.33 ab	11.98± 1.1 bc	0.420 ± 0.04 ab
T2	sin	sin	con	21.32 ± 0.01 d	2.22 ± 0.09 d	386.94 ± cd	19.24 ±1.35 b	11.48± 0.7 c	0.402± 0.04 ab
T3	sin	con	sin	22.88 ± 2.29 d	2.44 ± 0.32 cd	458.65 ± a	25.11 ± 2.55 a	12.98± 0.4 abc	0.392 ±0.04 b
T4	sin	con	con	30.17 ± 1.17 b	3.13 ± 0.10 ab	433.36 ± ab	20.85 ± 3.02 ab	12.19± 0.6 abc	0.512 ± 0.07 ab
T5	con	sin	sin	26.86 ± 0.64 c	2.58 ± 0.15 cd	389.33 ± cd	19.43 ± 2.81 b	12.57± 0.2 abc	0.446 ± 0.05 ab
T6	con	sin	con	23.69 ± 1.51 d	2.63 ± 0.23 c	375.95 ± d	20.95 ± 2.84 ab	13.7± 1.1 a	0.538± 0.07 a
T7	con	con	sin	27.88 ± 0.73 bc	2.75 ± 0.08 bc	462.15 ± a	23.71 ± 3.49 ab	13.84± 0.7 a	0.436 ±0.04 ab
T8	con	con	con	33.75 ± 1.40 a	3.33 ± 0.15 a	419.77 ± abc	20.75 ± 1.38 ab	13.13± 1.2	0.440 ±0.01 ab
T9	Testigo (agua potable)			30.35 ± 3.17 b	3.17 ± 0.26 a	396.82 ± bcd	20.74 ± 1.37 ab	13.41± 0.4 ab	0.408 ±0.02 ab

Medias con distinta letra dentro de la misma columna difieren estadísticamente según la prueba de Tukey. *: P≤0,05 y ***: P≤0,001; ns: no significativo (P>0,05), según el ANOVA. RPF=raíz peso fresco, RPS=raíz peso seco, HPF= hojas peso fresco, HPS= hojas peso seco, NBI= Índice de balance del nitrógeno, FLAV= flavonoides, O₂= oxigenación, SAP=Saponinas, BA= Bacterias acidificantes.

El agua tratada fue acondicionada previo a su aplicación al cultivo. Y las variables consideradas fueron: peso fresco y seco de raíz, hojas y cogollo, así como NBI Y flavonoides. En la primera etapa (roseta) no hubo diferencias significativas en las variables de crecimiento – producción y fisiología (cuadro 1). Por su parte, en la segunda etapa (formación de cogollo) sólo se detectó diferencia significativa en la variable de raíz peso fresco (RPF), donde el tratamiento 8 (con O² + saponinas + bacterias acidificantes) obtuvo el mayor peso (33.75 g). Al respecto, Urbano *et al.*, (2017) reportaron un incremento del 48% en cuanto a peso fresco en el primer ciclo de cultivo de lechuga con agua tratada, por lo que concluyeron un efecto positivo de la aplicación de estas aguas en términos de producción. Sin embargo, aunque con el tratamiento 8 se logró un aumento de peso, este no se dio en la parte de interés comercial, es decir en la parte comestible. Hecho que se puede atribuir a la translocación de nutrientes, donde las plantas que tuvieron mayor biomasa de hojas externas, que son la fuente de nutrimentos, no lograron translocar a las hojas del cogollo, que son la demanda de nutrientes Kanai *et al.*, (2007); Luo *et al.*, (2021) citados por: León *et al.*, (2021). Por lo tanto, de manera general, (T1) para riego en lechuga tuvo efectos similares al riego con agua potable (T9) en cuanto crecimiento, producción y a nivel fisiológico de la planta para ambas etapas de cultivo, y no hubo una disminución a nivel de crecimiento y producción, aunque los efectos de los factores (O², saponinas y bacterias acidificantes) no fueron muy notables.

Conclusiones

Aun considerando los resultados obtenidos, estos hechos son relevantes, ya que se pueden seguir explorando efectos entre estos factores, otras variables, con las mismas dosis u otras. Asimismo, la factibilidad de aplicación y rentabilidad del uso de estas tecnologías debe ser corroborada en futuros estudios.

Agradecimientos

Al centro de Capacitación y Autoproducción de Alimentos del DIF de Gobierno de San Luis Potosí por permitir realizar el experimento en sus instalaciones.

Al Centro de Investigaciones Microbiológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por proporcionar los microorganismos utilizados en el estudio.

Bibliografía bibliográfica

- Góngora Chi, Guadalupe Johanna, Lizardi Mendoza, Jaime, López Franco, Yolanda Leticia, López Mata, Marco Antonio, & Quihui Cota, Luis. (2023). Métodos de extracción, funcionalidad y bioactividad de saponinas de Yucca: una revisión. *Biotechnia*, 25(1), 147-155. Epub 07 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v25i1.1800>.
- Hostettmann, K., M. Hostettmann, and A. Marston, (1991) Saponins, *in* Terpenoids (B. V. Charlwood and D. V. Banthorpe, eds.), Vol. 7 of Methods in Plant Biochemistry (J. B. Harborne and P. M. Dey, eds.), 435–471, Academic Press, London
- Ibáñez, I. R. H. (2018). Sobreextracción de las aguas subterráneas en la cuenca norte de ciudad de Guatemala. *Revista Científica de la Facultad de Agronomía Universidad de San Carlos de Guatemala*, 7.
- León Burgos, A. F., Beltrán Cortes, G. Y., Barragán Pérez, A. L., & Balaguera-López, H. E. (2021). Distribución de fotoasimilados en los órganos vertederos de 93 plantas Solanáceas, caso tomate y papa. Una revisión. *Cien. Agri.*, 18(3): 79-97. <https://doi.org/10.19053/01228420.v18.n3.2021>
- Price DJ, Adams, Jr C. (2016) Water Use and Wastewater Management: Interrelated Issues with Unique Problems and Solutions. *Environmental and Health Issues in Unconventional Oil and Gas Development*, Elsevier; 61–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804111-6.00005-4>.
- Yang, A., Akhtar, S. S., Iqbal, S., Qi, Z., Alandia, G., Saddiq, M. S., & Jacobsen, S. E. (2018). Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204(1), 31-39.
- Zahid, M., Ashraf, M., Arshad, M., Muhammad, G., Yasmin, A., & Hameed, H. M. A. (2015). Antimicrobial activity of bacteriocins isolated from lactic acid bacteria against resistant pathogenic strains. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(3), 326-331.

EFFECTO DEL INJERTO Y HUMEDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Luis Eduardo Tamayo-Ruiz^{1*}, Alejandro García-Ramírez², Andrés Adrián Urías-Salazar¹, Leandro Schwertner-Charão³

¹Universidad del Valle de México Campus Victoria (UVM). ²INIFAP, CE Uruapan, ³Universidade do Estado de Mato Grosso – Brasil

*Autor para correspondencia: tamayo.eduardo@outlook.com

Palabras clave. Humedad del suelo, riego, tensiómetros.

Introducción

El injerto del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tiene múltiples direcciones de aplicación, desde el aumento del desempeño del cultivo en condiciones restrictivas de fertilización, mitigar el daño oxidativo por altos niveles de ofloxacinas (Zhang et al., 2021), inducción de la resistencia a enfermedades bacterianas, así como tolerancia a las condiciones de estrés hídrico (El-Mogy et al., 2022). Es imprescindible la aplicación de riego en las distintas etapas del cultivo correspondientes al desarrollo y madurez del fruto (Chen et al., 2015; Liu et al., 2019). En ese sentido el cultivo de tomate puede desempeñarse bien entre rangos de 60-65 % de capacidad de campo. (Alordzinu et al., 2021), sin embargo, es necesario un buen sistema de drenaje de la solución del suelo para el aprovechamiento eficiente del agua (Logsdon, 2019), ya que la saturación del suelo traerá consigo desórdenes fisiológicos de la planta a la par de la reducción del rendimiento y calidad de fruto (Shao et al., 2018).

Es recurrente la utilización de tensiómetros para determinar el estatus de humedad de suelo, el cual mide la tensión capilar del agua contenida en el suelo entre un rango de cero a una atmósfera (Majhi et al., 2019). En medida de la cantidad de agua perdida por parte del suelo, la columna de agua contenida en el tensiómetro es succionada, reflejando así en kilo Pascales (kPa) la humedad contenida del suelo (Martin, 2017). Posterior a la aplicación del riego, una fracción del agua del suelo reingresa a la columna del tensiómetro e indica el estado de la humedad del suelo, sin embargo, es importante que la punta de cerámica tenga un buen contacto en el sitio localizado (Singh et al., 2019).

Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el desempeño de tomate injertado y no injertado en niveles de agua del suelo contrastantes.

Materiales y Métodos

El experimento se ejecutó en condiciones de invernadero, en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en el periodo comprendido de diciembre 2021 a abril 2022. El material vegetal utilizado consistió en un híbrido de tomate de crecimiento determinado tipo Saladette variedad Río Grande y como portainjerto el híbrido Guardiador HM. Se produjeron las plántulas de los injertos en charolas de poliestireno y con sustrato Peatmoss previamente hidratado. Del mismo modo, pero cinco días posteriores a la semilla de injerto, se estableció la siembra de semillas de los portainjertos.

La unión injerto portainjerto se realizó a través de la técnica por empalme, el corte angular aproximado fue de 70° aproximadamente. Para promover la unión y deshidratación de los tejidos, se ingresó a una cámara ambiental Biotronette III con una temperatura promedio de 25.5 °C y humedad relativa de 92%. En las primeras 48 horas se limitó la irradiación sobre las plántulas injertadas, posteriormente se estableció un rango de 12 horas luz/oscuridad durante 12 días. A continuación, se estableció una aclimatación de las plántulas injertadas de 24 horas en condiciones de invernadero.

Las plántulas, injertadas (I) y no injertadas (NI), fueron trasplantadas el 11 de diciembre del 2022, en bolsas de polietileno en un suelo franco arenoso con un pH de 7.8 y una CE de 1.8 mS cm⁻¹. Se utilizó un sistema de riego por goteo y se determinaron tres niveles de humedad de suelo, basados en lecturas en tensiómetros Irrometer; déficit hídrico (DH), capacidad de campo (CC) y suelo saturado (SS), con intervalos; 65-75 kPa, 10-20 kPa y 0 kPa, respectivamente.

Se estableció un diseño completamente al azar con 5 repeticiones. Las variables evaluadas fueron altura de planta, diámetro de tallo, rendimiento, peso promedio de fruto y productividad de agua, los cuales fueron evaluados 132 días después del trasplante. Los tratamientos fueron las combinaciones de los niveles de humedad y las plantas I y NI, respectivamente (cuadro 1). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de comparación de medias de Tukey ($p=0.05$). Adicionalmente, para la identificación de patrones multivariados y la separación entre los grupos de los tratamientos evaluados, se empleó un análisis discriminante canónico (ADC) al considerar el tamaño de las observaciones totales basado en el supuesto de homogeneidad. Para ello se utilizó el programa estadístico JMP Pro versión 13.

Cuadro 1. Combinación de tratamientos.

Tratamiento	Significado
NI-DH	No injertado - Déficit hídrico
NI-CC	No injertado - Capacidad de campo
NI-SS	No injertado - Suelo saturado
I-DH	Injertado - Déficit hídrico
I-CC	Injertado - Capacidad de campo
I-SS	Injertado - Suelo saturado

Resultados y Discusión

La altura de la planta (AP) presentó diferencias notables entre los tratamientos, siendo los valores más bajos registrados en plantas injertadas bajo déficit hídrico (I-DH) con 65.8 cm, mientras que las plantas no injertadas en suelo saturado (NI-SS) alcanzaron los 95.2 cm (cuadro 2). Estos resultados sugieren que un adecuado suministro hídrico favorece el crecimiento de la planta, mientras que el estrés hídrico limita su desarrollo, como lo han señalado estudios previos en cultivos de hortalizas injertadas (Singh *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos de humedad del suelo en el cultivo de tomate no injertado e injertado, en variables de crecimiento y rendimiento.

T	AP (cm)	DT (mm)	PPF (g)	PTF (t* ha ⁻¹)	PA (kg*m ⁻³)
I-DH	65.8 b	8.38 b	53.53 a	10.08 bc	23.03 a
NI-DH	66.6 b	7.44 b	54.68 a	8.91 c	20.35 ab
I-CC	86.4 a	9.88 a	60.21 a	19.26 a	17.60 abc
NI-CC	83.2 ab	7.84 b	56.35 a	16.73 a	15.29 bc
I-SS	92.4 a	8.44 b	56.28 a	19.70 a	16.36 abc
NI-SS	95.2 a	8.44 b	49.99 a	15.66 ab	13.01 ab

DH: déficit hídrico, CC: capacidad de campo, SS: suelo saturado, NI: no injertado e I: injertado. AP: altura de planta, DT: diámetro de tallo, PTF: peso total de fruto, PPF: peso promedio de fruto y PA: productividad de agua. Valores dentro de cada columna con diferentes letras indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p<0.05$).

El análisis de componentes canónicos permitió visualizar la relación entre estas variables en un 99% de variabilidad explicada, mostrando que AP, DT y PPF están positivamente correlacionadas (figura 1). Esto indica que las plantas más altas también desarrollan tallos más robustos y frutos de mayor peso promedio, en concordancia con estudios previos sobre la influencia del injerto en el desarrollo estructural del tomate. Asimismo, PTF identificado como TONHA en el gráfico se alinea con estas variables, aunque con menor peso dentro de la variabilidad explicada por los componentes.

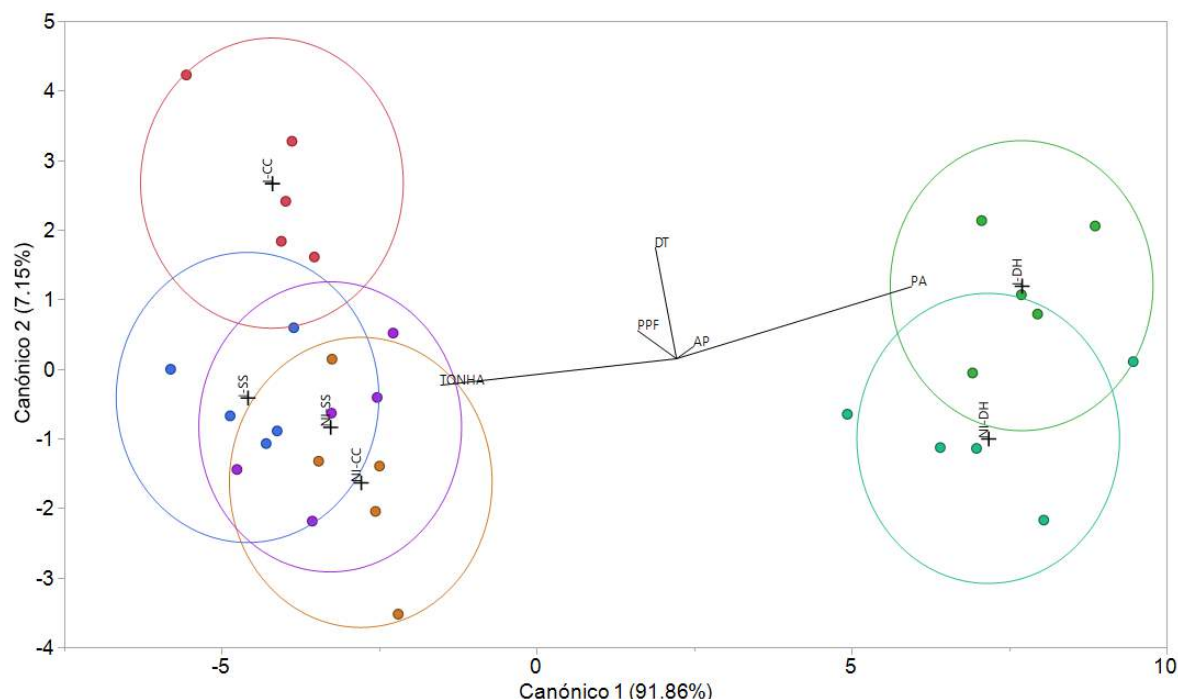


Figura 1. Biplot del análisis discriminante canónico para los tratamientos de humedad del suelo y tipo de injerto en el cultivo de tomate. Los puntos representan los tratamientos: déficit hídrico (DH), capacidad de campo (CC) y suelo saturado (SS), diferenciados por tipo de injerto (no injertado (NI) e injertado (I)). Los vectores indican la relación de las variables: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), peso total de fruto (PT), peso promedio de fruto (PPF) y productividad de agua (PA) con las funciones discriminantes.

El diámetro del tallo (DT) mostró valores que oscilaron entre 7.44 mm en el tratamiento NI-DH y 9.88 mm en el tratamiento I-CC (cuadro 2). El mayor diámetro de tallo en plantas injertadas y cultivadas bajo condiciones de capacidad de campo (CC) indica que el injerto puede contribuir al fortalecimiento estructural del tomate, favoreciendo su adaptación a condiciones de estrés moderado. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Schwarz et al. (2010), quienes encontraron que el injerto mejora la arquitectura de la planta, incrementando su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

El peso promedio de fruto (PPF) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, variando entre 49.99 g en NI-SS y 61.21 g en I-CC (cuadro 2). Sin embargo, el mayor peso de fruto en plantas injertadas y con riego óptimo sugiere que el injerto, en combinación con un adecuado manejo hídrico, puede contribuir a mejorar la calidad del fruto. A pesar de la ausencia de diferencias significativas, estos resultados respaldan estudios que han demostrado que el injerto en solanáceas mejora la uniformidad y calidad de los frutos, especialmente bajo condiciones de estrés abiótico (Singh et al., 2020).

En cuanto al rendimiento total de fruto (PTF), se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores más altos se registraron en plantas injertadas bajo suelo saturado (I-SS) con 19.70 t ha⁻¹ y en I-CC con 19.26 t ha⁻¹, mientras que los valores más bajos se obtuvieron en NI-DH con 8.91 t ha⁻¹. Estos resultados indican que el injerto, combinado con un adecuado nivel de humedad en el suelo, promueve una mayor productividad. En contraste, el estrés hídrico limita el desarrollo reproductivo del tomate, reduciendo significativamente su rendimiento. Investigaciones previas han demostrado que la combinación de injerto y manejo hídrico adecuado optimiza la producción en cultivos de solanáceas, debido a la mejora en la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes (Schwarz et al., 2010).

El análisis discriminante canónico refuerza estos hallazgos, mostrando que la productividad del agua (PA) y el déficit hídrico (DH) presentan una distribución diferente dentro del espacio canónico, ubicándose en el extremo derecho del gráfico (figura 1). Esto sugiere que la eficiencia en el uso del agua está más asociada con los tratamientos que experimentaron condiciones de déficit hídrico. En particular, los tratamientos I-DH y NI-DH muestran una clara asociación con PA, lo que confirma que, aunque el rendimiento total es menor

bajo estas condiciones, la eficiencia hídrica mejora significativamente, un hallazgo consistente con estudios sobre estrategias de adaptación en cultivos bajo estrés hídrico (Schwarz *et al.*, 2010).

Los tratamientos I-CC e I-SS se agrupan en una región diferente del gráfico, indicando que, bajo condiciones de capacidad de campo y suelo saturado, el rendimiento y crecimiento del tomate fueron óptimos (figura 1). Estos resultados resaltan la importancia del riego adecuado para maximizar la producción sin comprometer la eficiencia en el uso de los recursos hídricos.

Conclusiones

El injerto tuvo un efecto positivo en la altura de la planta, diámetro del tallo y rendimiento total de fruto, particularmente cuando se combinó con un manejo hídrico adecuado. Aunque el estrés hídrico redujo significativamente la producción total, la eficiencia en el uso del agua fue mayor en condiciones de déficit hídrico. El análisis discriminante canónico permitió identificar patrones claros en la respuesta del tomate injertado y no injertado bajo diferentes niveles de humedad del suelo, confirmando que el injerto, junto con un manejo hídrico adecuado, favorece el crecimiento y el rendimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas por facilitar el espacio de invernaderos para el establecimiento del experimento.

Referencias bibliográficas

- Alordzinu, K. E., Jiu hao, L., Appiah, S. A., Aasmi, A. A. L., Blege, P. K., & Afful, E. A. (2021). Water stress affects the physio-morphological development of tomato growth. *African Journal of Agricultural Research*, 17(5), 733-742.
- Chen, S., Zhou, Z. J., Andersen, M. N., & Hu, T. T. (2015). Tomato yield and water use efficiency—coupling effects between growth stage specific soil water deficits. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 65(5), 460-469.
- El-Mogy, M. M., Atia, M. A. M., Dhawi, F., Fouad, A. S., Bendary, E. S. A., Khojah, E., Samra, B. N., Abdelgawad, K. F., Ibrahim, M. F. M., & Abdeldaym, E. A. (2022). Towards better grafting: SCot and CDDP analyses for prediction of the tomato rootstocks performance under drought stress. *Agronomy*, 12(1), 153.
- Liu, J., Hu, T., Feng, P., Wang, L., & Yang, S. (2019). Tomato yield and water use efficiency change with various soil moisture and potassium levels during different growth stages. *PloS one*, 14(3), e0213643.
- Logsdon, S. (2019). Should upper limit of available water be based on field capacity?. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 2(1), 1-6.
- Majhi, T., & Sarkar, N. (2019). Study on soil moisture variations in responding to Tensiometer and soil moisture meter with respect to gravimetric method. *International Journal of Chemical Studies*, 7(4), 3179.
- Martin, E. C. (2017). Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿Cuándo? University of Arizona Cooperative Extension.
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., & Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171.
- Shao, G. C., Deng, S., Liu, N., Wang, M. H., & She, D. L. (2018). Fruit quality and yield of tomato as influenced by rain shelters and deficit irrigation.
- Singh, A. K., Bhardwaj, A. K., Verma, C. L., Mishra, V. K., Singh, A. K., Arora, S., ... & Ojha, R. P. (2019). Soil moisture sensing techniques for scheduling irrigation. *J. Soil Salin. Water Qual*, 11(1), 68-76.
- Singh, H., Kumar, P., Kumar, A., Kyriacou, M. C., Colla, G., & Rouphael, Y. (2020). Grafting tomato as a tool to improve salt tolerance. *Agronomy*, 10(2), 263.
- Zhang, Z. H., Li, M. M., Cao, B. L., Chen, Z. J., & Xu, K. (2021). Grafting improves tomato yield under low nitrogen conditions by enhancing nitrogen metabolism in plants. *Protoplasma*, 1-13.

PRONÓSTICO DE PRECIPITACIÓN EN UNA COMUNIDAD DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA BASADO EN SARIMA

Edwin Yoshimar Chávez-Pascual^{1*}, Salvador Lozano-Trejo¹, Martha Patricia Jerez-Salas¹, Gustavo Omar Díaz-Zorrilla¹, Ernesto Castañeda-Hidalgo¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

*Autor para correspondencia: edwinyoshimar553@gmail.com

Palabras clave. Nasa power, modelo, sequía.

Introducción

El cambio climático ha intensificado los desequilibrios ecológicos a nivel global, afectando gravemente los ciclos biológicos de plantas, animales y los regímenes de lluvias y temperaturas (Randell & Gray, 2019). Este fenómeno, impulsado por las actividades humanas, modifica los ciclos biogeoquímicos del agua, carbono y nitrógeno, lo que limita la sostenibilidad de los ecosistemas y aumenta la presión sobre los hogares rurales que dependen directamente del medio ambiente para su subsistencia. Estas comunidades, al estar vinculadas a la agricultura de temporal, enfrentan mayor vulnerabilidad ante sequías e inundaciones, lo cual afecta su seguridad alimentaria (Mekonen y Berlie, 2021). Tal es el caso de las comunidades periurbanas ubicadas en los Valles Centrales de Oaxaca, dentro de la cuenca del Río 20 (Tlalixtac de Cabrera-Tomaltepec y Teotitlán del Valle) que aún se dedican a la agricultura de temporal y sufrieron los estragos de la sequía en el año 2023 y 2024 teniendo pérdidas de cosechas (más del 50%), caso especial de la comunidad de Tomaltepec donde una de sus principales presas se secó por completo e intensificó el problema de la falta de agua afectando también a la agricultura de riego y el agua para uso humano.

Ante esta problemática, el pronóstico climático, en particular de las precipitaciones, es una herramienta estratégica para planificar el uso eficiente del agua y minimizar los impactos sobre la producción agrícola. La modelación de series de tiempo mediante métodos estadísticos como ARIMA (p, d, q) y SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) permite identificar patrones y hacer predicciones precisas en función del comportamiento pasado de las variables climáticas (Kajuru *et al.*, 2019). Estos modelos permiten analizar la estacionalidad y tendencias en las series de precipitación mensual, ofreciendo intervalos de confianza útiles para la toma de decisiones en gestión de riesgos hídricos.

Considerando lo anterior, el objetivo de este estudio es ajustar un modelo ARIMA (p, d, q) y/o SARIMA (p, d, q) (P, D, Q) que permita pronosticar el patrón de precipitación en Santo Domingo Tomaltepec, Oaxaca. Lo anterior facilitará estrategias de adaptación y mitigación local ante eventos climáticos extremos.

Materiales y Métodos

Ubicación

El municipio de Santo Domingo Tomaltepec pertenece a la región de los Valles Centrales del Estado de Oaxaca, situado al oriente de la ciudad capital. Se ubica a los 17° 4' latitud Norte y 96° 37' longitud Oeste a una altura aproximada de 1590 metros sobre el nivel del mar. El Territorio Municipal, comprende una superficie total de 49.7 Km cuadrados, colinda al Poniente con Tlalixtac de Cabrera, al Sur con Santa Catalina de Sena, Tlalixtac de Cabrera, al Oriente con Teotitlán del Valle y Santiago Ixtaltepec y al Norte con Santa Catarina Ixtepeji (figura 1).

Mapa de ubicación Tomaltepec, Tlalixtac y Teotitlán

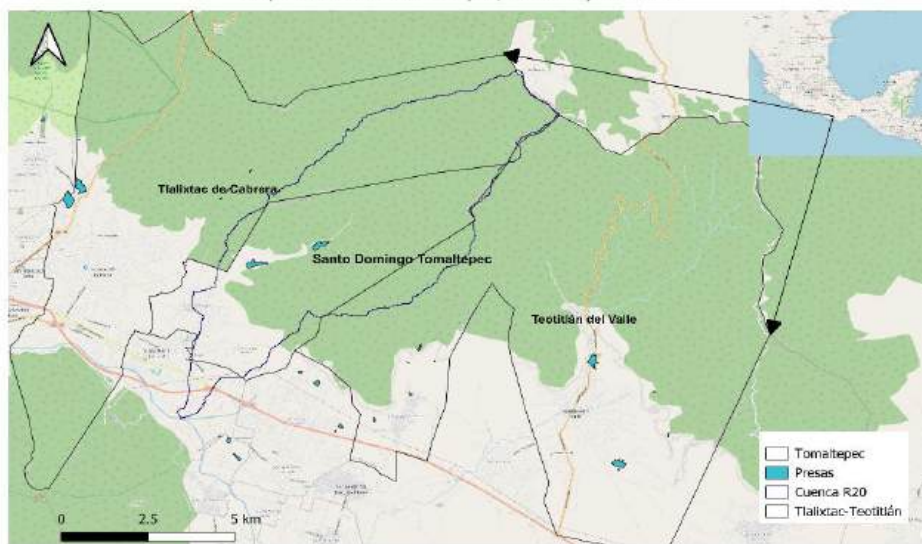


Figura 1. Mapa de ubicación de área de estudio.

Los datos de precipitación fueron proporcionados por la Administración nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) mediante su sistema de Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER), mejor conocido como NASA POWER, esta plataforma permite acceder a datos meteorológicos derivados de observaciones satelitales con la finalidad de ayudar en las investigaciones agroclimáticas y planificación urbana sostenible etc. Se extrajeron datos mensuales de precipitación (en mm) durante 42 años desde 1981 hasta 2022 en formato Excel para la elaboración del modelo y pronóstico de precipitación (Sharma y Singh, 2024).

Los datos se convirtieron a series temporales mensuales, y posteriormente se realizó la prueba Dickey-Fuller aumentada (ADF) para raíz unitaria, donde la hipótesis nula (H_0) establece que la serie no es estacionaria si $H_0 > 0.05$, de lo contrario, si $H_0 < 0.05$ existe estacionariedad.

Los datos cumplieron con esta prueba, sin embargo, al realizar el pronóstico arrojaron datos negativos, lo cual provocó que los datos fueran transformados a logaritmos, posteriormente se realizó nuevamente la prueba de ADF, donde se rechazó la hipótesis nula, por lo que el conjunto de datos no requirió que se le aplicaran diferencias.

Se obtuvieron los gráficos de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF), esto con la finalidad de conformación del modelo SARIMA (P, D, Q).

Donde:

P= número de autorregresivos (PACF)

D= número de diferencias

Q= número de medias móviles (ACF)

Posteriormente se ajustó el modelo SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)¹².

Se aplicó la prueba Ljung Box para evaluar el ruido blanco y que el modelo presentará adecuadamente la estructura de los datos, la prueba arrojó un valor de P 0.79, lo que indica que los datos no presentan autocorrelación significativa, esto significa que el modelo ajusta bien los datos.

Finalmente se realizó el pronóstico y la graficación del modelo, todo esto en el programa Rstudio, mediante las librerías: astsa, tseries, lubridate, tidyverse, forecast, foreign y quantmod.

Resultados y Discusión

Modelado ARIMA de precipitación mensual

Se determinó que todas las series de datos son estacionarias con solo unos pocos picos de ACF y PACF superaron el nivel de confianza para demostrar la estacionariedad y así ajustar el modelo SARIMA, con los factores de correlación y correlación parcial, donde ACF muestra dependencia temporal y justifica la

incorporación de términos estacionales en el modelado por otro lado PACF, presenta presencia de componentes autorregresivos, en lo estacional del modelo. La barra de color azul presenta los intervalos de confianza al 95% de confianza e identifica los rezagos significativos distintos de cero figura 2. El modelo se ajustó sin diferencia por lo que quedo de la siguiente manera: SARIMA (1,0,2) (1,1,1)₁₂.

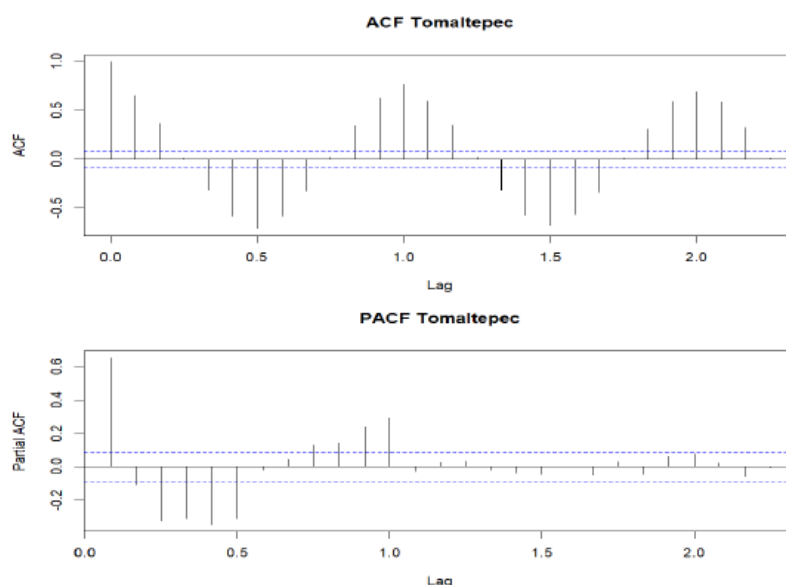


Figura 2. Funciones de autocorrelación de los residuos para Tomaltepec.

La figura 3 muestra que el patrón de lluvia es aproximadamente el mismo, también ilustra el pronóstico mensual de lluvias, representado por una línea azul dentro de los límites de confianza superior e inferior al 95%. Todos los valores pronosticados se aproximan de manera precisa a los valores observados, reconociendo la precisión de las predicciones de los modelos seleccionados.

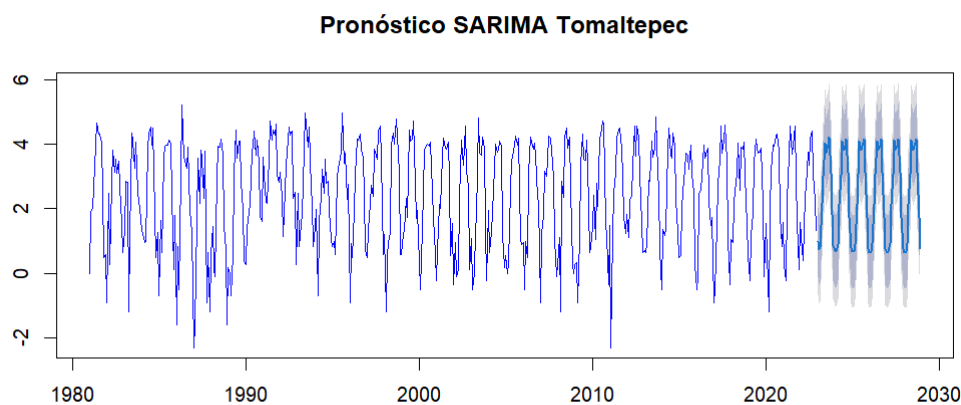


Figura 3. Gráfico de pronóstico de precipitación, para el año 2026 y 2027 en Tomaltepec.

De acuerdo con Kajuro *et al.* (2019), el modelo SARIMA es adecuado en datos temporales periódicos que normalmente presentan cambios estacionales mensuales, trimestrales o semanales, tal como el caso del presente trabajo que los datos de precipitación fueron mensuales. La precipitación no presentó tendencia en el presente estudio, caso similar en un estudio realizado por González, (2021) en el Chocó en Colombia

en donde se ajustó un modelo SARIMA y las predicciones no presentaron tendencia quienes ajustaron un modelo SARIMA (0, 0, 9) (0, 1, 1)¹².

Conclusiones

El uso de modelos para predecir precipitación es muy útil para conocer los regímenes de lluvia que se presentarán y tomar decisiones sobre el uso adecuado de este recurso.

El Modelo SARIMA (1,0,2) (1,1,1)¹² representó de mejor manera los valores de precipitación para este caso de estudio en específico.

Referencias bibliográficas

González, S. J. E. G. (2021). Analysis of time series of precipitation (1990-2021) in the municipality of quibdó, department of chocó—Using sarima modeling. *Los Libertadores Fundación Universitaria*, 7(3), 1-13.

Kajuru, J. Y., Abdulkarim, K., & Muhammed, M. M. (2019). Forecasting Performance of Arima and Sarima Models on Monthly Average Temperature of Zaria, Nigeria. *Journal of Science Technology and Education*, 7(3), 205-212.

Mekonen, A. A., & Berlie, A. B. (2021). Rural households' livelihood vulnerability to climate variability and extremes: A livelihood zone-based approach in the Northeastern Highlands of Ethiopia. *Ecological Processes*, 10(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00313-5>

Randell, H., & Gray, C. (2019). Climate change and educational attainment in the global tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(18), 8840-8845. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817480116>

Sharma, A., & Singh, K. (2024). ARIMA-Based forecasting of monthly rainfall in Mandi district, Himachal Pradesh. *Water Supply*, 24(9), 3226-3237. <https://doi.org/10.2166/ws.2024.200>



MANEJO EFICIENTE DEL AGUA EN LA CAÑA DE AZÚCAR: EVALUACIÓN DEL DESARROLLO FENOLOGICO BAJO DISTINTOS MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

Madaí Sánchez-Galindo^{1*}, Maurilio Mendoza-Mexicano¹, Vidal Alejandro Jiménez-García², Hugo Cesar Bautista-Domínguez³, Jessica Camacho-Camacho⁴, Brenda García-Cordova⁴, David Estrada-Salinas⁴, Rogelio Miranda-Marini¹

¹ INIFAP, CIRGOC, CE Cotaxtla. ²Universidad Veracruzana-Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias; ³CIA Azucarera la Fe S.A. de C.V.; ⁴Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan.

*Autor para correspondencia: sanchez.madai@inifap.gob.mx

Palabras clave. Vitroplantas, ITV 92-1424, demanda hídrica.

Introducción

La caña de azúcar se considera uno de los cultivos más importantes en todo el mundo. Sin embargo, en México, la producción de caña de azúcar enfrenta algunos problemas que se han desarrollado con el tiempo, considerándose entre ellos el deterioro y pérdida de pureza genética de semilla utilizada para la siembra, y el suministro limitado de agua dulce debido al cambio climático. Estudios a nivel mundial indican un cambio gradual en el clima futuro que podría afectar la vulnerabilidad del sistema mundial de suministro de alimentos. Según una estimación, la temperatura media mundial de la superficie podría aumentar 4.8 °C a finales del siglo XXI (IPCC, 2014). Como resultado, se espera que la escasez de agua aumente rápidamente debido a la intensificación de la presión sobre los recursos hídricos existentes (Kongboom y Sampattagul, 2012).

En el sistema habitual de producción de caña de azúcar de temporal en el trópico Veracruzano, el cultivo depende de la humedad residual del suelo que se ha conservado mediante operaciones de labranza adecuadas durante la preparación del lecho de siembra. La temporada óptima de crecimiento es generalmente de noviembre a enero, siempre que la humedad residual del suelo sea suficiente para permitir una buena emergencia y establecimiento de las plántulas. Sin embargo, la fase activa de macollamiento coincide con el período cálido y seco de marzo a mayo. Por lo tanto, el cultivo emergente sufre déficit de agua y estrés térmico durante estos meses. Por lo tanto, el crecimiento se ve gravemente afectado, lo que da como resultado un bajo rendimiento de la caña.

Es por ello por lo que, el conocimiento de las necesidades hídricas de las especies constituye la base fundamental para realizar un manejo eficiente del recurso agua, de tal forma que el cultivo no tenga limitaciones o exceso de agua durante su desarrollo, donde un déficit excesivo de agua se traduce en vulnerabilidad de la producción, y un exceso de agua también puede tener efectos no deseados sobre su productividad, e incrementar la probabilidad de infecciones por patógenos. De modo tal que calcular la demanda hídrica en el cultivo de caña de azúcar y la decisión de cuánto regar es el factor más relevante para lograr alta productividad. Posibilita asimismo evaluar la cantidad de agua que no es satisfecha por las precipitaciones y que para el logro de buenos rendimientos sería necesario proveer mediante riegos suplementarios. De igual modo, brinda valiosa información para establecer los volúmenes de agua que deben suministrarse a lo largo del ciclo vegetativo, constituyéndose en un elemento indispensable para una adecuada planeación de la actividad agrícola en las diversas zonas. Esto es importante para la industria azucarera, no solo para la programación del riego, sino también para aumentar la eficiencia en el uso del agua.

A través del tiempo se han desarrollado diversos métodos para estimar los requerimientos hídricos de las especies. Estos métodos se pueden clasificar en directos e indirectos; los primeros proporcionan de manera directa el consumo total de agua requerida utilizando para ello aparatos e instrumentos para su determinación. En los segundos, las necesidades hídricas del cultivo se obtienen de manera indirecta, mediante la utilización de fórmulas empíricas fundamentales en datos meteorológicos.

En México se ha incursionado en la última década en la producción de vitro plantas de caña de azúcar con el objetivo de obtener plantas libres de patógenos, genéticamente homogéneas y vigorizadas (Bello-Bello y Flores-Revilla, 2016). Sin embargo, su manejo hídrico no ha sido estudiado. El valor de la demanda hídrica cambia considerablemente de una región a otra, debido a las condiciones edáficas y climáticas, el estado de desarrollo del cultivo, variedad, a la diferencia en los ciclos de cultivo, además de otros aspectos, como textura del suelo o la nutrición. Esta situación resalta la necesidad de comprender el uso consuntivo del agua, entre otros factores.

Objetivo

Identificar el método más eficiente para estimar la evapotranspiración durante las primeras etapas fenológicas de vitroplantas de caña de azúcar (var. ITV 92-1424) en el centro del estado de Veracruz, con base en su impacto sobre el desarrollo del cultivo y la demanda hídrica.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, México a los 18° 56' 04" LN y 96° 11' 36" LO, a una altitud de 15 msnm. El clima del sitio es de tipo cálido subhúmedo con abundantes lluvias en verano (Aw 1), temperatura media anual de 25 °C y precipitación media anual de 1400 mm.

Diseño y unidad experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental constó de 16 vitro plantas de caña de azúcar de la variedad ITV 92-1424. Los tratamientos fueron: T0, se aplicó una lámina constante de 4 mm; T1, se aplicó una lámina de riego estimada con el método del tanque evaporímetro (EV); T2, lámina estimada con el método de Penman Monteith (PM); y T3, una lámina de riego estimada con el método de Blaney Criddle (BC). La frecuencia de riego fue diaria, no permitiendo que el suelo llegue a su punto de marchitamiento permanente, con un nivel de agotamiento permisible del 50%. Las láminas de riego propuestas se generaron a partir del diseño agronómico, tomando en cuenta el tipo de suelo de la zona, la precipitación media anual de la zona.

Descripción de los tratamientos

Los requerimientos hídricos se basaron en el proceso de la evapotranspiración. Para su determinación en primer lugar se estimó de la evapotranspiración del cultivo (ETc), la cual se basa en la ecuación: $ETc = Kc \cdot ETo$, donde Kc es el coeficiente de cultivo y ETo es la evapotranspiración del cultivo de referencia. Kc integra los efectos de la transpiración de las plantas y la evaporación que ocurre a partir de las superficies húmedas del suelo; estos valores se obtuvieron para cada una de las etapas de desarrollo de la vitroplanta del boletín FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) y corregido por efecto del clima predominante en el área de estudio utilizando las ecuaciones que consideran la velocidad del viento y humedad del aire, así como la altura del cultivo (etapa inicial de desarrollo: 0.5; etapa de mediados de temporada: 1.25 y etapa final: 1.25). La ETo incorpora el efecto de las condiciones meteorológicas del área al proceso de evapotranspiración y fue calculada de acuerdo con los tres métodos indicados en FAO-56, es decir, FAO Penman-Monteith (P-M), Blaney - Criddle y tina de evaporación (cuadro 1), según los registros meteorológicos existentes. Considerando que el método P-M proporciona los valores más aceptados de ETo se tomó como referencia para comparar con los otros métodos utilizando datos de los años 2010-2020.

Variables medidas

A los 30 y 60 días después del trasplante se midieron variables asociadas al desarrollo vegetativo de la vitroplanta. Se tomaron datos de altura de planta, utilizando una regla metálica graduada en centímetros, se contabilizó el número de tallos por cepa, y midió el diámetro con un vernier digital.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron capturados en hoja electrónica y posteriormente analizados mediante un análisis de varianza utilizando el programa R Studio (uso libre) y las diferencias significativas encontradas fueron analizadas mediante una comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Resultados y Discusión

En la figura 1, se muestra la curva de retención de humedad del suelo utilizado en el experimento, el cual de acuerdo con el análisis de suelo es clasificado como suelo arcilloso (Arcilla 41.6%, Limo 26.64% y Arena 31.71%). La curva de retención de humedad obtenida marca dos puntos clave, el 42.2% (CC) y el 24.0% (PMP) en el eje vertical de la gráfica (contenido de humedad del suelo), los cuales corresponden con 33 kPa y 1500 kPa (energía potencial de retención del agua en el suelo), respectivamente, lo que hacen alusión a su vez a la capacidad de campo (CC) y al punto de marchitamiento permanente (PMP). Esta información nos indica que para los primeros 30 cm del suelo, el agua disponible que puede contener el

suelo, entendiendo esta como el agua útil, es de 18.18%, (AD). Esto quiere decir que este suelo cuenta con una capacidad media-alta para almacenar agua y el riego puede ser menos frecuente. Sin embargo, esto no significa que se deba dejar agotar su umbral de acción hasta el rango inferior, ya que en ese momento se generarían daños irreversibles en el cultivo, por lo que se estableció un umbral denominado nivel de agotamiento permisible (NAP), el cual es la cantidad máxima de agua, expresado en porcentaje (%), que puede perder un cultivo sin entrar en estrés hídrico y no disminuir su producción. Para este caso se utilizó el 50%.

Cuadro 1. Métodos utilizados para determinar.

Ecuación	Datos
Penman Monteith $ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$	Donde: ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹), u_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹), G = Flujo de calor de suelo (Mj m ⁻² día ⁻¹), R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo (Mj m ⁻² día ⁻¹), γ = Constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹), Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹), T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), e_a = Presión real de vapor (kPa), e_s = Presión de vapor de saturación (kPa) y $e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor (kPa).
Blaney - Criddle $ET_o = 0.031144 T * \sum_1^n \left(\left[\frac{T + 17.8}{21.8} \right] * P * D \right)$	Donde: ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹), T es la temperatura promedio mensual (°C), P es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual (%), D es la duración proporcional del mes (adim).
Tina de Evaporación $ET_o = Ev * f$	Donde: ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹), Ev = Evaporación del tanque evaporímetro o tina de evaporación; f = Factor de transpiración.

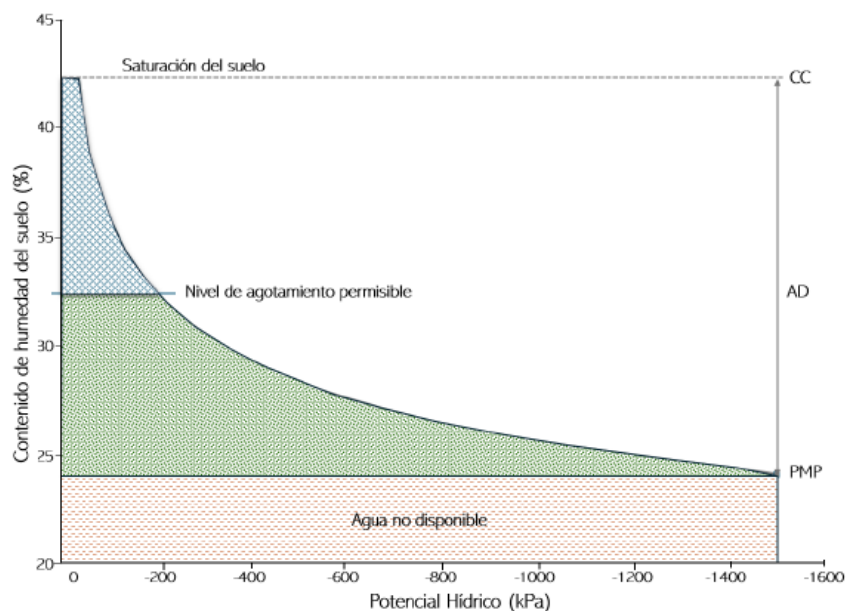


Figura 1. Curva de retención de humedad del suelo del sitio experimental.

Se obtuvieron datos climáticos históricos de precipitación y temperatura máxima y mínima de la estación meteorológica “El Copital” (clave: 30048). La estación se localiza en las coordenadas 18.97° N y 96.21° O y tiene una altitud de 14 m.

El porcentaje de humedad relativa se obtuvo de manera estimada a través de la presión de saturación. La velocidad del viento se tomó como contante en 2 m s^{-1} . Los datos de horas insolación se tomaron de datos de reanálisis de Power. La radiación solar se estimó a partir de la constante solar, la declinación solar y la época del año.

De acuerdo con el análisis de varianza realizado para cada variable, se obtuvo una significancia ($P > 0.05$) en cada una, rechazando la hipótesis nula e indicando que la aplicación de las diferentes láminas influye en la calidad agronómica de la vitro planta de caña de azúcar.

En R Studio, se realizó la comparación múltiple de medias a través de la prueba de Tukey, observamos que la lámina aplicada y estimada a través del método de Blaney Criddle (T_3), para las tres variables, es la que presentó mejor comportamiento en el desarrollo agronómico de las vitro plantas de caña de azúcar, seguido de la lámina aplicada y estimada a través del método de Penman-Monthieith (cuadro 2 – figura 2).

Cuadro 2. Comportamiento de las variables agronómicas con respecto a la lámina aplicada.

Tratamiento	No. macollos		Altura		Diámetro	
B-C (T_3)	4.73809	ab	4.531915	a	3.4610	a
Evaporímetro (T_1)	5.78048	a	2.628571	b	3.1505	a
P-M (T_2)	4.04761	bc	2.44594	b	2.9940	ab
Testigo (T_0)	2.79487	c	1.872973	b	2.3773	b

Literales diferentes indican diferencias significativas entre las variedades (prueba de Tukey $P \leq 0.05$).

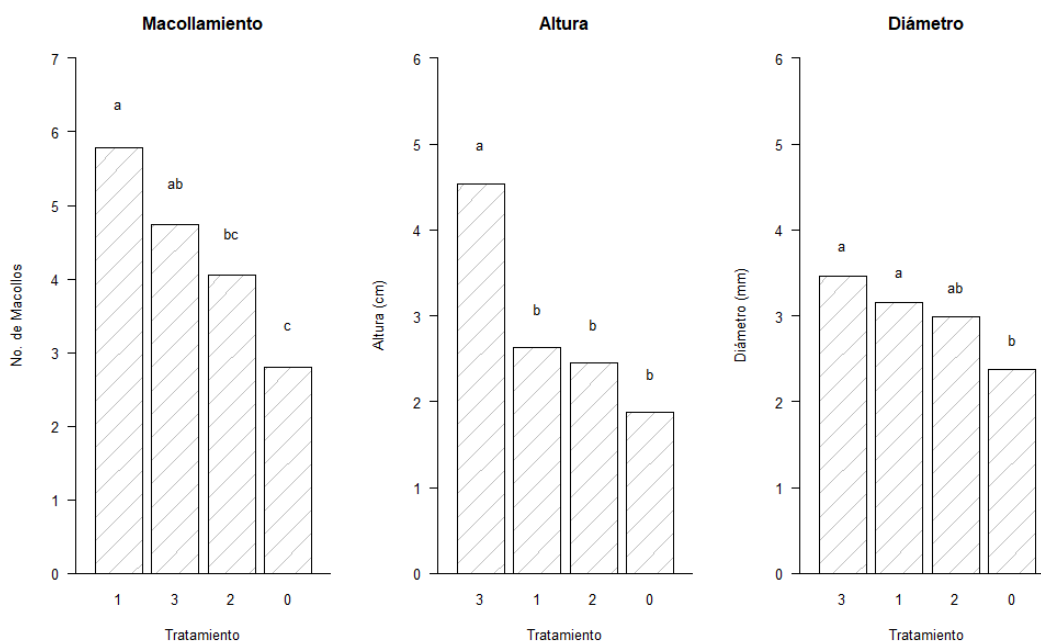


Figura 2. Comportamiento de las variables agronómicas con respecto a la lámina aplicada.

Los resultados anteriores nos permiten contar con un acercamiento en el conocimiento, a nivel mensual, de la demanda hídrica. La estimada por el método de Blaney - Criddle (T_3) es la que permitió a las vitro plantas de caña de azúcar de la variedad ITV 92-1424 contar con mejor desarrollo durante los primeros 90 días después de la siembra del cultivo, requiriendo un total de 245.28 mm ($2,452.8 \text{ m}^3$) con una necesidad promedio diaria de 2.73 mm. Allen *et al.* (1998) afirmaron que la evaporación en tanque de clase A buena referencia para la estimación de la evapotranspiración en muchos cultivos, incluida la caña de azúcar.

Conclusiones

La demanda hídrica anual obtenida para el cultivo de caña de azúcar de la variedad ITV 92-1424 es de 1,499 mm para Blaney – Criddle, 1285 mm para Penman -Monteith y 953 mm por el método del evaporímetro, con una humedad aprovechable de 18.8% en el suelo de tipo vertisol. La demanda hídrica estimada por el método de Blaney -Criddle es la que permitió a la vitro planta de caña de azúcar de la variedad ITV 92-1424 contar con mejor desarrollo en las dos primeras etapas fenológicas del cultivo (establecimiento y macollamiento), requiriendo un total de 245.28 mm ($2,452.8 \text{ m ha}^{-1}$), con una necesidad promedio diaria de 2.73 mm diarios ($273 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

Referencias bibliográficas

- Allen R.G., Periera L.S., Raes D., and Smith M. (1998) Evapotranspiration—guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Bello-Bello, J. J., y Flores-Revilla, C. 2016. Certificación fitosanitaria de vitroplantas de *Saccharum* spp., para establecer semilleros básicos. AGROProductividad 9(3): 35-39.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. In: Pachauri, R.K. and Meyer, L.A. (Eds.), Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151
- Kongboon, R. and Sampattagul, S. 2012. The water footprint of sugarcane and cassava in Northern Thailand, Social and Behavioral Sciences, 40, 451-460.





Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CP Colegio de
Postgraduados



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tema

suelo



4to Congreso
INTERAMERICANO
DE AGUA SUELO Y
AGROBIODIVERSIDAD
Cd. de México, México | 8-11 de agosto 2023

FUNCIONES DE PEDOTRANSFERENCIA PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE CAMPO Y EL PUNTO DE MARCHITAMIENTO DEL SUELO

Víctor M. Rodríguez-Moreno^{*1}, Nuria Aidé López-Hernández², Josué Delgado-Balbuena³, Israel Casas-Flores⁴

INIFAP, CE Pabellón, CENID RASPA, CENID Agricultura Familiar, CE Zacatecas

*Autor para correspondencia: rodriguez.victor@inifap.gob.mx

Palabras clave. Soilgrids, capacidad de campo, punto de marchitez permanente.

Introducción

El agua es el recurso más crítico para la vida en la Tierra, y su disponibilidad en el suelo determina en gran medida la productividad de los ecosistemas y los sistemas de producción agrícola, pecuario y forestal. La capacidad del suelo para retener y suministrar agua a las plantas está condicionada por características intrínsecas como la textura, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica. Estas propiedades no sólo influyen en la capacidad del suelo para almacenar agua, sino que también determinan dos umbrales hídricos esenciales: la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Estos umbrales definen la cantidad de agua disponible para las plantas y son fundamentales para determinar la eficiencia del uso del agua en los ecosistemas y la agricultura.

El suelo puede almacenar agua en sus poros, pero no toda está disponible para las plantas. La CC es la cantidad máxima de agua que el suelo puede retener después de que el exceso de agua se haya drenado por gravedad. En este punto, el agua está fácilmente disponible para las plantas, lo que facilita su crecimiento. El PMP se define como el mayor contenido de agua de un suelo en el que las plantas indicadoras, que crecen en ese suelo, se marchitan y no consiguen recuperarse cuando se colocan en una cámara húmeda (Tolk, 2015). Como límite inferior, el PMP, junto con el límite superior determinado en la FC, establece el tamaño de la reserva de agua contenida en el suelo que puede ser extraída por las plantas, conocida como agua disponible para las plantas. Juntos, CC y PMP definen el rango de agua que las plantas pueden extraer del suelo, lo que se conoce como agua disponible para las plantas.

El término CC tiene muchas connotaciones. Los primeros investigadores reconocieron que había un punto en el que el agua se movía lentamente después de una lluvia o un riego (Taylor, 1972). Querían asignar un valor a este punto y, por lo tanto, se desarrolló el concepto de CC. En muchos suelos, tras una lluvia o un riego, el suelo empieza a drenar inmediatamente hacia las profundidades. Al cabo de uno o dos días, el contenido de agua del suelo alcanzará, con el tiempo, para muchos suelos, un valor casi constante para una determinada profundidad en cuestión. Este valor algo arbitrario del contenido de agua, expresado en porcentaje, se denomina CC (Kirkham, 2005). No se sabe quién utilizó por primera vez el término CC. El término no fue utilizado por Briggs y Shantz (1912), que desarrollaron el concepto de punto de marchitamiento. Briggs definió el «equivalente de humedad», que era la cantidad de agua retenida contra la centrifugación del suelo a $3000 \times g$, donde g es la aceleración debida a la gravedad (Landa et al., 2003). El término ya no se acepta (*Soil Science Society of America*, 1997), pero fue un precursor de la idea de CC. La CC es principalmente una función de las características del suelo, mientras que el punto de marchitamiento permanente es el producto de una combinación de factores de la planta, el suelo y la atmósfera (Tolk, 2015).

Objetivos

Dado que el espacio geográfico de México abarca una gran variedad de suelos y ecosistemas, el uso de técnicas avanzadas de inteligencia artificial como bosques aleatorios es esencial para generar estimaciones precisas de los umbrales de CC y PMP.

En este trabajo abordamos el uso de la técnica de inteligencia artificial de bosques aleatorios para calcular los umbrales de CC y PMP. Para ello, se utilizaron las funciones de pedotransferencia de densidad aparente, contenido de arcilla y contenido de arena, publicadas por Soilgrids.

Materiales y Métodos

Origen de los datos

En este estudio evaluamos el rendimiento de las funciones de pedotransferencia (PTF) utilizando los datos almacenados en *SoilGrids 2.0*. *SoilGrids* es un sistema de cartografía digital global del suelo que utiliza los métodos más avanzados de aprendizaje automático para cartografiar la distribución espacial de las propiedades del suelo en todo el mundo. Los modelos de predicción de *SoilGrids* se ajustan utilizando más de 230,000 observaciones de perfiles de suelo de la base de datos *WoSIS*, más una serie de covariables medioambientales. Las covariables se seleccionaron a partir de un conjunto de más de 400 capas medioambientales de productos derivados de la observación de la Tierra y otra información medioambiental que incluye el clima, la cubierta terrestre y la morfología del terreno. Los resultados de *SoilGrids* son mapas globales de las propiedades del suelo en seis intervalos de profundidad estándar (0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200 cm) con una resolución espacial de 250 m. Los mapas *SoilGrids* están a disposición del público bajo la licencia CC-BY 4.0 License.

Preparación de los datos

Mediante el módulo *merge* se obtuvieron mosaicos de imágenes raster para cada una de las PTF obligatorias. Éstas fueron: densidad aparente del suelo (g/cm^3), Contenido de arcilla (%); fracción de partículas de suelo <0.002 mm de diámetro y contenido de arena (%), fracción de partículas de suelo >0.05 mm de diámetro. Los preceptos de cálculo se obtuvieron a partir de ecuaciones de pedotransferencia que calculan las propiedades hidráulicas del suelo a partir de la textura del suelo, la densidad aparente y, en ocasiones, el carbono orgánico (figura 1).

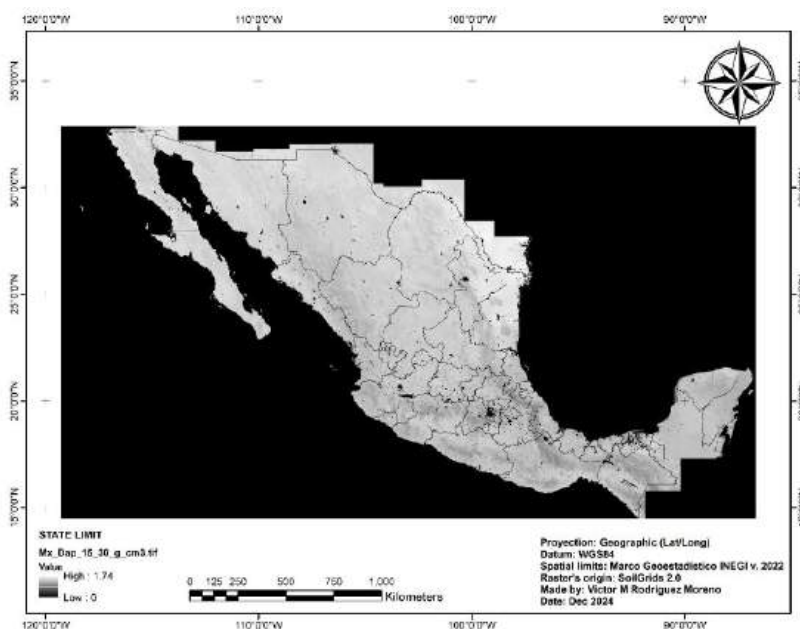


Figura 1. Mosaico de imágenes raster. Densidad aparente (g/cm^3) a 15-30 cm de profundidad.

Todos los mosaicos se obtuvieron por separado, por función de pedotransferencia (densidad aparente, contenido de arena y contenido de arcilla) en cada una de las seis profundidades disponibles. Las PTF relacionan las propiedades físicas y texturales del suelo para estimar la CC y la PMP. Estas ecuaciones se derivan empíricamente y varían según el conjunto de datos y la región.

Para evaluar el rendimiento en la prueba se interpretaron el RMSE (Error Medio Cuadrático) y el MAE (Error Medio Absoluto). Lo ideal es que el RMSE sea inferior al 10% del valor objetivo medio para obtener una gran precisión. El MAE suele ser menor que el RMSE y debe situarse entre el 5% y el 10% de la media de la variable objetivo.

Ecuaciones aplicadas

$$CC(\%) = 0.7919 + (0.001691 \cdot \text{arcilla}) - (0.29619 \cdot \text{densidad aparente}) - (0.000001491 \cdot \text{Arena}^2)$$

Donde:

El intercepto (0.7919), representa la CC de referencia cuando las demás variables (arcilla, arena y densidad aparente) están a cero. Se trata de una constante de calibración obtenida a partir de un modelo de regresión.

El contenido de arcilla (0.001691, indica la contribución de las partículas de arcilla a la capacidad de retención de agua del suelo. La arcilla tiene partículas muy finas que crean pequeños poros que retienen el agua contra la gravedad.

La densidad aparente (-0.29619, refleja la relación inversa entre la densidad aparente y la CC. Una mayor densidad aparente implica más compactación y menos espacio poroso para el almacenamiento de agua. Por último, el contenido de arena al cuadrado (-0.000001491), capta el efecto no lineal de la arena sobre la CC. Los suelos arenosos, con partículas grandes y macroporos, drenan rápidamente. El término al cuadrado ajusta los efectos decrecientes de la arena en proporciones muy altas. $R^2=0.78$; $MAE=0.063$; $RMSE=0.09$).

$$PMP(\%) = 0.15 + (0.0038 \cdot \text{arcilla}) - (0.0029 \cdot \text{arena}) + (0.0000034 \cdot (\text{arena}^2)) - (0.0000035 \cdot (\text{arcilla}^2))$$

Donde:

El intercepto (0.15), representa el punto de marchitamiento permanente de referencia cuando las demás variables (arcilla y arena) están a cero. Al igual que la CC, es una constante derivada de la regresión. El contenido de arcilla (0.0038), representa la contribución de las partículas de arcilla a la retención de agua en el punto de marchitamiento permanente. La arcilla retiene fuertemente el agua, haciendo que no esté disponible para las plantas. El contenido de arena (-0.0029), indica el impacto negativo de la arena en la retención de agua del suelo en el PMP. Los suelos arenosos retienen muy poca agua a bajos niveles de humedad. El contenido de arena al cuadrado (0.0000034), ajusta el efecto no lineal de la arena. En proporciones de arena muy altas, este término tiene en cuenta el aumento marginal de la retención de agua debido a las partículas de arena más finas. Finalmente, el contenido de arcilla al cuadrado (-0.0000035), refleja el efecto decreciente de la arcilla sobre la retención de agua cuando el contenido de arcilla es muy elevado. El exceso de arcilla puede reducir la disponibilidad de agua debido a la compactación y a la fijación del agua. $R^2=0.63$; $MAE=0.051$; $RMSE=0.05$.

Resultados y Discusión

Imágenes raster de salida

Acerca de la figura 2 y la figura 3, los archivos tienen una resolución espacial de 250 m, ocupan un volumen de almacenamiento de 503 Mbytes cada uno. El volumen de datos representa archivos individuales de 321,193,808 registros, con un volumen conjunto de ocupación de ~5,89 Gbytes.

La generación de datos espaciales geográficos a escala mundial es una realidad que no debe ignorarse. Los recursos informáticos y las técnicas de tratamiento de datos avanzan a pasos agigantados. La teledetección ha revolucionado los estudios medioambientales, permitiendo a los científicos recopilar datos exhaustivos sobre la superficie y la atmósfera de la Tierra (Khan, 2024). Los usos de los datos van desde el monitoreo de la tasa de deforestación y la cartografía de la expansión urbana, hasta la evaluación del estado de las etapas fenológicas de la estación de crecimiento de los sistemas de producción agrícola, pecuario y forestal. A la par del impresionante ritmo de generación de datos, las técnicas de modelización de la ciencia de datos y el diseño informático se desarrollan y adaptan casi al mismo ritmo. Es importante señalar que, así generados los valores umbrales inferior y máximo de humedad en el suelo, tienen un alto valor científico.

SoilGrids, aunque no es una fuente de datos de origen en muestreos de campo, proporciona datos fundamentales para abordar los retos mundiales de la sustentabilidad y el clima. Sus limitaciones pueden mitigarse con conjuntos de datos complementarios, verificación sobre el terreno y la integración de técnicas avanzadas como la modelización de bosques aleatorios. Aprovechando *SoilGrids* de forma inteligente, se puede documentar la toma de decisiones informadas para promover la resiliencia y la sostenibilidad en un

mundo que cambia rápidamente. El cálculo de la CC y la PMP a partir de imágenes de *SoilGrids* proporciona información valiosa para diversas aplicaciones científicas y prácticas. Sin embargo, como cualquier enfoque basado en datos modelados e interpolados, presenta ventajas e inconvenientes.

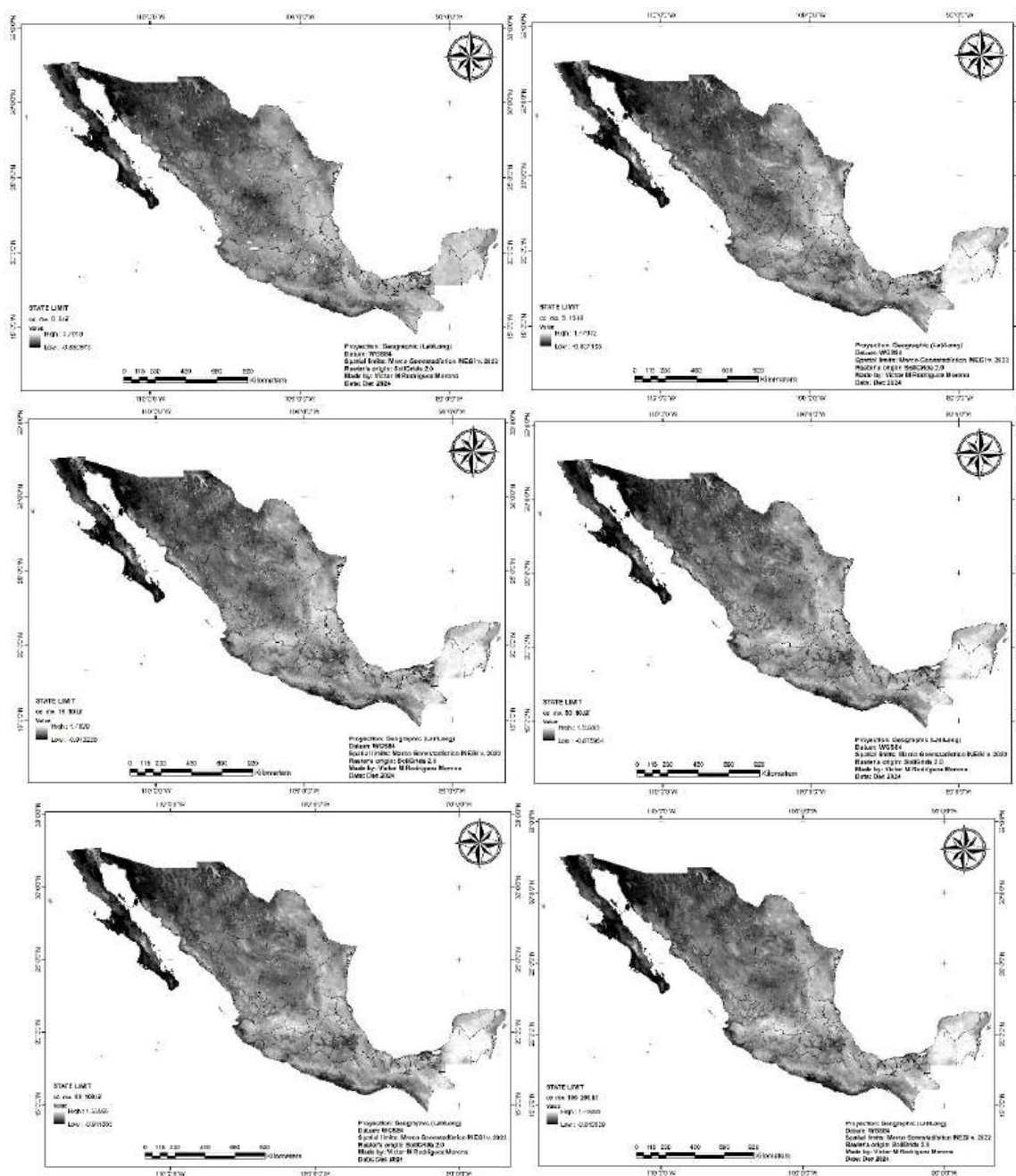


Figura 2. Imágenes de salida de CC. Desde arriba a la izquierda hasta abajo a la derecha, cada imagen corresponde a una profundidad: 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200 cm.

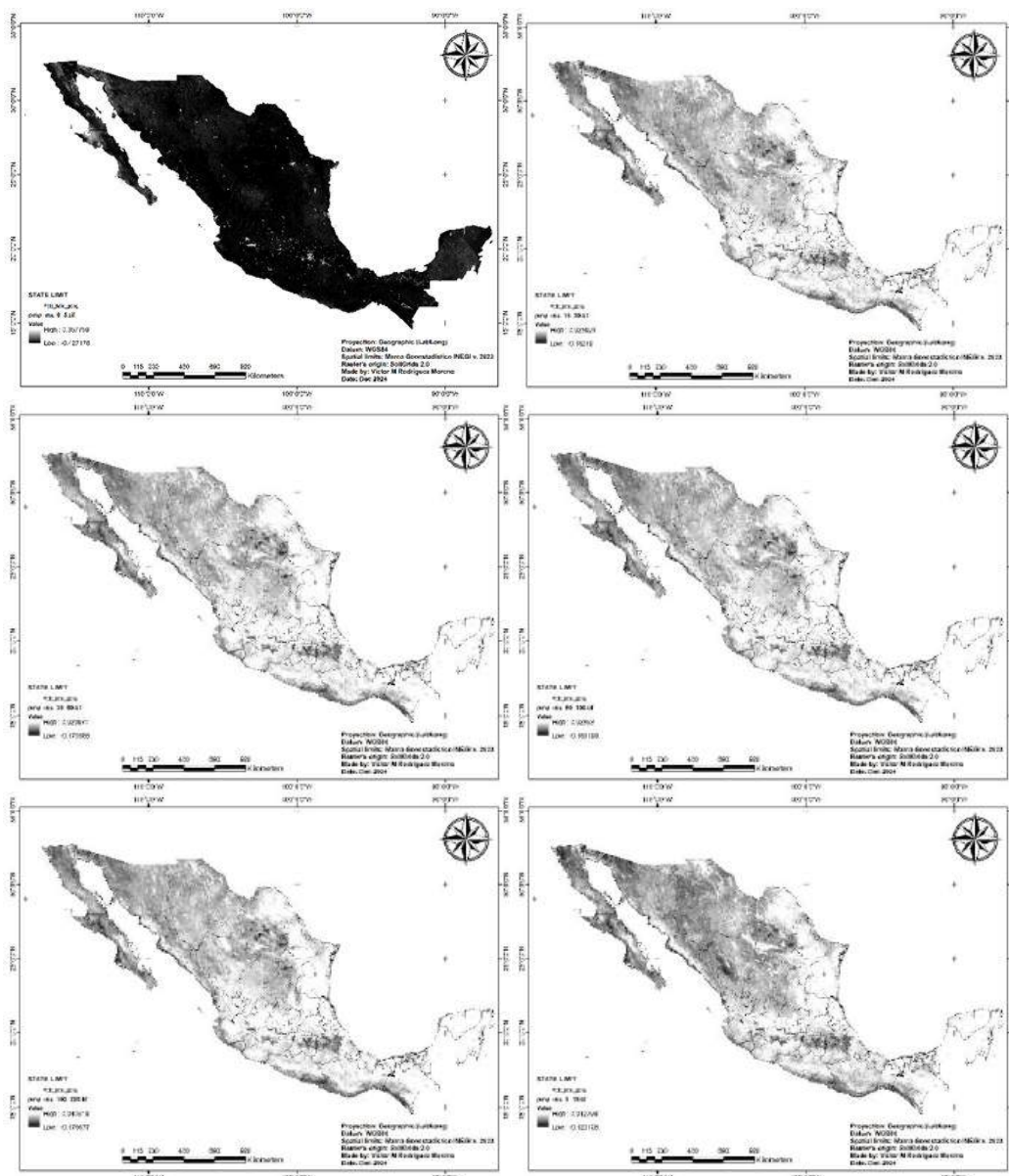


Figura 3. Imágenes de salida del PMP. Desde arriba a la izquierda hasta abajo a la derecha, cada imagen corresponde a una profundidad: 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-100, 100-200 cm.

Conclusiones

A pesar de sus limitaciones, *SoilGrids* es un recurso indispensable para las aplicaciones a gran escala para abordar en alcance, los objetivos para el Desarrollo Sustentable (ODS) y la investigación sobre el mejorar la eficiencia en el uso del agua y la conservación del recurso suelo. Con este conjunto de datos, se cubren lagunas críticas de disponibilidad de datos, especialmente en regiones con información limitada sobre el suelo. Sin embargo, su uso eficaz requiere una comprensión clara de sus limitaciones y métodos apropiados para abordarlas. El conjunto de datos de CC y PMP en México es fundamental para las aplicaciones interdisciplinarias en la agricultura inteligente. Los umbrales CC y PMP ofrecen una amplia utilidad a través de programas de sostenibilidad, hidrología, ecología, agricultura y dominios de cambio climático. Sobre la base de una interpretación adecuada, los umbrales son fundamentales en el impacto de las políticas públicas, permite decisiones basadas en datos para la gestión sostenible de los recursos y

la base para futuras investigaciones, sirviendo como un insumo clave para el modelado y la predicción de las interacciones del suelo y las plantas bajo presiones climáticas y antropogénicas cambiantes.

Agradecimientos

Sirva el presente para manifestar un agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo técnico, económico y administrativo para la realización de este manuscrito.

Fuente financiadora

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Proyecto “Desarrollo de servicios web para compartir datos de indicadores del clima y parámetros del suelo a gran escala de México” SIGI: 134696863

Referencias bibliográficas

Tolk, J.A. Soils, Permanent Wilting Points. 2015. Encyclopedia of Water Science DOI: 10.1081/E-EWS 120010337.

Taylor, S.A.; Ashcroft, G.L. Physical Edaphology: The Physics of Irrigated and Nonirrigated Soils, p. 301, 1972 by W.H. Freeman and Company. Used with permission

Kirkham, M.B. Chapter 8 - Field Capacity, Wilting Point, Available Water, and the Non-Limiting Water Range. In Principles of Soil and Plant Water Relations. Book. 2005. Academic Press. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409751-3.X5000-2>.

Briggs, L.J.; Shantz, H.L. The Wilting Coefficient for Different Plants and Its Indirect Determination; USDA Bureau of Plant Industry Bull. No. 230, Government Printing Office: Washington, DC, 1912; 83 pp.

Landa, E.R.; Nimmo, J.R. The life and scientific contributions of Lyman J. Briggs. Soil Science Society of America Journal 2003, 67(3), pp.681-693.

Khan, R.M. The Critical Role of Ground-Based Data in Regression Model Accuracy for Remote Sensing Applications. <https://geoawesome.com/eo-hub/the-critical-role-of-ground-based-data-in-regression-model-accuracy-for-remote-sensing-applications/> [Accessed: 15/01/2024].



CROMATOGRFÍA DE PFEIFFER: UNA HERRAMIENTA OBJETIVA PARA EL ANÁLISIS BIOLÓGICO DE SUELOS EN AGROECOSISTEMAS

Israel Dionicio-y de Jesús¹, Beatriz Quiroz-González^{1*}, Sebastiao Pinheiro², Baldomero H. Zárate-Nicolás¹, José Navarro-Antonio¹, Javier Castillo-Cabrera², Mary Carmen Pacheco- Esteva^{1*}

¹Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca, México. ²Fundación Juquira Candiru, Rio Grande Do Sul, Brasil. ²Município de San Pedro Comitancillo. Dirección de Educación, Oaxaca, México

*Autor para correspondencia: mqmarypacheco@gmail.com

Palabras clave. Salud del suelo, diagnóstico participativo, ácidos húmicos.

Introducción

El suelo es uno de los recursos naturales más afectados por la degradación a nivel global, en gran parte debido al uso intensivo de agroquímicos y fertilizantes de síntesis en la agricultura. Su calidad es clave para mantener el equilibrio de los ecosistemas, así como para garantizar una agricultura sostenible y proteger la salud humana y animal. En este contexto, la degradación del suelo representa un desafío crucial para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible, por lo que la evaluación de su calidad se ha vuelto una prioridad esencial.

A pesar de la creciente importancia de los indicadores biológicos en la evaluación de la salud del suelo; los métodos convencionales tales como los fisicoquímicos y microbiológicos, que requieren tecnología avanzada suelen ser costosos, complejos y poco accesibles para agricultores, técnicos o comunidades rurales. Esto limita la capacidad de diagnóstico oportuno y participativo en agroecosistemas. Los métodos visuales para la evaluación de la calidad estructural del suelo han ganado relevancia por ser prácticos y de bajo costo, fácil reproducibilidad en el campo, lo que ayuda a los agricultores a tomar decisiones con respecto a las necesidades de sus cultivos. En este contexto, la técnica de cromatografía circular de Pfeiffer permite evaluar la calidad biológica del suelo de forma económica, accesible, efectiva, visual y comprensible. Dicha técnica muestra indicadores que no pueden ser determinados por análisis cuantitativos tal como la integración e interacción de los componentes químicos, físicos y biológicos de los componentes del suelo. El uso de esta técnica facilita la toma de decisiones, pudiendo emplearse de manera independiente o como complemento a los análisis convencionales. Además, puede ser utilizada para monitorear contantemente el impacto producido por las diferentes prácticas de manejo agrícola.

Algunos estudios han adoptado esta técnica para conocer las condiciones de los cultivos con diferentes tratamientos y los resultados revelaron que la cromatografía circular de Pfeiffer correlaciona los suelos de acuerdo con el distinto manejo agronómico aplicado (Perumal et al. 2016 Medina Saavedra et al. 2018). Por otro lado, Herrera Toapanta 2022, utilizo dicha técnica para mostrar ausencias vinculadas a la fertilidad.

Objetivo

Evaluar la utilidad de la cromatografía circular de Pfeiffer como una herramienta alternativa, económica y objetiva para el análisis biológico de suelos, con énfasis en su capacidad para reflejar la actividad microbiológica, la biodisponibilidad de minerales y el estado de la materia orgánica en suelos de agroecosistemas.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

Se recolectaron muestras compuestas de suelos agrícolas y se entrevistó a los campesinos para conocer el tipo de manejo aplicado (convencional o agroecológico) en Oaxaca y Veracruz. Se registraron datos sobre el cultivo establecido y el tipo de insumos utilizados, tales como síntesis química, orgánica o agroecológica. En este documento sólo se presentan algunos ejemplos ilustrativos.

Toma de muestras: etapa en campo

0.5 kg de muestra de suelo se recolectaron a diferentes profundidades, de acuerdo con la profundidad de la raíz del cultivo. Las muestras se colocaron en bolsas de papel y se llevaron al laboratorio, donde se secaron a temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) en un lugar seco y a la sombra.

Análisis biológico: etapa en laboratorio

Se siguió la metodología descrita por Kokornaczyk *et al.* (2017) para evaluar la calidad de los suelos, con las siguientes modificaciones: se empleó papel filtro Whatman No. 4 de 15 cm de diámetro, perforado en el centro con un sacabocados de 2 mm. Se marcaron los límites de impregnación del nitrato de plata a 4 y 6 cm del centro utilizando una aguja de acero inoxidable. El pabito de 2 × 2 cm se insertó en la perforación central y se colocó sobre dos cajas de Petri; una interna de 5 cm de diámetro que contenía la solución de nitrato de plata al 0.5%, y otra externa de 10 cm de diámetro que funcionó como soporte. El papel filtro se dejó en reposo durante 4 h en una caja oscura para su impregnación.

Para la preparación de la muestra, se tamizó 100 g de suelo seco con una malla de 4 mm, después, se trituraron ligeramente durante 10 min y se volvió a tamizar con una malla de 0.4 mm. De este material fino se tomaron 5 g, que se disolvieron en 50 mL de una solución al 1% de hidróxido de sodio. La mezcla se agitó manualmente alternando el sentido de giro (6 veces a la izquierda y 6 veces a la derecha), con reposos de 15 min, 1 h y 6 h entre cada ciclo.

Finalmente, el sobrenadante se aplicó por capilaridad sobre el papel previamente impregnado con nitrato de plata hasta los 6 cm marcados. Posteriormente, se retiró el pabito y el cromatograma se dejó secar horizontalmente a la sombra durante siete días.

Interpretación

La interpretación cualitativa de la actividad biológica del suelo se visualizó en 3 zonas de los cromatogramas: central, media y externa. La actividad microbiana se representó por la presencia o ausencia de la zona central blanca. La biodisponibilidad de minerales se identificó en la zona media con la aparición de rayos extendiéndose desde el centro hacia la zona de la materia orgánica. La transformación de la materia orgánica en ácidos húmicos y fúlvicos se observó a través de una coloración marrón oscura y las ondulaciones en la zona externa, lo que señala una buena actividad enzimática y proteica. La presencia de manchas adicionales al final del cromatograma indicó la presencia de ácidos húmicos (Kokornaczyk *et al.*, 2017).

Resultados y Discusión

En la figura 1, se presentan los cromatogramas de Milpa, limón persa, Sorgo, Tunillo y Café con diferentes tratamientos aplicados. En los cromas 1A y 1B es evidente la compactación de suelo, lo que impide el desarrollo de la zona central, media y externa. La zona central de la figura 1A es blanca y pequeña, lo que sugiere baja actividad microbiana y escasa oxigenación. Este patrón es típico de suelos compactados o asfixiados, donde predomina una atmósfera reductora. Además, el color negro (o marrón oscuro) en la periferia del centro blanco puede indicar acumulación de compuestos nitrogenados no metabolizados, que reaccionan con el reactivo formando complejos oscuros. La zona media muestra la ausencia de reacciones visibles con el nitrato de plata, lo que sugiere una deficiencia de minerales biodisponibles, particularmente de cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ o K^{+} , que suelen formar precipitados oscuros o halos en esta zona. Por su parte en la zona externa se aprecia con un halo marrón más oscuro, sin los típicos patrones radiales asociados a materia orgánica activa y colonización microbiana (figura 1A). Esto indica un suelo estructuralmente pobre, posiblemente con relación C: N desequilibrada y materia orgánica en estado de descomposición incompleta. La ausencia de dientes o estructuras dentadas sugiere inhibición enzimática y poca diversidad de macromoléculas funcionales (proteínas, enzimas, polisacáridos). El tono grisáceo tenue puede deberse a residuos de glifosato o paraquat, los cuales interfieren en las reacciones redox del nitrato de plata, inhiben enzimas oxidativas del suelo y bloquean rutas metabólicas microbianas.

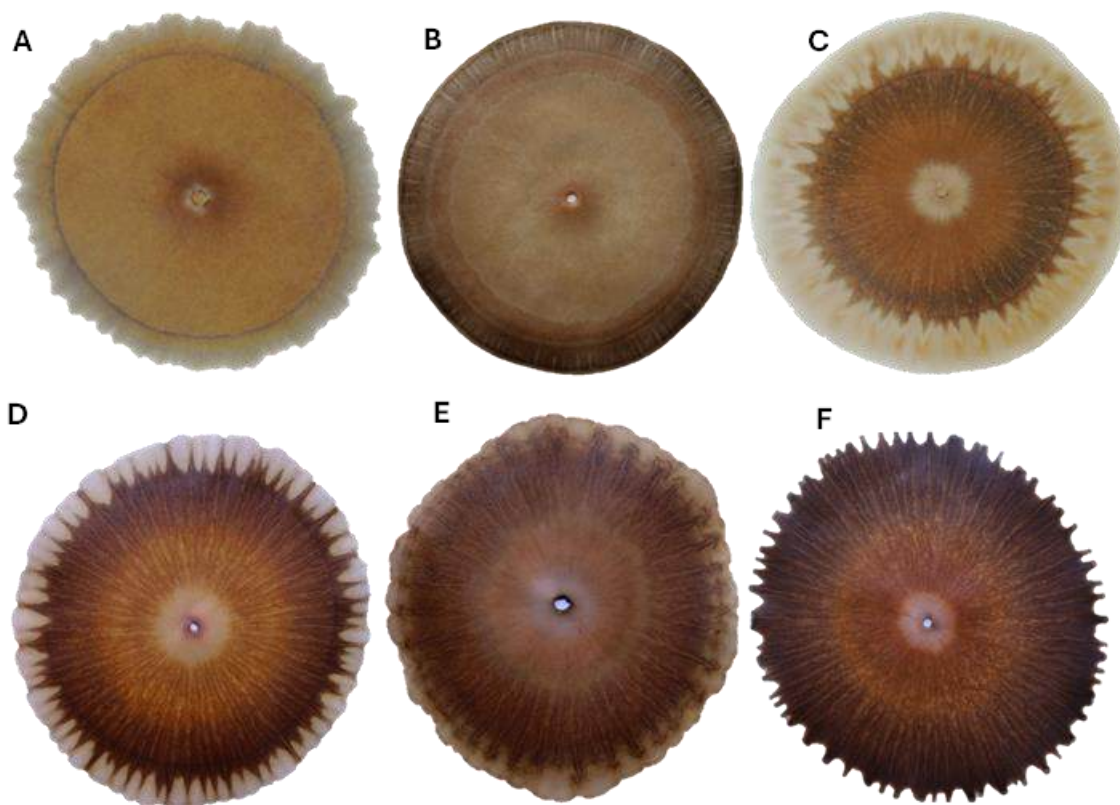


Figura 1. Cromatogramas de suelos de cultivo de A) Milpa, 30 cm, urea, sulfato diamónico y Glifosato. B) Sorgo, 30cm, en proceso de regeneración del suelo. C) Limón persa, 30 cm, acolchado y aplicación de harina de roca y minerales quelatados durante los últimos dos años. D) Tunillo, 15 cm, urea. E) Café, 30 cm, se aplica fertilizantes de síntesis química y hace 4 años se dejó de aplicar Glifosato. F) Tunillo, 15 cm, aplicó Glifosato hace 3 años.

En el cromatograma de suelo de cultivo de sorgo (figura 1B) se aprecia muy poca oxigenación y casi imperceptible actividad microbiológica, por la pequeña zona con coloración blaquescina. Consecuentemente en la zona de los minerales se muestra ausencia de líneas, esta carencia de patrones visibles sugiere una marcada deficiencia en la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas y la microbiota del suelo. En la externa, la materia orgánica aparece claramente bloqueada en su proceso de transformación. La falta total de estructuras dentadas confirma que la materia orgánica se acumula, pero no se transforma ácidos húmicos y fúlvicos que mejoran la fertilidad del suelo.

En la figura 1C, la presencia de una zona central bien definida evidenció actividad microbiológica que indica buena oxigenación del suelo. Este patrón sugiere que las prácticas de manejo evitan la compactación y consecuentemente promueven una adecuada actividad microbiana rizosférica. La aparición de líneas en la zona media confirma la efectiva biodisponibilidad de nutrientes, no obstante, una mayor biodisponibilidad se relaciona con líneas que salen inmediatamente después del centro. En la zona externa, los patrones dentados (en forma de aguja) junto con la presencia de ácidos húmicos y fúlvicos demuestran que existe una actividad enzimática capaz de transformar la materia orgánica para favorecer los procesos de humificación.

La zona central de la figura 1D puede confundirse con una buena oxigenación y elevada actividad microbiológica; sin embargo, la formación de este centro, ligeramente mayor en tamaño, se debe a la presencia de urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), la cual, al hidrolizarse, genera NH_4^+ y OH^- , elevando localmente el pH (>8.5). En este medio alcalino, el AgNO_3 forma Ag_2O (óxido de plata), el cual precipita en el centro del cromatograma. En cambio, otros complejos solubles de plata, como el monoamino y diamino plata (complejos que se forman con la urea), pueden migrar hacia zonas más externas debido a los gradientes

químicos. La tonalidad morada en el centro blanco del cromatograma señala condiciones anaeróbicas en el suelo, causadas por exceso de humedad, compactación o mal manejo de fertilizantes nitrogenados. Este color característico aparece cuando bacterias como *Pseudomonas* y *Clostridium* metabolizan compuestos nitrogenados (como urea) en ambientes sin oxígeno, reduciendo los iones de plata (Ag^+) a nanopartículas metálicas (Ag^0) y se intensifica por la acumulación de amonio (NH_4^+) por bloqueo de la nitrificación.

El cromatograma (figura 1E) revela una zona central que evidencia condiciones de baja oxigenación en el suelo. Aunque se distingue un núcleo blanquecino característico, la presencia simultánea de tonalidades moradas sugiere dos factores determinantes: la aplicación reciente de urea y la probable acumulación de residuos de glifosato. Esta interpretación se refuerza al observar la desconexión evidente entre la zona central y la zona mineral, lo que indica una marcada reducción en la biodisponibilidad de nutrientes esenciales. Este cuadro cromatográfico tiene importantes implicaciones biológicas, ya que la combinación de estos factores inhibe significativamente la actividad microbiana responsable de los procesos de humificación, particularmente la producción de ácidos húmicos

A pesar de que el campesino indicó que hace 3 años aplicó herbicida, el cromatograma (figura 1F) revela una buena calidad biológica del suelo, coherente con su historial de bajo manejo (solo tres años en uso). Los minerales siguen mostrando buena biodisponibilidad y la materia orgánica presenta un adecuado proceso de transformación.

Conclusiones

Los cromatogramas evaluados revelan una estrecha relación entre el manejo agronómico del suelo y sus características biológicas. Los patrones observados no son aleatorios, muestran una respuesta de manera coherente a factores como la compactación, el desbalance nutricional y la presencia de inhibidores enzimáticos. Esta correspondencia confirma que la cromatografía de Pfeiffer no es solo una técnica descriptiva, sino una herramienta analítica objetiva que refleja, de manera integrada, el impacto del manejo agrícola en la salud del suelo.

La técnica permite identificar problemas que suelen pasar inadvertidos en análisis convencionales, como la inhibición microbiana por agroquímicos o la falta de activación biológica de la materia orgánica. Así, la cromatografía de Pfeiffer se posiciona como un método accesible y revelador para diagnosticar suelos agrícolas desde un enfoque ecosistémico, vinculando directamente las prácticas de manejo con la funcionalidad biológica.

Futuros estudios podrían enfocarse en su estandarización y complementariedad con análisis instrumentales, como espectrometría de masas, lo que permitiría disecar zonas específicas del cromatograma e identificar residuos o metabolitos de plaguicidas como el glifosato. Esto abriría nuevas posibilidades en el monitoreo de contaminantes, especialmente en ecosistemas estratégicos como los manglares, altamente expuestos a la deriva química y esenciales para la mitigación climática. Con ello, la cromatografía podría convertirse no solo en una herramienta de diagnóstico agronómico, sino en un puente para el desarrollo de políticas públicas orientadas a la salud del suelo y la resiliencia ecosistémica.

Agradecimientos

A los campesinos que donaron las muestras para realizar los análisis de suelo de Oaxaca y Veracruz

Fuente financiadora

Secretaría de Investigación y Posgrado (SIP 20251114) y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Beca (385219)

Referencias bibliográficas

Herrera Toapanta, L. M. (2022). Caracterización de suelos mediante la técnica de cromatografía en papel en el área de influencia del sistema de agua de riego canal central Toacaso, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. Proyecto de investigación presentado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latancunga.

Kokornaczyk, M. O., Primavera, F., Luneia, R., Baumgartner, S., & Betti, L. (2017). Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. *Biological Agriculture & Horticulture*, 33(3), 143-157.

Medina Saavedra, T., Arroyo Figueroa, G., & Peña Caballero, V. (2018). Chromatography of Pfeiffer in the analysis of soils of productive systems. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(3), 665-673.

Perumal *et al.* (2016). Innovative and simplest alternative analytical technology (AAT) for testing soil nutrients, *Journal of Soil Science Research* 1(1).



ACUMULACIÓN DE RAÍCES “*IN SITU*” CON AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN COMO ALTERNATIVA PARA INCREMENTAR LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Miguel Ángel Martínez-Gamiño^{1*}, Esteban Salvador Osuna-Ceja², Erika Nava-Reyna³, José Pimentel-López⁴

¹INIFAP, CIRNE-CE San Luis. ²CIRNOC, CE Pabellón. ³CENID RASPA. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí

*Autor para correspondencia: martinez.miguelangel@inifap.gob.mx

Palabras clave. Raíces, suelo, fertilidad.

Introducción

Por más de 50 años, los suelos del Altiplano de México se han barbechado y rastreado. El resultado de estas acciones es la destrucción de la estructura del suelo y un pobre contenido de materia orgánica y su calidad biológica (Martínez *et al.*, 2019). La producción agrícola está relacionada con la salud del suelo, y la materia orgánica es un detonante para la actividad biológica del suelo y su principal indicador, además de que un suelo productivo es la mejor defensa de los productores a siniestros climáticos, por lo que al incrementar la materia orgánica y la actividad biológica en el suelo y mejorar su estructura son factores que permitirán dar respuestas sostenibles a la seguridad alimentaria, los efectos del cambio climático y la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. La agricultura de conservación es una alternativa que permite el incremento de la materia orgánica del suelo (García *et al.*, 2018).

Objetivos

Evaluar el efecto de la agricultura de conservación en la acumulación de raíces “*in situ*” para incrementar la materia orgánica del suelo.

Materiales y Métodos

En 1995 se estableció, en el Campo Experimental San Luis, un experimento con diferentes métodos de labranza. En el ciclo primavera-verano de 2024 se realizó una evaluación del aporte de raíces del cultivo de maíz al perfil del suelo en los siguientes tratamientos: 1) barbecho más rastra (B+R), 2) recuperación del suelo con agricultura de conservación a partir de 2019 (RAC) y 3) agricultura de conservación desde 1995 (AC). Cada año se ha realizado una rotación de cultivos con maíz en el ciclo de primavera-verano y avena forrajera durante el otoño-invierno. El material genético que se sembró fue el híbrido Espartaco con una densidad de siembra de 70,000 plantas por hectárea y se fertilizó con la fórmula 200(N)-100(P)-00(K)-10(Mg)-48(Fe)-8(B). Al final del ciclo vegetativo se tomaron tres bloques de suelo 0.30 x 0.30 x 0.30, cada uno con una planta de maíz al centro. Se separó la raíz del cultivo de maíz y los restos de raíces visibles de ciclos anteriores mediante lavado y tamizado. El material vegetativo registrado se pesó en fresco y se secó en estufa a 65°C por 48 horas. Los resultados se analizaron con el paquete estadístico de SAS.

Resultados y Discusión

En la figura 1 se presenta el peso seco (t ha⁻¹) de la raíz al final del ciclo de maíz en primavera-verano del 2024 con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis, y en donde el análisis estadístico reportó diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos, favorable en un 100% en el peso de la raíz en el tratamiento con AC en relación al obtenido con el tratamiento de B+R. Esta diferencia se explica como un efecto acumulativo de 29 años de no barbechar el suelo y de acumular la biomasa de la raíz del cultivo de maíz en la misma zona de siembra durante el ciclo primavera-verano, además de la raíz de la avena forrajera durante el ciclo otoño-invierno. Este aporte constante de la biomasa de la raíz dos ciclos por año, incidió en mejorar la calidad del suelo representada por una mayor porosidad, mayor contenido de carbono orgánico, menor compactación, mayor número de lombrices y cochinillas (Onicideos) y mayor estabilidad de agregados del suelo en seco y húmedo en relación a las mismas variables reportadas en el tratamiento con B+R (Martínez *et al.*, 2022). Estas condiciones favorecieron para que la raíz de maíz se desarrollara mejor en el tratamiento con AC que con el tratamiento con B+R. Para el caso del tratamiento con AC, las

12.23 t ha⁻¹ son un aporte de biomasa al suelo muy importante, pues se quedan localizadas en la zona de siembra, la cual se ha ido mejorando con el aporte de dos ciclos al año de raíces de maíz y avena forrajera. En cambio, con el tratamiento con B+R, las 6.00 t ha⁻¹ se mezclan con el suelo al barbecharse y rastrearse el suelo antes de la siembra de cada cultivo.

Cuando se barbecha un suelo, el volumen de suelo removido en una hectárea, a 0.3 m de profundidad y una densidad aparente de 1.4 g cm⁻³, es de 4,200 t, por lo que el porcentaje que representan las 6.0 t ha⁻¹ de raíces secas del ciclo PV 2024 es de solo 0.1429%, porcentaje menor al 0.4% sugerido por la FAO en 2017 como la cantidad mínima de aporte de biomasa al suelo al año para evitar la degradación del suelo a causa de la disminución de la materia orgánica. Es tradicional, que en el Altiplano de San Luis, los productores de maíz retiren todo el rastrojo, por lo que solo quedan los tocones de las raíces, los cuales al invertir el perfil del suelo con el barbecho prácticamente se pierden por su bajo volumen en peso en relación al volumen de suelo removido, además de que al invertir el perfil del suelo se promueve la oxidación de la materia orgánica y la liberación del carbono orgánico del suelo como CO₂.

En cambio, con la AC, el perfil del suelo no se ha invertido en 29 años, por lo que las raíces de los cultivos de maíz y avena se han acumulado en zonas fijas de siembra, debido al uso de camas permanentes de 1.65 m de ancho y en donde se siembra en dos hileras separadas 0.825 m entre sí. En estas zonas fijas de siembra, el volumen de suelo que se debe considerar es el comprendido en las franjas de siembra a 0.25 m de ancho por 100 m de longitud, 0.3 m de profundidad y una densidad aparente de 1.1 g cm⁻³, lo cual da un volumen de suelo de 8.25 t ha⁻¹ por hilera o de 998.25 t en las 121 hileras de una hectárea. Para el ciclo PV 2024, la cantidad de material orgánico que se acumuló en esta zona de siembra fue de 12.0 t ha⁻¹, lo que equivale a 1.2021%, es decir, tres veces más que la recomendación de la FAO de 0.4%. Es importante considerar que en las zonas fijas de siembra hay restos orgánicos de raíces de maíz y avena en proceso de descomposición, los cuales juegan un papel importante en la mejora de la calidad del suelo en este tratamiento en comparación al suelo con B+R.

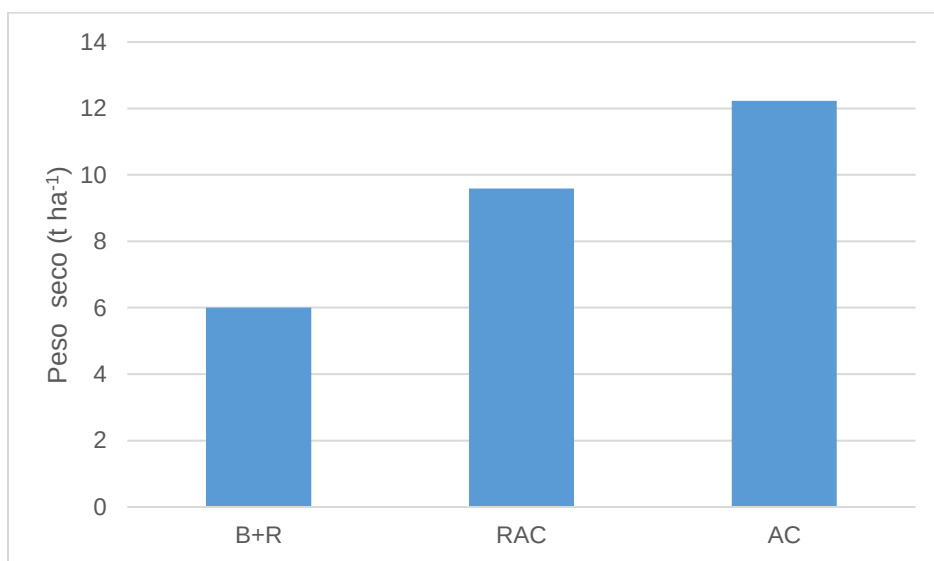


Figura 1. Peso seco de la raíz al final del ciclo de maíz en primavera-verano del 2024 con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis.

En la figura 2, se presenta el peso de los restos de las raíces (t ha⁻¹) de ciclos anteriores de los cultivos de maíz y avena con diferentes métodos de labranza y en donde el análisis estadístico reportó diferencias ($p < 0.05$) entre tratamientos, favorable en más del 100% con AC en relación al de B+R. Lo anterior se explica como la acumulación de la biomasa de raíces en la zona fija de siembra, mientras que al barbechar el suelo dos veces al año impide su acumulación en una zona fija, además de que el peso de la raíz en B+R es menor en cada ciclo al reportado con AC tal como ya se discutió para el ciclo 2024. Además de presentar diferencias estadísticas entre tratamientos, es notorio como hay una tendencia similar al peso de la raíz, aunque en este caso, el tratamiento con recuperación, RAC, solo muestra la acumulación de raíces de los últimos cinco años y no reporto diferencia con el barbecho más rastra. Pero la diferencia entre el B+R y la

AC fue igual del 100% como en las raíces. Esto indica que, en la franja de siembra con AC, hay una acumulación de biomasa radical que favoreció el desarrollo de la raíz en el tratamiento con AC.

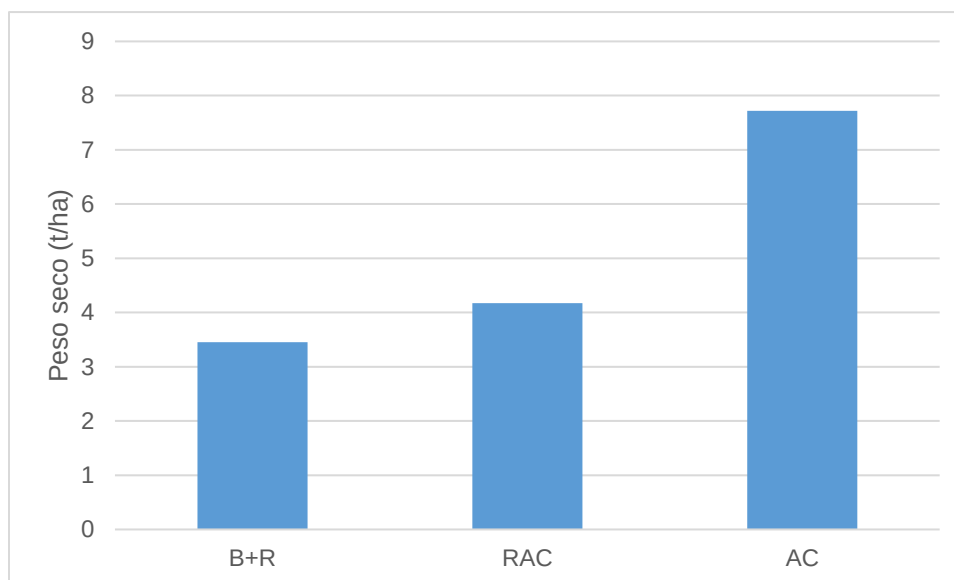


Figura 2. Biomasa en peso seco de la raíz acumulada de los cultivos de maíz y avena de 1995 al 2024 con diferentes tratamientos de labranza en el Campo Experimental San Luis.

Al sumar la biomasa de raíces acumuladas y la del ciclo 2024, el total con AC es de 19.946 t/ha contra 9.457 T/ha del B+R. Esta cantidad de biomasa acumulada en la zona de siembra con AC genera un ambiente contrastante en materia prima para aportar materia orgánica al suelo, mientras que en el B+R aun cuando se lleguen a acumular casi 9.5 t/ha de biomasa, está casi se pierde en el volumen de tierra que se mueve al barbechar y rastrear un suelo.

Conclusiones

La AC favoreció la acumulación del material vegetativo de las raíces en el perfil del suelo en la zona de siembra. Cada año se acumulan 20 t ha⁻¹ de raíces en la zona de siembra, mientras que con el B+R, el desarrollo de la raíz se reduce a menos de la mitad, así como la cantidad de raíces acumuladas, por lo que aporte de material vegetativo al suelo es incipiente.

La AC es una alternativa para incrementar la materia orgánica del suelo y mejorar y mantener su fertilidad.

Agradecimientos y fuente financiera

A la Fundación Produce de San Luis Potosí, por su financiamiento de 1996 a 2011.

Al Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo, por su financiamiento de 2012 al 2019 y 2022.

Al INIFAP por las instalaciones del Campo Experimental San Luis.

Referencias bibliográficas

García, D., J. Cárdenas & A. Silva. 2018. Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisols. Rev. Cienc. Agr. 35(1):16-25. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.79>

Martínez-Gamiño, M.A., E.S. Osuna-Ceja y M. Espinosa-Ramírez. 2019. Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. Rev. Mex. Cienc. Agric. Vol.10, no. 4. 765-778. DOI:<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>

CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO ASOCIADO AL TUNILLO (*Stenocereus Stellatus* (Pfeiff.) Riccob.) EN TRES MICRORREGIONES DE OAXACA

Beatriz Quiroz-González, Israel Dionicio-y de Jesús, José Navarro-Antonio*, Mary Carmen Pacheco-Esteva, Baldomero H. Zárate-Nicolás, Carlos Granados-Echegoyen
Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca

*Autor para correspondencia: jnavarroa@ipn.mx

Palabras clave. Cromatografía de Pfeiffer, materia orgánica, ácidos húmicos.

Introducción

El suelo es un sistema dinámico donde la interacción entre componentes físicos, químicos y biológicos determina su fertilidad y capacidad para sostener la productividad agrícola. En el caso del tunillo (*Stenocereus stellatus* (Pfeiff.) Riccob.), una cactácea columnar de importancia ecológica y económica en las zonas áridas y semiáridas de México, la calidad biológica del suelo adquiere especial relevancia debido a su adaptación a condiciones edáficas extremas. Sin embargo, son escasos los estudios que integren indicadores biológicos de calidad de suelos que definan las condiciones funcionales del suelo, especialmente a través de técnicas integradoras como la cromatografía Pfeiffer.

La cromatografía de Pfeiffer se ha consolidado como una técnica eficiente para evaluar cualitativamente la salud del suelo, esto permite visualizar la condición holística del suelo, en cuanto a la actividad microbiana y disponibilidad mineral y de la materia orgánica. A pesar de su potencial para complementar análisis convencionales, la cromatografía ha sido poco explorada en estudios científicos, particularmente en contextos áridos y semiáridos. Su incorporación podría aportar información valiosa para comprender la dinámica edáfica del cultivo de tunillo.

Estudios recientes destacan que los microorganismos (como hongos micorrízicos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal), los ácidos húmicos y la disponibilidad de minerales esenciales (como calcio, magnesio y potasio) son determinantes en la productividad de cactáceas. En particular, la interacción entre estos componentes influye en procesos clave como la retención de humedad, la disponibilidad de nutrientes y la resistencia a estrés hídrico.

Objetivo

Evaluar la calidad biológica del suelo asociado al cultivo de *S. stellatus* mediante la técnica cualitativa de cromatografía de Pfeiffer y la integración de análisis convencionales (pH, ácidos húmicos, nitratos (NO₃), materia orgánica y perfiles microbianos por PLFA), con el fin de identificar patrones edáficos funcionales que favorezcan su desarrollo en contextos áridos y semiáridos.

Materiales y Métodos

Zona de estudio

Se recolectaron muestras de suelos asociados al cultivo de tunillo en tres microrregiones: La Pe, Coatecas Altas y San Baltazar Chichicápam. En cada microrregión se muestrearon tres parcelas.

Toma de muestras, análisis e interpretación de la calidad biológica del suelo

Se colectaron 0.5 kg de suelo a una profundidad de 15 cm. Las muestras se llevaron al laboratorio en bolsas de polietileno resellables, después se secaron bajo sombra, a temperatura ambiente (25 ± 2°C) durante 7 d.

Para analizar la calidad biológica del suelo se siguió la metodología descrita por Carneiro *et al.* (2021).

Para la interpretación se tomaron como referencia 3 zonas: el área de la zona central, y la distancia entre la zona central y la mineral, que se midieron con el programa imageJ, y la MO disponible se evaluó con una escala hedónica de 5 puntos, donde 1 representó baja disponibilidad y 5 alta disponibilidad (Figura 1).

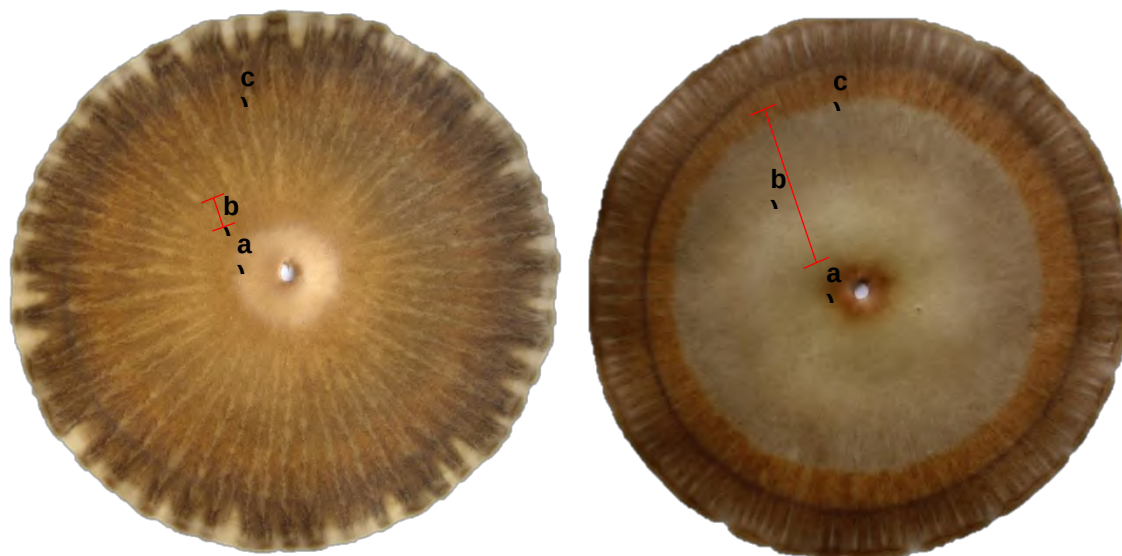


Figura 1. a) área de la zona central, b) distancia entre la zona central y la mineral y MO disponible.
Nota: la materia orgánica del cromatograma izquierdo corresponde a 4 en la escala hedónica y el de la derecha a 1.

Análisis convencionales

El pH se evaluó directamente del suelo con un medidor portátil de pH (blue lab pen soil ph), y los ácidos húmicos, nitratos (NO_3) y materia orgánica se analizaron en el laboratorio Fertilab. Para estos últimos se tomó 1 kg de suelo a 15 cm de profundidad y se enviaron al laboratorio.

La caracterización de los ácidos grasos se realizó por cromatografía de gases, a partir del fraccionamiento de ácidos grasos fosfolípidicos (PLFA), siguiendo la metodología descrita por Sasser (1990). Para este análisis se tomaron 10 g de suelo a 15 cm de profundidad y se mantuvieron en frío hasta antes del análisis.

Análisis estadístico

Se aplicó una prueba de correlación de Spearman (no paramétrica) para identificar relaciones entre las variables de calidad biológica del suelo (evaluadas mediante cromatografía de Pfeiffer) y los indicadores convencionales (pH, ácidos húmicos, nitratos, materia orgánica y perfiles microbianos por PLFA). La fuerza de las correlaciones se interpretó con base en el valor absoluto del coeficiente de Spearman (r_s); un coeficiente de correlación de +1 o -1 indicó que existía una correlación perfecta entre las variables cromatográficas y las convencionales. Un coeficiente de correlación de cero indicó que no había correlación entre las dos variables.

Resultados y Discusión

La integración de métodos analíticos convencionales y cualitativos permitió caracterizar la calidad biológica del suelo en sitios asociados al desarrollo de *Stenocereus stellatus* bajo condiciones áridas y semiáridas. Los perfiles microbianos del suelo (PLFA) oscilaron entre 35.48 y 132.71; el pH, varía entre 4.48 a 8.00; el contenido de ácidos húmicos (AH) varían entre 0.13 y 1.86; la materia orgánica (MO) presenta valores que van de 0.87 a 2.17; y finalmente, los niveles de nitratos (N) fueron entre 0.26 y 4.46 mg/kg.

Esta amplia variabilidad en las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo fue fundamental para validar la cromatografía de Pfeiffer. La diversidad de suelos ofreció un rango representativo de estados de fertilidad, actividad biológica y grado de humificación. En este sentido, la variabilidad no solo aportó robustez al análisis, sino que también fue determinante para validar la cromatografía de Pfeiffer como herramienta diagnóstica confiable. En este sentido, la matriz de correlación de Spearman entre variables cromatográficas y convencionales (figura 2) indica correlaciones significativas que respaldan el potencial científico de la cromatografía como herramienta complementaria para evaluar la calidad del suelo.

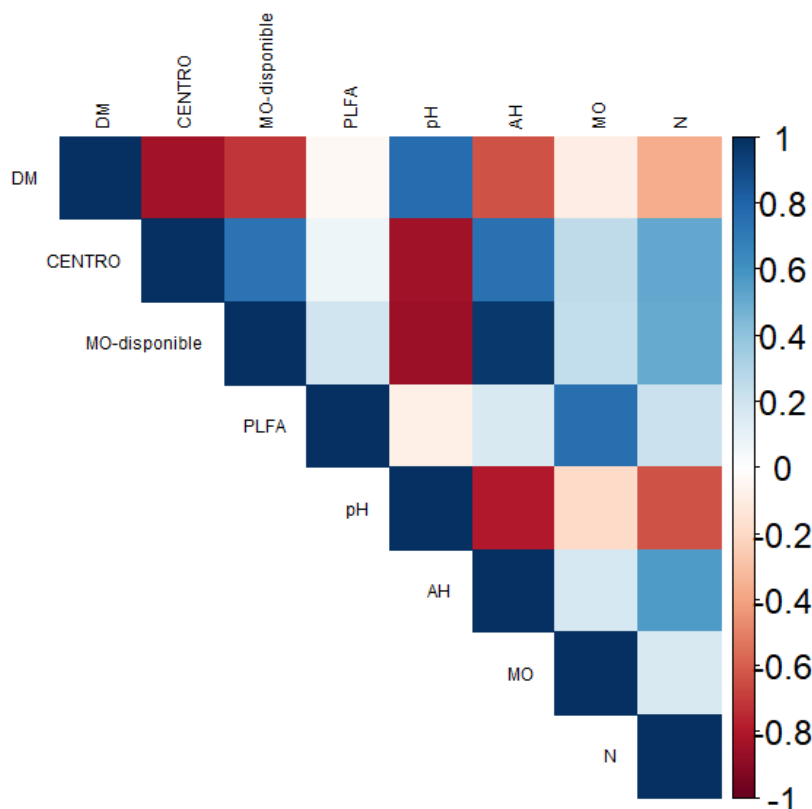


Figura 2. Matriz de correlación de Spearman entre variables del suelo obtenidas mediante cromatografía de Pfeiffer (DM: distancia entre el centro y la zona mineral; CENTRO: área del centro; y MO-disponible: materia orgánica disponible) y análisis convencionales (pH; AH: ácidos húmicos, N: nitratos (NO_3); MO: materia orgánica; y PLFA: perfiles microbianos).

La variable CENTRO (área central del cromatograma) se correlacionó negativamente con el pH ($r = -0.85$) y positivamente con los ácidos húmicos ($r = 0.75$). Esto sugiere que un área central más grande está asociada a suelos con pH más bajo (ácido), por tal motivo es posible que los ácidos húmicos se mantengan estables, porque sus grupos funcionales (carboxílicos y fenólicos) permanecen en formas no disociadas, lo que evita su degradación rápida. Asimismo, a pH ácido se presenta una menor actividad enzimática oxidativa (Li *et al.*, 2021), lo que ralentiza la mineralización y favorece la acumulación de sustancias húmicas (Cao *et al.*, 2022).

Cabe señalar que, aunque moderada, se encontró una correlación entre el área del centro con el contenido de nitratos ($r=0.51$), lo cual es consistente con lo que en la práctica se observa en suelos que son fertilizados con urea, no obstante, en este estudio no abundó en este tema.

Por otro lado, la variable DM (distancia entre el centro y la zona mineral) mostró una alta correlación positiva con el pH ($r = 0.77$) y una correlación negativa con la materia orgánica disponible ($r = -0.71$) y los ácidos húmicos ($r = -0.64$). Esto sugiere que una mayor distancia de difusión en el cromatograma podría reflejar condiciones menos favorables para la acumulación de materia orgánica y componentes húmicos. Esta baja calidad biológica, puede reflejarse en el cromatograma dado que al haber una mayor proporción de iones minerales solubles no complejados (como nitratos, cloruros, sulfatos, calcio, sodio) son altamente móviles en agua, lo que facilita su migración lejos del centro en el papel cromatográfico.

La variable MO-disponible mostró correlaciones particularmente fuertes con indicadores de fertilidad biológica: ácidos húmicos ($r = 0.97$) y pH ($r = -0.86$).

La alta correlación positiva entre la materia orgánica disponible evaluada con la cromatografía de Pfeiffer, y los ácidos húmicos refuerza la hipótesis de que el patrón cromatográfico puede capturar dinámicas clave del ciclo de materia orgánica en el suelo. Por otro lado, la correlación negativa con el pH indica que la materia orgánica disponible tiende a acumularse en suelos ligeramente ácidos, esto puede estar ligado a la reducción de la actividad, diversidad y/o funcionalidad microbiana. Otro factor que puede estar implicado

es la formación de complejos estables entre compuestos orgánicos y minerales del suelo, particularmente óxidos de hierro y aluminio. Esta asociación protege físicamente a la materia orgánica de la degradación microbiana, especialmente en la fracción de carbono orgánico asociado a minerales (Yu *et al.*, 2024).

Lo planteado previamente se fortalece con la correlación negativa entre los ácidos húmicos y el pH ($r = -0.80$), lo que sugiere que, en suelos más ácidos, se acumulan compuestos húmicos, debido a que las condiciones limitan su descomposición y favorecen su estabilización en la matriz edáfica.

Conclusiones

Se identificó que, aunque las comunidades se encuentran aledañas, y se destinan a la producción de tunillo, las características que se encuentran entre las comunidades son diversas. Esto permitió realizar el estudio por la variedad de características que permitieron validar la cromatografía de Pfeiffer, donde se reflejan aspectos relevantes en la dinámica del ciclo de la materia orgánica que permiten valorar la calidad biológica de suelos.

Aunque este método ha sido utilizado como una herramienta cualitativa, los hallazgos apoyan su integración al análisis científico, siempre que se realice una estandarización adecuada de los procedimientos y una interpretación rigurosa de los parámetros cromatográficos.

En particular, la variable CENTRO mostró ser un marcador sensible de condiciones edáficas ácidas y de acumulación de compuestos húmicos estables, sugiriendo su potencial para reflejar estados avanzados de humificación en suelos con baja actividad microbiana oxidativa.

Por su parte, la distancia entre el centro y la zona mineral, y la materia orgánica disponible son áreas determinantes que reflejan la calidad biológica del suelo.

Agradecimientos

Agradecemos a los campesinos que amablemente colaboraron con el acceso a sus parcelas para la toma de las muestras.

Fuente financiadora

Proyecto interno del IPN de apoyos extraordinarios rubro 7 estrategias y acciones ante emergencias “biocarbón: una herramienta para mitigar el impacto de la sequía y mejorar la fertilidad de los suelos agrícolas”.

Referencias bibliográficas

Carneiro, A. M., & Campos, J. O. (2021). The use of pfeiffer chromatography as a tool for evaluating agroecological management in an agricultural property in the municipality of Boqueirão–PB. *International Journal Semiarid*, 4(4).

Sasser M. (1990). Identification of bacteria by gas chromatography of cellular fatty acids. Tech. Note 101. Microbial ID, Inc., Newark, Del.

Li, J., Zheng, T., & Liu, C. (2021). Soil acidification enhancing the growth and metabolism inhibition of PFOS and Cr(VI) to bacteria involving oxidative stress and cell permeability. *Environmental pollution*, 275, 116650.

Cao, Y., Gu, J., Zhang, J., Chen, B., Xu, Y., Liu, D., & Huang, H. (2022). Reduced pH is the primary factor promoting humic acid formation during hyperthermophilic pretreatment composting. *Journal of Environmental Management*, 316, 115215.

Yu, M., Wang, Y. P., Deng, Q., Jiang, J., Cao, N., Tang, X., & Yan, J. (2024). Soil acidification enhanced soil carbon sequestration through increased mineral protection. *Plant and Soil*, 503, 529–544.

RUGOSIDAD DE LAS BIOCOSTRAS: UN ESTIMADOR DE LA RETENCIÓN DEL SUELO EN UNA ZONA SEMIÁRIDA DEL CENTRO DE MÉXICO

Yadira Aguilar-Moya^{1*}, Jessica de Jesús Sosa-Quintero¹

¹Laboratorio de Ecología, Unidad de Biotecnología y Prototipos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor para correspondencia: yadira0602aguilar@gmail.com

Palabras clave. Costra biológica del suelo, erosión, manejo.

Introducción

Las biocostras, también conocidas como costras biológicas del suelo o microcosmos son comunidades edáficas formadas por cianobacterias, algas, líquenes y briófitas que crecen en la superficie del suelo en íntima asociación con las partículas del suelo (Weber *et al.*, 2016). Estas comunidades están ampliamente distribuidas en zonas áridas y semiáridas, aunque, también se encuentran en zonas alpinas y polares; ambientes con baja productividad, y baja estructura de la vegetación, donde la luz alcanza la superficie del suelo. Sin embargo, es en las zonas áridas y semiáridas donde pueden cubrir hasta el 70 % de cobertura en suelo, adaptándose a condiciones extremas de temperatura, luz y largos periodos de sequía (Belnap, 2006). Las biocostras son organismos multifuncionales en los ecosistemas porque interactúan con plantas y animales, participan en procesos hidrológicos como infiltración, humedad y escorrentía aumentando la retención de agua, afectando el establecimiento de plantas vasculares en la germinación, supervivencia y crecimiento. Además, favorecen la fertilidad de nutrientes en el suelo como C, N, K, Ca, Mg, Mn y Zn. Estas comunidades ayudan a los procesos edáficos, ya que aumentan la estabilidad y retención del suelo, protegiéndolo de la erosión por lluvia y viento, lo cual favorece la agregación y cohesión de partículas del suelo (Weber *et al.*, 2016; Bowker *et al.*, 2016). Todas estas funciones son específicas de acuerdo con la composición, ubicación geográfica, con los cambios en las propiedades del suelo y las características morfológicas o anatómicas de las biocostras conocidos como rasgos funcionales (Bowker *et al.*, 2016). Un rasgo funcional de las biocostras es la rugosidad, el cual es un indicador de la prevención de erosión del suelo. Por ejemplo, la rugosidad de la superficie de la biocostra modera el movimiento del agua y del material del suelo, así como crea condiciones favorables para que sea el hábitat para la microfauna. Tal es el caso de las zonas áridas templadas de Norteamérica, donde las biocostras aumentan la rugosidad y estabilizan el suelo directamente debajo de ellas, contrario al suelo circundante sin biocostra, el cual es menos estable y se erosiona fácilmente (Belnap *et al.*, 2006). En tanto que, en las zonas semiáridas tropicales, las biocostras también aumentan la rugosidad en gran medida a través de su biomasa aérea, capturando sedimentos evitando la erosión. Mientras que, Mallen-Cooper y colaboradores en el 2018 realizaron un estudio para estimar cómo las biocostras y los rasgos como la rugosidad responden o cambian ante el pastoreo de ganado en el este de Australia, ellos encontraron que no hay efectos directos del pastoreo en la rugosidad, pero si cambios en la cobertura de la biocostras.

Los rasgos funcionales como la rugosidad de las biocostras pueden ser alterados por el impacto de actividades humanas, ya que las biocostras son una comunidad altamente sensible a los cambios en la estructura y funcionamiento en el sistema (Sosa-Quintero *et al.*, 2022). Si consideramos que las zonas áridas y semiáridas están habitadas por un tercio de la población mundial, las actividades alteran las biocostras, pero aún desconocemos el grado del impacto. Específicamente, en México el 50% del territorio corresponde a zonas áridas y semiáridas donde las biocostras están ampliamente distribuidas, específicamente en la zona tropical del Valle de Tehuacán-Cuicatlán Puebla, se ha estimado que las biocostras cubren hasta el 80% de cobertura total en el suelo y su composición difiere de las biocostras de las zonas áridas templadas de Estados Unidos de América (Sosa-Quintero *et al.*, 2022). En estas zonas semiáridas tropicales del centro de México, dominan las actividades humanas de subsistencia y autoconsumo, como la agricultura de temporal y extracción de leña, alterando la estructura y la participación de las biocostras en la biogeoquímica del nitrógeno (Sosa Quintero *et al.*, 2022). Sin embargo, aún falta por evaluar otras de las múltiples funciones como la rugosidad que tienen estas comunidades en el ecosistema y conocer como están respondiendo a la retención del suelo en sitios con impacto por actividades humana locales.

Objetivos

Evaluar la respuesta de las biocostras en la retención del suelo mediante la estimación de la rugosidad, en sitios impactados en San Rafael, Coxcatlán, Puebla. Así como describir los componentes de los principales grupos taxonómicos de las biocostras; cianobacterias, líquenes y briofitas en las diferentes unidades de manejo y como cambian respecto al tipo de manejo.

Materiales y Métodos

La comunidad de San Rafael, Coxcatlán, Puebla se ubica en la porción suroeste de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (figura 1), a una altitud de 1217 msnm, con una temperatura promedio anual que oscila en 14-26 °C, y precipitación entre 300 – 1100 mm al año. Un clima variado durante el año que va de seco muy cálido y cálido (48%), semiseco y semicálido (28%), templado subhúmedo con lluvias en verano (14%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano (10%), con dos temporadas estacionales; secas y lluvias. Los suelos son de tipo regosol fútrico y xerosol háplico, los cuales soportan vegetación de selva tropical caducifolia y matorral xerófilo. Los pobladores clasifican su entorno por la composición vegetal de cada unidad de manejo, de acuerdo al tipo de actividades que se realizan en ellas, por ejemplo, hay unidades para el cultivo de caña, otras para el pastoreo, barranca y el monte o sitio conservado sin evidencia de alguna actividad humana (Sosa-Quintero *et al.*, 2022).

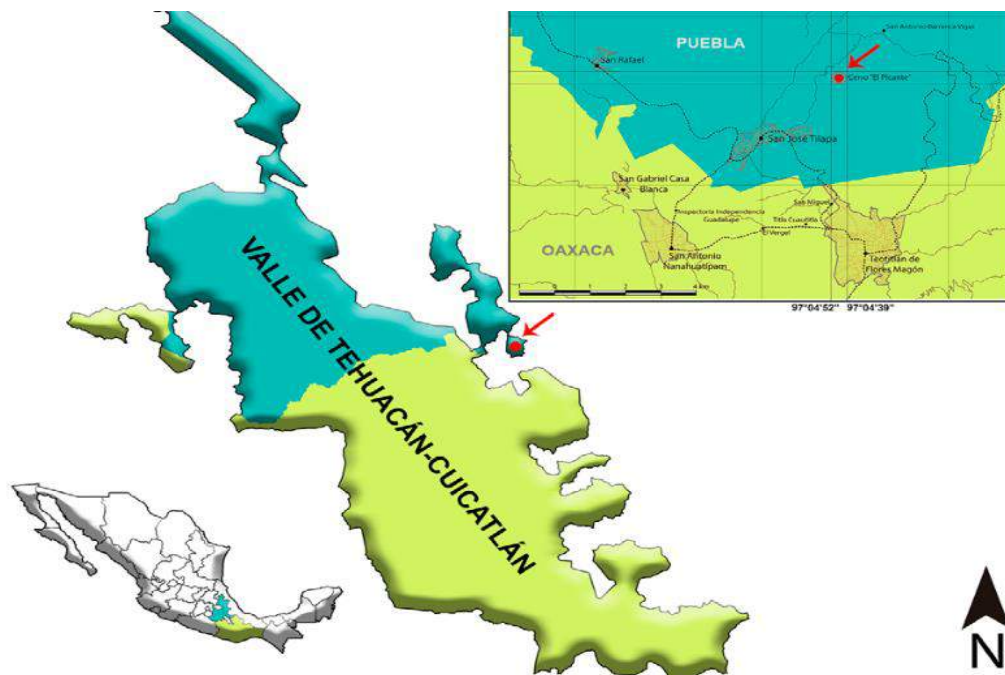


Figura 1. Ubicación de San Rafael, Coxcatlán, Puebla.

Para la colecta de muestras y medición de la rugosidad de las biocostras se siguió la siguiente metodología: el trabajo de campo se realizó en cada una de las unidades de manejo (figura 2): 1) ganadería trashumante, 2) canal de riego, 3) tiradero de basura en una barranca, 4) unidad sin evidencia de manejo denominada selva por el tipo de vegetación. En cada unidad, a lo largo de 3 transectos de 20 metros cada uno, 3 muestras en espacios libres de vegetación y 3 muestras bajo vegetación, para considerar la heterogeneidad de las biocostras. Durante la temporada de lluvias y de secas, en cada unidad de manejo se estimó la rugosidad con el método de la cadena y se calculó con el índice de rugosidad superficial; $R=100(1-L2/L1)$ donde L2 es la distancia horizontal y L1 es la longitud de la cadena necesaria para cubrir la misma distancia dada la rugosidad de la superficie (Mallen-Cooper *et al.*, 2017). Además de cada muestra en la que se estimó la rugosidad, describimos la estructura de las biocostras, las principales especies de cianobacterias, líquenes y briofitas mediante claves especializadas, así como la abundancia total de las biocostras y por

grupos taxonómicos. Para conocer si las actividades humanas entre las cuatro unidades de manejo tienen un efecto en la participación de las biocostras en la rugosidad y en la estructura de las biocostras se realizó una prueba de análisis de la varianza prueba post hoc de Tukey en el programa JMP.

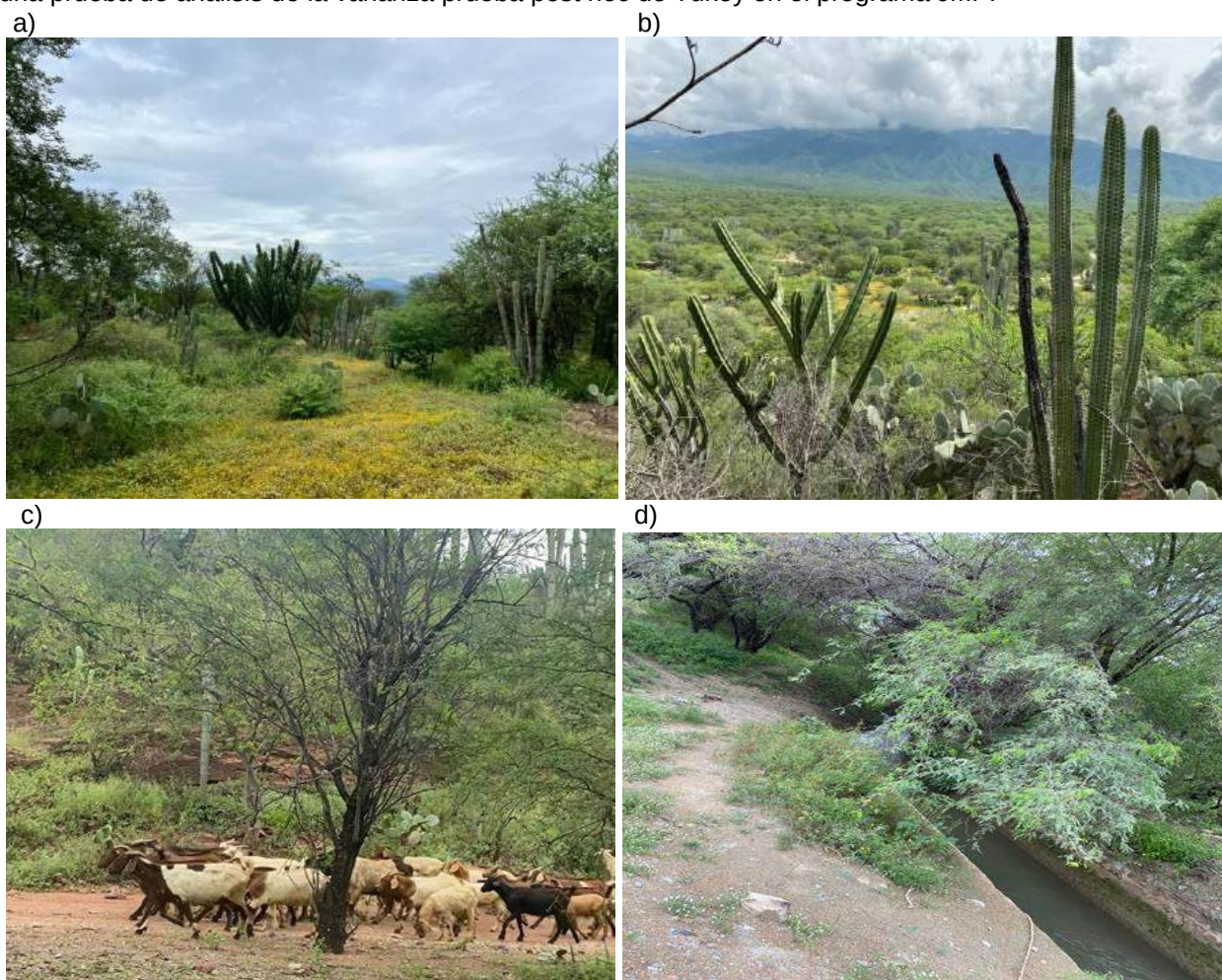


Figura 2. Unidades de manejo ubicadas en San Rafael Coxcatlán, Puebla. a) Barranca, b) Selva, c) Unidad con evidencia de ganadería, y d) Canal de riego.

Resultados y Discusión

Respecto a la rugosidad fue diferente entre temporadas, mayor en la temporada de lluvias que en secas ($F: 10.7341$; $gl: 1$; $p: 0.0013$). También hubo diferencias entre unidades de manejo ($F: 5.9710$; $gl: 3$; $p: 0.0008$), siendo mayor la rugosidad en la unidad con ganadería trashumante, disminuye en selva de la misma manera que en el canal de riego, y menor en barranca. Además, a nivel de microambiente hubo diferencias significativas ($F: 2.1681$; $gl: 8$; $p: 0.0339$), fue mayor en ganadería bajo vegetación que en espacios abiertos, pero similar en todos los sitios. Los datos sugieren que las biocostras responden de manera específica al impacto por las actividades humanas locales. Específicamente en los sitios de ganadería la mayor rugosidad de las biocostras podría ser una adaptación de estas comunidades al pisoteo por el ganado. Esto podría sugerir que, a pesar del impacto las biocostras podrían retener el suelo ya que el impacto por ganadería es una de las principales causas de pérdida del suelo en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, las biocostras pueden modificar sus estructuras anatómicas y morfológicas en respuesta al manejo, aumentando su rugosidad favoreciendo la retención del suelo. Por otro lado, el sitio con menor rugosidad se presentó en barranca, en este sitio durante la temporada de lluvias hay escurrimiento de agua y sedimentos. Por lo tanto, una baja rugosidad de la biocostra podría asociarse al establecimiento de biocostras dominadas por cianobacterias, las cuales son biocostras que de acuerdo con

su morfología son biocostras lisas, es decir, sin rugosidad (Weber, *et al.*, 2016). De acuerdo con la composición y estructura de las biocostras; la composición de las biocostras fueron cinco cianobacterias de los géneros *Nostoc*, *Scytonema*, *Miclocoelus*, *Chrococidiopsis*, *Schizothrix*; seis líquenes de los géneros *Clavascidium*, *Enchylium*, *Peltula*, *Placynthiella*, *Psora* y *Heppia*, y tres briofitas de los géneros *Aloina*, *Pseudocrossidium* y *Bryum*. En la abundancia por grupos taxonómicos se presentaron diferencias significativas en las coberturas de las distintas unidades de manejo, la cobertura de cianobacterias fue similar entre unidades ($p > 0.1152$). En el caso de los líquenes, fue mayor en la selva y unidades de ganadería y barranca, disminuyendo hacia la barranca ($p < 0.0005$), mientras que las briofitas tuvieron mayor cobertura en el sitio conservado a diferencia de los sitios con alguna evidencia de manejo ($p < 0.0001$). Finalmente, la cobertura total de la biocostra fue mayor en la unidad de selva disminuyendo hacia las unidades de manejo ($p < 0.0001$). Es importante mencionar que, a nivel de microambiente, las cianobacterias presentaron diferencias significativas ($p < 0.0057$), con mayor cobertura bajo vegetación que en espacios abiertos en barranca y el canal de riego. Los líquenes tuvieron mayor cobertura en espacios libres de vegetación en selva y unidad de ganadería ($p < 0.0001$). Las briofitas presentaron mayor cobertura en el microambiente bajo vegetación en selva ($p < 0.0008$). En el caso de la cobertura total fue mayor en espacio abierto en la unidad de selva ($p < 0.0001$). De las unidades ambientales con diferente manejo resaltan los datos de la unidad de ganadería, ya que a pesar de tener la menor cobertura total de biocostras, los líquenes presentaron mayor cobertura, así como una rugosidad mayor, esto podría estar asociado a la morfología y estructura de los líquenes, lo que podría ayudar a la retención del suelo frente al efecto que tenga el pisoteo del ganado. Por lo que resulta interesante realizar otras estimaciones de los rasgos de las biocostras relacionados con la retención del suelo.

Conclusiones

En los sitios con actividades de subsistencia en el centro de México dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el impacto afecta la estructura de las biocostras, y estas comunidades edáficas responden con cambios específicos en la rugosidad de la superficie de las biocostras. Los cambios en la rugosidad podrían sugerir que las biocostras responden al impacto a nivel de rasgos funcionales, cambios que podrían estar favoreciendo que el suelo no se pierda y amortiguando el impacto de las actividades locales. Las biocostras son un componente importante dentro de la Reserva de Tehuacán-Cuicatlán, este trabajo muestra los primeros datos del impacto del manejo de la comunidad de San Rafael Coxcatlán sobre la estructura y rugosidad de las biocostras en el sitio. La rugosidad es un buen rasgo funcional de las biocostras indicador de la retención del suelo para el estudio de las biocostras en México.

Agradecimiento

Agradecemos a las autoridades de San Rafael Coxcatlán por las facilidades para la realización de este trabajo. Así como a Martín Carrera y familia, habitantes de la comunidad quienes nos apoyan en el trabajo de campo.

Financiamiento

Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) IA204824, Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Referencias bibliográficas

- Belnap, J. (2006) The potential roles of biological soil crusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*. 20: 3159-3178pp.
- Bowker, M.A., Belnap, J., Büdel, B., Sannier, C., Pietrasiak, N., Eldridge, D.J. y Rivera-Aguilar, V. (2016). Controls on Distribution Patterns of Biological Soil Crusts at Micro-to Global Scales. 173–197 pp
- Mallen-Cooper, M., David J. Eldridge y Manuel Delgado-Baquerizo (2017). *Livestock grazing and aridity reduce the functional diversity of biocrusts*. Springer, New York

Sosa-Quintero J., Godínez-Álvarez H., Camargo-Ricalde S.L., *et al.* (2022). Biocrusts in Mexican deserts and semideserts: A review of their species composition, ecology, and ecosystem function. *Journal of Arid Environments*. 199, 104712.

Weber B, Büdel B, Belnap J (2016) Biological soil crusts: an organizing principle in drylands. Springer, New York.



DISPERSIÓN Y MIGRACIÓN DE METALES PESADOS BIODISPONIBLES EN SUELOS DE CULTIVO Y SU RELACIÓN CON LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO

María del Pilar Herrera-Mendoza^{1*}, Laura Rosa Margarita Sánchez-Castillo¹, Edmar Melendez-Jaramillo¹, Eduardo Osorio-Hernández¹, Rafael Delgado-Martínez¹, Ma. Teresa de Jesús Segura-Martínez¹

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas

*Autor para correspondencia: a2233018004@alumnos.uat.edu.mx

Palabras clave. Metales pesados, biodisponibilidad, suelo.

Introducción

En años recientes la contaminación ambiental por metales pesados se ha convertido en un problema de relevancia a nivel mundial, principalmente como consecuencia del incremento en sus concentraciones derivado de diversas actividades androgénicas. Entre estas, la agricultura se reconoce como una de las principales fuentes de contaminación en el suelo por metales pesados debido al uso intensivo de agroquímicos, particularmente fertilizantes a base de fosfatos, así como de plaguicidas, herbicidas, insecticidas entre otros productos (Loyde *et al.*, 2022). Estos productos químicos contienen metales pesados en su formulación como por ejemplo el cobre, el cual es utilizado ampliamente en fungicidas y plaguicidas, constituyendo así a los sistemas de producción agrícola como una importante fuente no puntual de contaminación por metales. La aplicación continua y sin regulación de estos compuestos, sin periodos de descanso ni rotación de cultivos, favorece la acumulación progresiva de metales pesados en el suelo. En algunos casos, estas concentraciones pueden llegar a exceder los límites máximos permisibles establecidos por normativas nacionales e internacionales (Mendoza-Escalona *et al.*, 2021). Generalmente los agroquímicos se aplican mediante la aspersión de polvos o mezclas acuosas sobre el follaje de las plantas, esto promueve la dispersión ambiental de los contaminantes, llegando a acumularse en el suelo y posteriormente filtrándose al subsuelo (Silveira-Gramont *et al.*, 2018).

Los metales pesados son contaminantes altamente tóxicos que manifiestan una elevada toxicidad cuando se dispersan en el medio ambiente, sin embargo, evaluar su nivel de toxicidad ambiente no es sencillo debido a la gran cantidad de elementos ecológicos que pueden resultar afectados, estos elementos se pueden acumular en el suelo a través de los años ya que no se pueden degradar, al estar biodisponibles en el suelo estos elementos pueden ser absorbidos por las plantas a través de las raíces y acumularse en distintas partes de la planta como raíces, tallos y frutos; es de esta manera que sucede la translocación de los metales pesados a los productos agrícolas a través de la cadena suelo-planta-consumidor. Esto supone una seria amenaza para la salud humana ya que el consumo de productos y agua que contengan metales pesados puede ocasionar diferentes efectos sobre la salud de los seres humanos que va desde intoxicaciones leves hasta enfermedades crónicas, cáncer e inclusive la muerte (Xiang *et al.*, 2021).

Por lo cual el presente estudio tiene como objetivo identificar las concentraciones de metales pesados que se encuentran biodisponibles en el suelo dedicado al cultivo de naranja y su posible dispersión en el suelo, así como la relación de las propiedades físicoquímicas del suelo que influyen en su biodisponibilidad.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el área citrícola de Santa Engracia localizada en el municipio de Hidalgo, Tamaulipas, México. El municipio se encuentra a una elevación de 329 m.s.n.m y presenta un clima semiárido subhúmedo con lluvias en verano, una temperatura promedio anual de 24 °C y un rango de precipitación anual de 800-100 mm (INEGI, 2021). Ante la falta de estudios previos que indiquen la presencia de contaminantes tipo metales pesados en el área de estudio, se realizó un muestreo exploratorio utilizando una distribución aleatoria simple de acuerdo con lo dispuesto en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2016 con el objetivo de identificar y evaluar la presencia de metales pesados en el suelo, así como su distribución horizontal y migración vertical (SE, 2016). Se muestrearon 6 sitios correspondientes a huertas de cultivo de naranja dulce (*C. sinensis*) con antecedentes de producción citrícola que fluctúan desde los 3 a los 70 años; el muestreo, se llevó a cabo un muestreo de dispersión en el cual se establecieron 2 zonificaciones por fuera de cada sitio de estudio a distancia de 10 y 20 m. En cada zonificación se ubicaron 4 puntos de muestreo distribuidos cardinalmente y en cada punto se tomó una muestra de suelo simple a 3 profundidades 10-20 cm, 20-30 cm y de 30-40 cm. Todas las muestras se

colectaron utilizando una pala de acero inoxidable y se depositaron en bolsas plásticas de polietileno previamente etiquetadas.

La biodisponibilidad del Cd, Cr, Cu y Pb se determinó de acuerdo con el método AS-18 de la NOM-021-RECNAT-2000 el cual emplea el ácido dietilentriaminopentaacético (DTPA) como agente quelante, este método permite extraer los metales pesados que están disponibles para la absorción de las plantas y que se encuentran unidos a la materia orgánica. El procedimiento de extracción consistió en colocar 10 g de suelo seco y previamente procesado en un matraz Erlenmeyer, posteriormente se añadieron 20 ml de solución de DTPA, se tapó el matraz y se procedió a agitar en un agitador horizontal a 120 oscilaciones por minuto durante 2 horas. Una vez concluida la agitación se filtró la suspensión a través de papel Whatman No. 42 y finalmente, las concentraciones de metales biodisponibles se determinaron utilizando espectrofotometría de absorción atómica de flama (EAA) con un espectrofotómetro (añadir modelo) Perkin Elmer. La caracterización fisicoquímica de los suelos incluyó cinco propiedades físicas (textura, densidad real, densidad aparente y porosidad) así como dos propiedades químicas (pH y conductividad eléctrica) determinadas conforme a los procedimientos descritos en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). Se realizaron análisis de similitud (ANOSIM) de una vía para identificar la presencia de diferencias estadísticas significativas de las concentraciones de los metales pesados entre los sitios de muestreo, así como entre las diferentes direcciones y profundidades, para identificar la relación entre las variables edáficas y las concentraciones de los diferentes MP registrados para cada una de las diferentes direcciones y profundidades, se realizaron análisis de correspondencia canónica (ACC) para cada uno de los sitios de muestreo. Todos los análisis se realizaron en la versión 3.5.3 de R (R Development Core Team 2019).

Resultados y Discusión

El metal pesado con mayor concentración en los sitios de muestreo fue el cobre (Cu), siendo el sitio dos el que registró mayor concentración (figura 1). De acuerdo con el ANOSIM, las concentraciones biodisponibles de los metales pesados registrados son significativamente diferentes ($p < 0.05$) entre todos los sitios. La interacción de las concentraciones biodisponibles entre los diferentes sitios y direcciones de muestreo presentó diferencias significativas ($p < 0.05$), en cuanto a las concentraciones registradas para las diferentes direcciones del sitio uno, el ANOSIM mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones registradas en la dirección Norte con respecto a las de la dirección Este y Oeste. A su vez, las concentraciones registradas en el sitio seis para las diferentes direcciones, el ANOSIM mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones registradas en la dirección Norte con respecto a las de la dirección Este. Por otro lado, la interacción de las concentraciones entre los diferentes sitios y profundidades de muestreo no presentó diferencias estadísticas significativas.

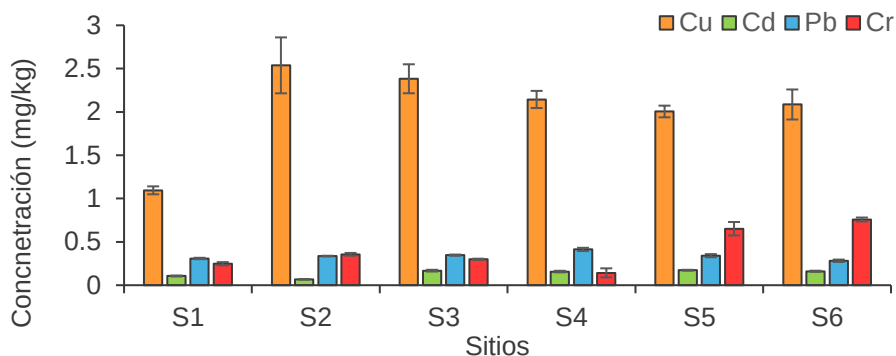


Figura 1. Concentraciones promedio de metales pesados biodisponible en el suelo de los sitios.

En cuanto al análisis canónico de correspondencia (ACC) el sitio uno y el sitio seis presentaron asociaciones significativas entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y las concentraciones biodisponibles de metales registrados en las diferentes direcciones y profundidades. El ACC mostró una asociación significativa entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y las concentraciones registradas en las diferentes direcciones del sitio uno de muestreo (Inercia total= 99.4%; $p < 0.05$). Las propiedades más relacionadas con las concentraciones biodisponibles de MP fueron: CE, pH y densidad real para el Eje uno (Eigenvalue= 0.004; Inercia= 53.5%). Para el Eje dos (Eigenvalue= 0.003; Inercia= 45.9%), Porosidad y

densidad aparente fueron las variables más importantes. Por otra parte, las variables del suelo relacionadas con las concentraciones de metales pesados en las diferentes profundidades del suelo mostraron una asociación significativa (Inercia total= 99.4%; $p < 0.05$) y fueron: CE, pH y densidad real para el Eje uno (Eigenvalue= 0.004; Inercia= 53.5%). Para el Eje dos (Eigenvalue= 0.003; Inercia= 45.9%), Porosidad y densidad aparente fueron las variables más importantes.

Para el sitio seis el ACC mostró una asociación significativa entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y las concentraciones biodisponibles de MP registrados en las diferentes direcciones de muestreo (Inercia total= 99.8%; $p < 0.05$). Las propiedades de suelo más relacionadas con las concentraciones fueron: densidad aparente, densidad real y pH para el Eje uno (Eigenvalue= 0.019; Inercia= 72 87.8%). Para el Eje dos (Eigenvalue= 0.003; Inercia= 12%), CE y porosidad fueron las variables más importantes. Por otro lado, las propiedades fisicoquímicas y las concentraciones de metales registrados en las diferentes profundidades mostraron una asociación significativa (Inercia total= 99.8%; $p < 0.05$). Las propiedades más relacionadas fueron la densidad aparente, densidad real y pH para el Eje uno (Eigenvalue= 0.019; Inercia= 87.8%). Para el Eje dos (Eigenvalue= 0.003; Inercia= 12%), CE y porosidad fueron las variables más importantes.

Estos resultados sugieren que estos elementos contaminantes tienden a acumularse a distintas profundidades en relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo, lo que indica un papel crucial de las propiedades fisicoquímicas del suelo en el proceso de biodisponibilidad de metales pesados. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por diversos autores en investigaciones que evalúan la relación de las propiedades del suelo que influyen en los procesos de movilización, solubilidad y biodisponibilidad.

Conclusiones

El estudio proporcionó información sobre la presencia de metales pesados y su biodisponibilidad en el suelo de cultivo de naranja dulce en tierras agrícolas regionales de Santa Engracia en el municipio de Hidalgo. Se concluyó que las concentraciones biodisponibles de Cu, Cr, Pb y Cd presentes en el área no excedieron los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000 para suelos agrícolas, sin embargo, se observó que la dirección y la profundidad influyen significativamente en las concentraciones biodisponibles de metales pesados debido a las variaciones en las propiedades fisicoquímicas del suelo. Estos hallazgos son relevantes para entender los procesos de movilidad, solubilidad y biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, así como para la formulación de estrategias de manejo de suelos contaminados.

Referencias bibliográficas

- Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X. & Cao, Y. (2021). Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environmental Pollution*, 278, 116911. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116911>
- Mendoza-Escalona, B., Torres-Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., Estanga-Barrios, M. & García-Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *Tecnológicas* 24 (51), 4-15. <https://doi.org/10.22430/22565337.1738>.
- Loyde L. A., González B., Cruz A. M. y Loredo R. (2022). Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemos* (Sonora) 16, 93-98.
- Silveira-Gramont, M. I., Aldana-Madrid M. L., Piri-Santana J., Valenzuela-Quintanar A. I., G. Jasa-Silveira y Rodríguez-Olibarria, G. (2018). Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado de Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34, 7-21.

EL PICUDO DE LA SOYA *Rhyssomatus nigerrimus* (Coleoptera: Curculionidae) SOBRE LA SANIDAD DEL GRANO POSTCOSECHA BAJO TRES SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO EN CHIAPAS

Moisés Alonso-Báez^{1*}, Manuel Grajales-Solís¹, Guillermo López-Guillén¹

¹INIFAP, CIRPAS, CERI

*Autor para correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

Palabras clave. Soconusco, postcosecha, insecto.

Introducción

En el Soconusco, Chiapas, se siembran actualmente 12, 000 ha de soya bajo el régimen hídrico de temporal, lo anterior, debido a las condiciones edafo-climáticas existentes, ya que, con respecto a la humedad, existe un periodo lluvioso de aproximadamente seis meses (mayo-octubre), el cual cubre satisfactoriamente sus requerimientos hídricos equivalentes a 600 mm durante su ciclo de producción. Sin embargo, en los últimos 10 años, la sanidad del grano postcosecha se ha visto afectada por la presencia del picudo de la soya (*R. nigerrimus*), insecto que ataca al cultivo casi desde que la planta emerge del suelo e inicia la etapa vegetativa; pero, su impacto superior es mayor cuando el cultivo se encuentra en la etapa reproductiva R4 (formación grano) y R8 (grano formado próximo a su cosecha). Es justamente en esta etapa cuando inicia el ataque del insecto sobre el grano de soya, motivo de esta investigación. El picudo de la soya se le considera un insecto especialista, debido a que sólo selecciona plantas de soya (*Glycine max* L.; Fabaceae) como hospedante principal para reproducirse y alimentarse. Sin embargo, la alimentación foliar de adultos ha sido observada en plantas de la familia Poaceae, Convolvulaceae, Asteraceae y Fabaceae, de acuerdo con reportes preliminares (López-Guillén *et al.*, 2012; Teran-Vargas y López-Guillén, 2014). Con base en los antecedentes, la hipótesis es que una mayor proporción de humedad edáfica debido a manejo del suelo reduce la población de picudos. Con base en lo anterior, se realizó una investigación cuyo objetivo fue evaluar en la etapa postcosecha la afectación que experimenta el grano de soya debido al ataque del picudo (*R. nigerrimus*) en función de tres sistemas de manejo del suelo, subsolado, barbecho y rastro.

Materiales y Métodos

Durante el periodo PV-2024, se establecieron dos experimentos en predios representativos productores de soya en el municipio de Tapachula, Chiapas; el predio "San Antonio" ubicado en el kilómetro 18 margen izquierdo de la carretera Tapachula-Aeropuerto, y el segundo en el Ejido 1º Sección de Tinajas, ubicado en el kilómetro 28 margen izquierdo de la misma carretera Tapachula-Aeropuerto, cuyas coordenadas geográficas de localización son 14° 51' de Latitud Norte y 92° 19' de Longitud Oeste. Ambos sitios de observación en el Municipio de Tapachula, Chiapas, inmersa en la región mejor conocida como el Soconusco. El clima en ambos sitios es similar, cálido subhúmedo, cuya temperatura promedio es de 28 ± 1°C y la precipitación local acumulada es de 1110 mm. También durante el verano, regularmente se presenta sequía estacional de más menos 20 días consecutivos. La precipitación total en verano en esta región es 2,200 mm; y la humedad relativa promedio anual es mayor a 85%. El suelo con base en su textura, en el primero y segundo sitio de observación fueron tipo franco y franco limoso, respectivamente; cuyos pH fueron 6.6 y 6.3, ligeramente ácidos y contenidos de materia orgánica de 2.5% y 2.4%. Los suelos predominantes en esta región son una combinación de andosol molico y fluvisol eutricto originados por el arrastre de cenizas volcánicas; con textura franca y franco arenosa, un pH ligeramente ácido, alta capacidad de retención de humedad y nutrientes, suelos permeables y de coloración pardo rojiza (Rovelo, 1994).

Los experimentos consistieron de tres tratamientos de 1.5 ha (150m de largo por 100m de ancho) distribuidos como parcelas independientes: subsolado (SUB) más un paso de rastra y siembra mecanizada; barbecho (BAR) más un paso de rastra y siembra mecanizada, y rastro (RAS), dos pasos de rastra y siembra mecanizada. La preparación del suelo para la siembra se hizo en la segunda quincena del mes Junio. Las fechas de siembra fueron variables, desde el 10 hasta el 22 de Julio durante este periodo de observación. El tratamiento de subsolado se realizó durante la estación seca (abril); toda vez que el propósito de esta práctica fue romper la compactación observada a ± 35 cm de profundidad durante el

periodo previo a la estación lluviosa. Entre los propósitos de esta investigación fue proveer una condición física friable del suelo y coadyuvar al incremento de la infiltración en este tratamiento a fin de observar su relación con los tratamientos de barbecho y rastreo. Pero también, determinar la respuesta del picudo de la soya bajo el impacto de los sistemas de manejo del suelo señalados. El material vegetal fue la variedad de soya Huasteca 100 generada por el Campo Experimental Sur de Tamaulipas dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP. Esta variedad es un material de porte y ciclo intermedio. Durante la cosecha, para observar la respuesta del insecto en función de tres sistemas de manejo del suelo: subsolado, barbecho y rastreo. Durante el periodo de la cosecha al interior de cada tratamiento se consideraron seis puntos de observación (repeticiones), a partir de los cuales se obtuvieron las muestras de campo (granos por parcela útil). En postcosecha, en el laboratorio, de cada muestra (repetición) contaron 100 granos y se seleccionaron los granos afectados por el picudo de la soya, *Rhyssomatus nigerrimus*, y se pesaron; después cada una de las muestras infestadas (de cada repetición) se relacionó con el peso total de la muestra para obtener el porcentaje de daño. A partir de esta información se conformó una matriz de valores, misma que fue ordenada para analizarse mediante un diseño de parcelas divididas, donde las parcelas grandes fueron los sitios experimentales (San Antonio y 1° Sección de Tinajas) y la parcela chica fueron los sistemas de manejo del suelo (subsolado, barbecho y rastreo), por seis repeticiones (porcentaje de daño por el picudo de la soya). Los análisis de varianza correspondientes fueron procesados mediante el paquete estadístico SAS V 9.2.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 se presentan valores de los pesos de grano infestados por el picuro de la soya en función de los diferentes tratamientos de manejo del suelo correspondientes al sitio experimental San Antonio, ciclo: PV-2023. Estos pesos en relación con el peso total de la muestra obtenido de la parcela útil en cada una de las repeticiones, se determinó el cociente de granos dañados sobre el total de la muestra y éste se expresó como porcentaje de afectación, mismos valores que se observan en el cuadro 2.

Cuadro 1. Peso de grano (g) afectados por el picudo de la soya en relación con la muestra de la parcela útil en el sitio experimental San Antonio. Ciclo: PV-2024.

Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Subsolado	61.5	132.5	101.5	60.5	48.4	54.8
Barbecho	126.7	70.5	171.8	92.6	107.4	141.2
Rastreo	46.7	171.8	43.4	71.2	89.7	107.5

Cuadro 2. Relación porcentual de granos afectados por picudos de la soya (*Rhyssomatus nigerrimus*) correspondientes al sitio San Antonio, municipio de Tapachula, Chiapas. Ciclo: PV-2024.

Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Subsolado	3.9	8.4	7.2	4.8	3.6	3.4
Barbecho	11.5	5.1	11.8	7.8	7.3	10.0
Rastreo	4.0	12.4	3.8	6.0	6.1	8.8

Con relación a los resultados de valores observados dañados por el picudo de la soya en el sitio de observación 1° Sección de Tinajas, de acuerdo con el mismo procedimiento, en el cuadro 3 se presentan los valores observados de los pesos de granos dañados y en el cuadro 4 se presentan estos valores en porciento, surgidos del cociente de valores afectados entre el peso total de la muestra en la parcela útil (repeticiones) y multiplicados por cien. Así se determinó el porcentaje de daño causado por este insecto, valores presentes en el cuadro 4.

Cuadro 3. Peso de grano (g) afectados por el picudo de la soya en relación con la muestra de la parcela útil en el sitio 1° Sección de Tinajas. Ciclo: PV-2024.

Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Subsolado	14.2	16.4	27.4	52.3	25.5	12.3
Barbecho	26	51.3	65.6	100.1	41.7	37.6
Rastreo	39.6	37.8	50.1	20.5	33.8	43.3

Cuadro 4. Relación porcentual de granos afectados por picudos de la soya (*Rhyssomatus nigerrimus*) correspondientes al sitio 1° Sección de Tinajas, municipio de Tapachula, Chiapas. Ciclo: PV-2024.

Tratamiento	I	II	III	IV	V	VI
Subsolado	3.3	5.0	6.3	8.5	6.5	4.7
Barbecho	8.4	13.0	12.6	13.7	10.9	13.5
Rastreo	12.2	12.2	11.3	5.1	7.7	10.6

Con base en los valores presentes en los cuadros 2 y 4, respectivamente; el análisis de varianza de parcelas divididas, éste reveló diferencia significativa por sitios de observación y diferencia altamente significativa por sistemas de manejo del suelo. Los resultados de este análisis se presentan en el cuadro 5. Se observó que estos resultados, debido a la distribución espacial del insecto, aun cuando la distancia entre ambos sitios experimentales, distan solo de 10 km las poblaciones de picudos fueron mayores en el sitio “1° Sección de Tinajas”, ya que el porcentaje de daño al grano de la soya en este sitio de observación fue superior, mientras que hubo menos poblaciones de este insecto en el sitio “San Antonio”, y por consiguiente el porcentaje de daño al grano de la soya fue menor. Sin duda, la diseminación del insecto es una característica natural de su comportamiento espacial; pero, también pudo deberse a la fuerte presión que esta plaga ha ocasionado en los últimos años y por este motivo, se han estado haciendo aplicaciones de agroquímicos específicos en algunos lugares para su control, y, la presencia del picudo en el sitio de “1° Sección de Tinajas” pudo haber sido mayor, y menos control que en el sitio “San Antonio”. Con respecto a los sistemas de manejo del suelo la experiencia ha demostrado que, el subsolado profundo expone parcialmente a las pupas del insecto a la intemperie y de esta manera rompe parcialmente su ciclo de hibernación, lo que contribuye a su control. Sobre esta base, el análisis de varianza indicó que, bajo el sistema de subsolado debido a la poca prevalencia del insecto, el porcentaje de granos dañados fue menor que en resto de los tratamientos (barbecho y rastreo).

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza sobre el porcentaje de daño al grano de soya por del picudo de la soya (*Rhyssomatus nigerrimus*) en función de tres sistemas de manejo del suelo, en dos sitios de observación experimental en el Soconusco, Chiapas. Ciclo: PV-2024.

Sitios de observación	Promedios	Duncan ($\alpha=0.05$)	Sistemas de manejo del suelo	Promedios	Duncan ($\alpha=0.05$)
San Antonio	6.99	b	Subsolado	5.47	b
			Barbecho	10.47	a
1° Sección de Tinajas	9.19	a	Rastreo	8.35	a

Con respecto al control del insecto, algunas investigaciones han sugerido el control cultural del picudo de la soya, que contempla actividades, tales como escarda, subsolado, control de malezas (manual o químico) y eliminación de residuos de cosecha por medio de la trilla (CESAVE Chiapas, 2023; López-Guillén *et al.*, 2023e). Desafortunadamente, no se dispone de información sobre los resultados de las medidas de control implementadas contra *Rhyssomatus nigerrimus*. Como fue mencionado este insecto se alimenta tanto en el estado vegetativo como reproductivo de plantas de soya. En estado vegetativo, los adultos del picudo se alimentan en brotes tiernos, yemas apicales, peciolos, ramas y tallos de plantas bien desarrolladas. Sin embargo, los daños más serios en el estado vegetativo se han observado en plántulas de soya recién emergidas, las cuales se pueden secar y morir. En el estado reproductivo de la soya, tanto los machos

como las hembras del picudo pueden alimentarse en flores y vainas, pero son las hembras las que ocasionan mayores daños porque depositan sus huevos en el interior de las vainas, en donde las larvas se alimentan con los granos en formación hasta destruirlos total o parcialmente (López-Guillén et al., 2012a). Se ha reportado que los granos dañados parcialmente por este insecto no germinan (Terán-Vargas y López-Guillén, 2014). El picudo, aparte de dañar directamente al grano de soya debido a la reducción de peso y contenido de aceite, también facilita el desarrollo de fitopatógenos que terminan por pudrir los granos (López-Guillén et al., 2012a). En el marco de esta investigación, cabe destacar que este insecto (*Rhyssomatus nigerrimus*), es una especie que tiene una sola generación por año y pasa por cuatro estadios: huevo, larva, pupa y adulto. Después que la hembra deposita sus huevos fertilizados en el interior de la vaina, éstos eclosionan y se desarrollan como larvas, las cuales en el último instar (prepupas), se dejan caer en el suelo para continuar su desarrollo como pupas y adultos durante aproximadamente 7 meses (Martínez, 2015). El picudo tiene dos fases de desarrollo, y es en la fase activa, que se lleva a cabo como adultos, huevos y larvas en la planta y vainas de soya, respectivamente; ya que, en su fase inactiva, esta ocurre en el suelo como pupa, imago teneral y adulto joven durante 7 meses (Terán-Vargas y López-Guillén, 2014; Martínez, 2015). Otros estudios señalan que el picudo durante fase inactiva permanece “dormido” como adulto en el suelo por aproximadamente 6 meses; en espera para que se establecen las lluvias en el mes de junio y el suelo se prepare para siembra. Cuando los adultos del picudo emergen pueden colonizar cultivos de soya recién establecidos o malezas ubicadas en la periferia de los cultivos. Los adultos del picudo de la soya son insectos de vuelo muy corto, los cuales básicamente se desplazan caminando y se esconden entre hojas secas de plantas de soya o malezas, o bien entre los agregados del suelo.

Conclusiones

Con base en los resultados de esta investigación se determinó que el subsolado del suelo para el cultivo de soya bajo el régimen hídrico de temporal, por los atributos conocidos de esta práctica como la ruptura del piso de arado durante la época seca, esta acción permite mayor intercambio de flujos de aire y calor en la zona hospedera donde se alojan las pupas del picudo de la roya y este efecto, reduce la tasa poblacional de hibernación de este insecto. En relación con la sanidad final del grano de soya, probablemente la precipitación mayor (830 mm/570 mm) en el sitio experimental San Antonio sobre el sitio de observación 1° Sección de tinajas influyó en mayor infestación del picudo de la soya en la etapa final del cultivo.

Referencias bibliográficas

- CESAVE (Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Chiapas). 2023. Manejo fitosanitario de la soya (campaña fitosanitaria *Rhyssomatus nigerrimus*). Recuperado el 30 de marzo de 2023, de https://www.cesavechiapas.org/p_mfs.php.
- López-Guillén, G., A.P. Terán-Vargas, J. Gómez Ruiz, J. San-Juan Lara, G.H. RosadoNeto, C.W. O'Brien, L. Cruz-López, L.A. Rodríguez-Del-Bosque, and R. Alatorre-Rosas. 2012a. First record of *Rhyssomatus nigerrimus* (Curculionidae: Molytinae: Cleogonini) infestations in soybeans in Mexico. *Florida Entomologist* 95: 524-528.
- López-Guillén, G., Alonso Báez, M., y Grajales Solís, M. 2023e. Influencia de la rotación de cultivo en las poblaciones y daños de *Rhyssomatus nigerrimus* (Coleoptera: Curculionidae). *Memorias del IV Congreso Nacional Entomología Aplicada*, Chapingo, Estado de México, México.
- Martínez-Zarate, C. J. 2015. Ciclo biológico y distribución espacial del picudo mexicano de la soya (*Rhyssomatus nigerrimus*). Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. 130 p.

HUMEDAD EDÁFICA Y SUBSOLADO: SU EFECTO EN LA PRODUCCIÓN DE SOYA EN CONDICIONES DE TEMPORAL

Moisés Alonso-Báez^{1*}, Manuel Grajales-Solís¹, Guillermo López-Guillén¹, Biaani B. Martínez-Valencia¹

¹INIFAP, CIRPAS, CERI

*Autor para correspondencia: alonso.moises@inifap.gob.mx

Palabras clave. Soconusco, leguminosa, cultivo.

Introducción

En la región del Soconusco, Chiapas, Región Pacífico sur de México, actualmente se siembran 14,000 ha de soya bajo el régimen hídrico de temporal, un periodo de temporal lluvioso que comprende de mayo a octubre (seis meses). El temporal genera las condiciones edafo-climáticas naturales, apropiadas para establecer la soya. Durante este periodo la magnitud de la precipitación estacional aumenta desde el litoral del Pacífico hasta la zona orográfica de 700 a 2100 mm. La precipitación se distribuye adecuadamente sobre la zona productora de soya que comprende cinco municipios. Una precipitación de 500 mm cubre satisfactoriamente los requerimientos del cultivo durante su ciclo de producción. La siembra comercial de soya se ha hecho extensiva por la naturaleza del cultivo, que no es muy exigente en cuanto a requerir suelos de alta fertilidad por ser leguminosa. La soya, como leguminosa tiene la posibilidad de fijar el nitrógeno requerido para su desarrollo. La mayoría de los suelos en esta región son de origen volcánico con textura franco y franco limoso. El cultivo de soya en esta zona se introdujo en 1975 y en los años 80's la superficie sembrada alcanzó un record de 27,000 ha. La siembra comercial desde su introducción se realiza durante la segunda quincena de junio hasta el 25 de julio (fechas óptimas de siembra), después de que se inicia el periodo estacional de temporal, que favorece la germinación intensa de maleza. Sin embargo, la preparación del suelo para su siembra y eliminar la maleza (Alakukku *et al.* 2003), se ha realizado en condiciones de suelo húmedo (De Jong-Hughes *et al.*, 2001; Donkor *et al.*, 2002; Rocky, 2011). La intensidad de pasos de maquinaria para estos propósitos ocasiona compactación del suelo (Reintam *et al.*, 2005; Bawa *et al.*, 2019; Grajales *et al.*, Domzal y Hodara, 1991). En la zona de interés, la generalidad de los suelos (Alonso *et al.*, 2023), poseen niveles de compactación inmediatamente después de la capa arable (± 30 cm) considerados altos; donde se observa "piso de arado" y con base en los resultados de investigaciones en esta zona, se sugiere el subsolado, consistente en romper la capa compacta para coadyuvar a incrementar la infiltración del agua en el suelo, y aumentar el almacenamiento de humedad en la zona radical del cultivo (Alonso *et al.*, 2023); dicha humedad contribuye a contrarrestar el periodo de sequía intraestival que se presenta regularmente cada año en la etapa de crecimiento del cultivo (entre el 15 de julio y 15 de agosto). El subsolado es una actividad se debe realizar que en esta zona durante el periodo seco en el mes de abril a una profundidad superior (70 cm) para romper el "piso de arado" que aparece aproximadamente a una profundidad de 30 cm (Horn and Fleige, 2003; Horn *et al.*, 2004), lo que permite mayor tasa de infiltración, y que la lámina infiltrada acumulada alcance las raíces del cultivo (Landl *et al.*, 2019). El subsolado, de acuerdo con la literatura especializada (Alakukku, 1996; Raper *et al.*, 1998; Odey, 2018) se recomienda realizarlo cada 3 o 5 años, en función de la intensidad de uso del suelo. En relación con lo anterior, la experiencia de investigación realza el uso de subsolado, ya que mejora las propiedades hidráulicas (infiltración básica, conductividad hidráulica a saturación y la acumulación de una lámina mayor en el subsuelo). La importancia socioeconómica del cultivo de soya en esta región de Chiapas es evidente; sin embargo, la compactación de los suelos debido al manejo histórico para su siembra requiere de prácticas culturales que disminuyan la severidad de la compactación. Sobre esta base se realizó esta investigación cuyo objetivo fue determinar el impacto del subsolado sobre el comportamiento de la humedad edáfica, en función de la lámina infiltrada acumulada, en el rendimiento de la soya en condiciones de régimen hídrico de temporal en el Soconusco, Chiapas.

Materiales y Métodos

El estudio comprendió 3 años (2019, 2022 y 2023). Se establecieron dos experimentos en dos sitios: San Antonio y 1° Sección de Tinajas, ambos en el municipio de Tapachula, Chiapas. Para determinar el nivel de compactación de los suelos se realizaron estudios preliminares (2019), se abrieron perfiles de suelo de 1.20 m de profundidad para detectar "el piso de arado", donde este se ubicó a ± 30 cm de profundidad.

Sobre esta base se programó la profundidad del subsolado a 70 cm de profundidad. De acuerdo con el objetivo de esta investigación se propusieron tres tratamientos: subsolado (SUB), barbecho (BAR) y rastreo (RAS). Previo al periodo experimental, en el año 2019, después de delimitar el área (0.5 ha) que ocuparía cada tratamiento se realizaron tres pruebas de infiltración por el método del doble cilindro y por un tiempo de 8 horas cada una; después en el año 2023 se repitieron las pruebas de infiltración para sumar 18 pruebas en total. Con estos resultados se estimó el almacenamiento de la humedad edáfica en los tratamientos y su efecto sobre el rendimiento. A partir de la información de campo (infiltración vs tiempo) se determinaron los parámetros hidráulicos promedio del suelo en cada tratamiento: tasa de infiltración, $i(t)$, conductividad hidráulica a saturación, K_s , y lámina infiltrada acumulada, $I(t)$. Esta última permitió estimar cuantitativamente el comportamiento de la humedad edáfica en el perfil radical del cultivo de soya. Las fechas de siembra del cultivo fueron variables entre el 8 y 18 de julio durante los años del periodo experimental. Se sembró la variedad de soya Huasteca 600 generada en el Campo Experimental Huastecas del INIFAP en Tamaulipas. El manejo agronómico del cultivo se realizó con base en el paquete tecnológico de soya generado por el Campo Experimental Rosario Izapa-INIFAP para la región del Soconusco, Chiapas. La lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, se estimó como el promedio de la humedad edáfica en la zona radical del cultivo de cada uno de los tratamientos: SUB, BAR, y RAS; y del impacto de la lámina infiltrada acumulada, $I(t)$, en cada tratamiento sobre el rendimiento promedio de grano de soya.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1 se presentan los parámetros iniciales de humedad e hidráulicos del suelo en cada uno de los sitios de observación, los cuales mostraron sólo una ligera variabilidad porque la textura del suelo en ambos casos correspondió a un tipo franco.

Cuadro 1. Parámetros iniciales de humedad e hidráulicos de los sitios experimentales (2019).

Parámetros [#]	1° Sección de Tinajas Promedio	San Antonio Promedio
θ_{PMP} ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	13.5	14.8
θ_{CC} ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	27.6	27.5
θ_s ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$)	35.45	37.9
D_a (g cm^{-3})	1.71	1.64
HD (cm m^{-1})	13.91	12.71
q_o (cm min^{-1})	0.012	0.016
K_s (cm min^{-1})	0.00198	0.0056

[#] θ_{PMP} , θ_{CC} , θ_s , D_a , HD , q_o , K_s ; corresponden a: contenido volumétrico de humedad a punto de marchitamiento permanente, capacidad de campo, contenido volumétrico de humedad a saturación, densidad aparente, humedad disponible, tasa de infiltración y conductividad hidráulica a saturación, respectivamente.

En la figura 1 se muestran los resultados promedio de 3 años de observación experimental del comportamiento de la humedad edáfica en la zona radical del cultivo correspondiente a cada tratamiento. La humedad edáfica, fue función de la lámina infiltrada acumulada, donde se infiere que ésta fue inducida en el corto plazo debido al impacto del subsolado, objetivo fundamental de esta investigación. Esta enmienda con base en la experiencia vertida en la literatura especializada (Alakukku, 1996; Raper et al., 1998; Odey, 2018), tuvo el propósito de romper el piso de arado, ya que dicha práctica origina, en primer lugar, flujos preferenciales de agua hacia el interior del subsuelo, aunado al reacomodo de las partículas del suelo que genera un mayor espacio poroso, incrementa la tasa de infiltración y demás parámetros hidráulicos (McCarthy, 2007). En condiciones de agricultura de temporal, como fue el caso, la práctica del subsolado favorece el almacenamiento de un mayor volumen de agua edáfica en la zona del perfil donde se desarrollan las raíces del cultivo. Sobre esta base, se incrementa la disponibilidad de agua y nutrimentos en dicha zona por más tiempo para mitigar la canícula que regularmente se presenta año con año durante el periodo de crecimiento del cultivo. En este contexto, otros beneficios de utilizar el subsolado, es una mayor infiltración, que contribuye a disminuir la erosión hídrica durante eventos intensos de la lluvia, ya que permite que las raíces penetren a mayor profundidad para explorar la humedad (Botta et al., 2010); esto es porque la lámina infiltrada no sólo se almacena en la vecindad de la superficie donde las plantas están en

crecimiento activo que agotan la humedad disponible, y la humedad edáfica en general alcanza una mayor profundidad, para que las raíces del cultivo pueden explorar esta humedad. En relación con lo anterior, los resultados de esta investigación revelaron que realizar el subsolado por 3 años promovió, en el corto plazo, una respuesta mayor de la lámina infiltrada acumulada, estrechamente relacionada con un rendimiento promedio mayor de grano de soya con respecto a los tratamientos barbecho y rastreo.

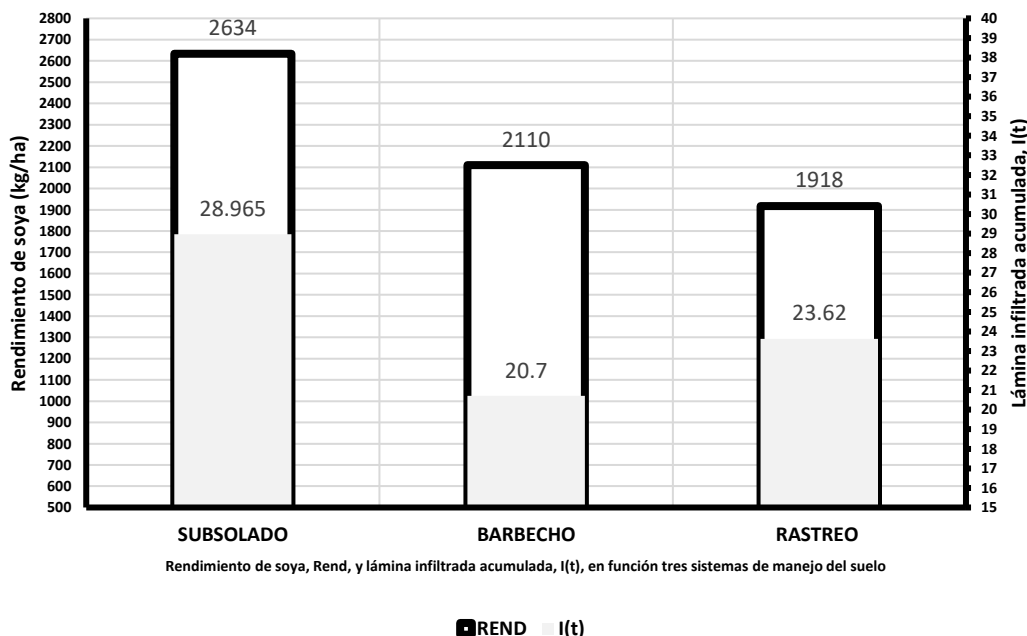


Figura 1. Subsólado y su relación con el barbecho y rastreo del suelo sobre el almacenamiento de la humedad edáfica en función de la lámina infiltrada acumulada y rendimiento de grano de soya en condiciones de régimen hídrico de temporal.

Estos resultados revelaron que el subsolado promovió mayor rendimiento de grano de soya como resultado de una mayor lámina infiltrada acumulada de 28.96 cm sobre el promedio de 22.17 cm en los tratamientos barbecho y rastreo, asimismo, esta práctica permitió la acumulación de un volumen mayor de humedad edáfica en el perfil radical del cultivo, el cual influyó en un mayor rendimiento promedio, 25% y 39% al del barbecho y rastreo, como consecuencia subsolado.

Conclusiones

En el corto plazo el subsolado, en relación con el barbecho y rastreo del suelo, mostró una tendencia superior para incrementar el almacenamiento de la humedad edáfica en la zona radical de la siembra de soya en condiciones de régimen hídrico de temporal, e incrementó el rendimiento de grano del cultivo en el Soconusco, Chiapas.

Referencias bibliográficas

- Alakukku, L (1996). Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. I. Short-term effects on the properties of clay and organic soils. *Soil and Tillage Research* 37, 211-222.
- Alakukku, L.P, Weibkopf, W.C.T, Chamen, F.G, Tijink, J.P, van der Linden, S, Pires, C, Sommer R and Spoor, G (2003). Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review. Part 1. Machine/soil interactions- *Soil and Tillage Res.*, 73:145- 160.
- Bawa, Seidu Iddrisu, Charles Quansah, Henry Oppong Tuffour, Awudu Abubakari, and Caleb Melenya (2019). "Soil Compaction and Soil Amendments on the Growth and Biomass Yield of Maize (*Zea Mays* L.) and Soybean (*Glycine Max* L.)". *International Journal of Plant & Soil Science* 27 (6):1-16.

- Botta, G. F., Tolon, A., Becerra, X. Lastra Bravo, M (2010). Tourn.Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean pampas. *Soil & Tillage Research*, 110: 167- 174.
- De Jong-Hughes, J.M., J.B. Swan, J.F. Moncrief, W.B. Voorhees (2001). *Soil Compaction: Causes, Effects and Control (Revision)*. University of Minnesota Extension Service BU-3115-E.
- Domzal H y Hodara J (1991). Physical properties of three soils compacted by machine wheels during field operations. *Soil Till. Res*, 19:227-236.
- Donkor, N. T., J. V. Gedir, R. J. Hudson¹, E.W. Bork, D. S. Chanasyk, and M. A. Naeth (2002). Impacts of Grazing Systems on Soil Compaction and Pasture production in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 82: 1–8.
- Horn, R., and Fleige, H., (2003). A method of assessing the impact of load on mechanical stability and on physical properties of soils. *Soil and Tillage Research*, 73: 89- 100.
- Horn, R., Vossbrink, J., S. Becker (2004). Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties, *Soil & Tillage Research*, 79: 207- 219.
- Landl, M.; Schnepf, A.; Uteau, D.; Peth, S.; Athmann, M.; Kautz, T.; Perkons, U.; Vereecken, H.; Vanderborght, J (2019). Modeling the Impact of Biopores on Root Growth and Root Water Uptake. *Vadose Zone Journal*, Madison, v.18, n.1, p.0-20, 2019.
- McCarthy D. F (2007) .*Essentials of Soil Mechanics and Foundations*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall. P.595. ISBN, 2007, 0-13- 114560-6
- Odey, S.O. 2018. Overview of engineering problems of soil compaction and their effects on growth and yields of crops. *European Journal of Advances in Enineering and Technology* 5, 701 709.
- Reintam E, Kuht J, Loogus H, Nugis E, Trukmann K (2005). Soil compaction and fertilisation effects on nutrient content and cellular fluid pH of spring barley (*Hordeum vulgare L.*). *Agron. J.* 3(2):189-202.
- Rocky Lemus (2011). Breaking soil compaction: Does it increase forage production? *Mississippi State University Extension Service*. Volume 4, Issue 1.

EVALUACIÓN DE BIOINSUMOS PARA LA NUTRICIÓN INTEGRAL DEL MAÍZ EN LA FRAILESCA CHIAPAS

Robertony Camas-Gómez¹, Pedro Cadena-Íñiguez¹, Walter López-Báez¹, Rafael Ariza-Flores², Rausel Camas-Pereyra^{3*}, Néstor Humberto López-de la Cruz³

¹INIFAP, ECECH. ²CIRPAS. ³AGRICULTURA

*Autor para correspondencia: raus.camas.18@gmail.com

Palabras clave. Maíz, bioinsumos, agroecología.

Introducción

Chiapas ha sido uno de los estados más productores de maíz en el Sureste de México; sin embargo, esto se debe a la extensa área sembrada ($689,000 \text{ ha}^{-1}$), más no por el rendimiento por hectárea. En el 2021, la media estatal de rendimiento fue de 1.9 ton/ha^{-1} . De los diez estados más productores, Chiapas ocupa el 8º. lugar con más de 1.2 millones de toneladas.

Uno de los principales problemas que limita el logro de una agricultura sostenible en la producción de maíz es la degradación de los suelos y pérdida de su fertilidad. Del paquete tecnológico para maíz, aproximadamente el 30% del costo se refiere a la fertilización. Este puede incrementar ante situaciones de alza de precios de los fertilizantes como los sucedidos en el año 2022. Una manera de contribuir al aumento de la producción de maíz y a la vez fomentar la sostenibilidad del suelo, es realizar prácticas de fertilización integral.

Objetivo

Determinar el efecto del uso de bioinsumos sobre el rendimiento del maíz y su beneficio económico, para la generación de un manejo nutricional que permita la producción sostenible de maíz en el estado de Chiapas.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la región maicera de la Frailesca, Chiapas, en las localidades El Arroyo, municipio del Parral, CECECH, municipio de Ocozocoautla y Francisco I. Madero, municipio de Ángel Albino Corzo, Chiapas. En el cuadro 1, se presentan los resultados de análisis de muestras compuestas de suelo, realizadas a 20 cm de profundidad. Las determinaciones realizadas fueron pH con potenciómetro en agua 1:2, textura (Bouyoucos, 1962), Bray 1-P (Bray y Kurtz, 1945), K y Mg extraídos con N acetato de amonio, pH 7 (Knudsen *et al.*, 1982), Cu y Zn extraídos con DTPA (Lindsay y Norwell, 1978), B azometine con agua caliente (Berger y Truog, 1939) y Al intercambiable extraído con KCl 1N (Lin y Coleman, 1960). Con base en los resultados del análisis de suelo se determinó que las localidades El Arroyo, CECECH y Francisco I. Madero presentaban fertilidad baja, media y alta, respectivamente. Así también para cada localidad se calcularon las fórmulas de fertilización para una meta de rendimiento de 7 t ha^{-1} .

Cuadro 1. Características físicas y químicas del suelo de las parcelas experimentales.

Localidad	Textura	Dap	pH	M. O	P	K	Ca	Mg	Zn	S	B	N O ₃	CIC	Fórmula Fertilización
		gr/c m ³	1:2 agua	%				ppm					meq/ 100 g	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O
El Arroyo	Francoso	1.2	7.1	0.9	5.3	69	1530	287	1	0.2	1	10	10	260-60-100
CECECH	Arcilloso	1.2	6.9	2.6	20	155	3134	1101	0	17	0	12	25	117-15-30
Francisco I. Madero	Francoso	1.2	6.4	4.8	15	447	1550	304	3	143	2	38	30	83-30-15

En el cuadro 2, se observa que entre las localidades existen diferencias entre los años de cultivo, el manejo del sistema de labranza y uso de bioinsumos en años anteriores, lo cual influyó sobre los resultados de la evaluación. En todas las localidades se sembró el H-391.

Cuadro 2. Fertilidad del suelo, años de cultivo, sistemas de labranza, manejo de residuos, uso previo de bioinsumos, fechas de siembra en cada localidad.

	Fertilidad	Años de cultivo	Sistema de cultivo previo al 2022	Sistema de labranza	Uso previo de bioinsumos	Fecha de siembra
El Arroyo	Moderadamente baja	3	2016-2018 pastizal 2019 cacahuete 2020-2022 maíz monocultivo	Dos rastreos	Lixiviado de lombrices vermicomposta, supermagro y microorganismos especializados por tres años antes	7 julio 2022
Francisco Madero	Alta	2	Montaña antes del 2021 2021-2022 maíz monocultivo	Labranza cero 75 % rastrero	Lixiviado de lombrices un año antes	29 junio 2022
CECECH	Media	30	Maíz monocultivo	Arado Dos rastreos	Sin bioinsumos	29 julio 2022

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con tres repeticiones. Con base a la fórmula de fertilización química total (FQ). Esta se disminuyó en 25% y 50% para definir los tratamientos de 75% FQ y 50% FQ más bioinsumos.

El tratamiento de bioinsumos fue formado por un Consorcio de Microorganismos Especializados (CME) de *Azospirillum brasilense* (3.2×10^7 UFC/mL), *Bacillus subtilis* (4×10^7 UFC/mL), *Glomus intraradices* (4 esporas y propagulos/mL) y *Azotobacter* sp. (3×10^8 UFC/mL) así como lixiviados de composta enriquecidos con minerales con pH de 8.5, Conductividad Eléctrica de 35 mS/cm y Oxido Potencial Reducción (ORP) de 150 y vermicomposta. Todos estos fueron producidos en biofábrica, por productores innovadores y técnicos agroecológicos del proyecto Estrategia de Acompañamiento Técnico del programa Producción para el Bienestar.

Los tratamientos evaluados fueron: 1) 100% FQ, 2) 75% FQ más bioinsumos (125 kg de vermicomposta, 8 L de CME y 60 L de lixiviado), 3) 50% FQ más bioinsumos (250 kg de vermicomposta, 16 L de CME y 120 L de lixiviado), 4) Nutrición con bioinsumos (500 kg de vermicomposta, 32 L de CME y 240 L de lixiviado), 5) Fertilización tradicional del productor (115-00-00), 6) Testigo (0 nutrición). Se sembraron manualmente 75,000 semillas ha^{-1} y se proporcionó eficiente control de malezas, plagas y enfermedades. La fertilización química se realizó en tres aplicaciones. En la primera, a la siembra o V1, se aplicó una tercera parte de nitrógeno (N) y el 100% de fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) (para el tratamiento 5 únicamente fósforo). La segunda y tercera fertilización se realizaron en la fase de V5 y V11, y en cada una se aplicó una tercera parte de N restante. Los bioinsumos se aplicaron a drench después de cada fertilización química, dirigiendo la aspersión a la zona donde se depositó el fertilizante. Una cuarta aplicación se realizó en la fase de R1.

El tamaño de las parcelas experimentales fue de seis surcos de 0.8 m de ancho y 7 m de largo (33.6 m^2). La parcela útil para evaluación de rendimiento de grano fue de dos surcos centrales de 5 m de largo (8 m^2). El peso del grano se ajustó al 14% de humedad.

Se realizó un análisis estadístico para un diseño de bloques completos al azar, con el software INFOTAT V.2018. Cuando el ANOVA detectó diferencia estadística significativa se realizó comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Se evaluó la eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN), definida por el incremento en el rendimiento por unidad de nitrógeno aplicado. Para ello se utilizó la ecuación $\text{EAN} = (\text{RGF} -$

RGT) /F, donde: RGF = rendimiento de grano del cultivo con N; RGT = rendimiento de grano del cultivo testigo y F = cantidad de N aplicado. Se realizó un análisis financiero mediante un presupuesto parcial, costo y beneficio neto (CIMMYT, 1988).

Resultados y Discusión

El cuadro 3, presenta por cada localidad, el rendimiento y la EAN, para cada tratamiento evaluado. El análisis de varianza detectó en las tres localidades, diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) para el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento. En las localidades El Arroyo y Francisco I. Madero el mayor rendimiento lo presentaron los tratamientos 100% FQ, 75% FQ+bioinsumos y 50% FQ+bioinsumos y para el CECECH 100% FQ y 75% FQ+bioinsumos, siendo a la vez iguales estadísticamente. Esto indica que la disminución del 25% y 50% de la FQ en las dos primeras localidades y del 25% en la tercera, complementado con bioinsumos no implicaron una disminución del rendimiento, con respecto al tratamiento de 100% de FQ. Lo anterior lo reafirma Aguirre (2006) quien señala que niveles de fertilización menores a 100 kg de N ha^{-1} junto con microorganismos indujeron mejor respuesta en rendimiento en comparación con niveles superiores de nitrógeno. Por su parte (Schwenke *et al.* 1997) señala que al incrementarse los niveles de nitrógeno en el suelo los microorganismos dejan de fijar nitrógeno atmosférico y por consiguiente toman el disponible del suelo ocasionando que no exista simbiosis.

Aunado a lo anterior, también se mejoró la EAN con la aplicación de niveles crecientes de bioinsumos. Al aplicar el 100% de fertilización química, se obtuvo en promedio una EAN de 26. La EAN aumentó a 36 con el tratamiento 75% Fq+125 kg de vermicomposta, 8 L de CME y 60 L de lixiviado y a 43 con 50% Fq+250 kg de vermicomposta, 16 L de CME y 120 L de lixiviado. Lo anterior presupone que al usar mayor cantidad de bioinsumos, se facilita la solubilización de varios elementos, existe mayor disponibilidad y absorción del N, redundando en mayor número de kilogramos de grano de maíz por kilogramo de N aplicado, esto indica que existió una simbiosis mutualista entre microorganismo-planta reflejándose en un aumento en rendimiento (Schippers *et al.*, 1987).

El efecto más notable de los bioinsumos, en la suplementación de los fertilizantes químicos en las tres localidades, se observó al compararlo con el tratamiento testigo. Se detectó diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$), con un incremento promedio de rendimiento de 1,229 kg ha^{-1} . Los mayores incrementos lo presentaron las localidades El Arroyo (1,535 kg ha^{-1}) y Francisco I. Madero (1,202 kg ha^{-1}). Esto se atribuye a los antecedentes de manejo sustentable del suelo en cada localidad. En la primera en su historial incluye; vegetación original de pastizal, tres años de cultivo previos con aplicación de bioinsumos, uno de ellos con cacahuete, y en la segunda, vegetación original de montaña, dos años de ser abierta al cultivo y su consiguiente mejor fertilidad. Otra manera de analizar el beneficio de los bioinsumos, es haciendo la conversión de la diferencia en kilogramos de maíz producidos en el tratamiento testigo y el de bioinsumos, suponiendo que se necesitan 23 kg de N por tonelada. En promedio el tratamiento testigo aporta 57 kg ha^{-1} de N y el de bioinsumos 53 kg ha^{-1} de N.

Lo anterior sugiere que en suelos recién abiertos al cultivo existe una mayor diversidad microbiológica que se potencializa aún más con el uso intensivo de los bioinsumos, mismos que, de acuerdo con (Aguirre 2006) fortalecen la relación planta-microorganismos y su contribución a minimizar los riesgos de degradación de los suelos y a maximizar el regreso de la energía a los sistemas de producción promoviendo una mayor eficiencia en la fijación de nitrógeno, además de solubilización de fósforo y potasio en el suelo y los que son aportados vía fertilización química contribuyendo de esta manera a la nutrición del cultivo y aumento en rendimiento (Aguirre *et al.*, 2009).

Para el caso del tratamiento de bioinsumos y el tradicional, los resultados indicaron que existió diferencia estadística altamente significativa ($p < 0.01$), con rendimientos promedio de 2,548 kg ha^{-1} y 3,503 kg ha^{-1} , respectivamente, lo cual representa una diferencia de 955 kg ha^{-1} . No obstante esta diferencia, se considera que la fertilización con únicamente bioinsumos presenta una excelente opción para cultivar maíz con productores que no cuentan con recursos económicos para adquirir fertilizantes químicos, logrando un rendimiento superior al promedio obtenido en el estado de 1.9 t ha^{-1} con el manejo convencional.

Análisis financiero

En la figura 1, se presenta el efecto promedio de diferentes tratamientos de fertilización en las parcelas experimentales. Se observa que el rendimiento y beneficio neto con el 75% de fertilización química (FQ) y el de 100 FQ son similares, pero el primer tratamiento implica \$ 2,620.00 menos de costo en FQ.

Cuadro 3. Efecto de diferentes tratamientos de nutrición en el rendimiento de maíz. Ciclo PV 2022.
Localidades El Arroyo, CECECH y Francisco I. Madero, Chiapas

Tratamientos	0 Nutrición	Bioinsumos	Tradicional	50% FQ+B	75% FQ+B	100% FQ
El Arroyo						
Dosis fertilización química			115-00-00	140-40-60	210-60-90	280-80-120
Rendimiento grano (kg ha ⁻¹)	1,857 d	3,392 c	3,900 b	7,934 a	8,033 a	8,066 a
EAN			18 N	43 N	29 N	22 N
Aporte de N	81	66				
CV 7 %; DMS 891						
Francisco I. Madero						
Dosis fertilización química			115-00-00	84-40-25	126-60-37	168-80-50
Rendimiento grano (kg ha ⁻¹)	1,250 d	2,452 c	3,727 b	5,023 a	7,500 a	7,634 a
EAN			22 N	45 N	50 N	38 N
Aporte de N	54	52				
CV 9 %; DMS 1,139						
CECECH						
Dosis fertilización química			115-00-00	58-07-15	88-11-22	117-15-30
Rendimiento grano (kg ha ⁻¹)	850 e	1800 d	2,882 c	3,935 b	4,297 a	3,771 a
EAN			11 N	40 N	30 N	18 N
Aporte de N	37	41				
CV 9 %; DMS 793						
Rendimiento promedio (kg ha ⁻¹)	1,319	2,548	3,503	5,631	6,610	6,490
EAN promedio			17	43	36	26
Aporte N promedio	57	53				

El tratamiento de 50% de FQ en comparación con el de 100% FQ, presenta un rendimiento y beneficio neto menor en 859 kg ha⁻¹ y \$ 4,331.00, respectivamente; sin embargo, este tratamiento incluye una reducción en costo de FQ por \$ 5,013.00. Este resultado y el de la aplicación de únicamente bioinsumos con un beneficio neto de \$ 13,235.00 indican que el uso de estos representa una excelente opción cuando los productores no cuentan con el capital suficiente para invertir en fertilizantes químicos.

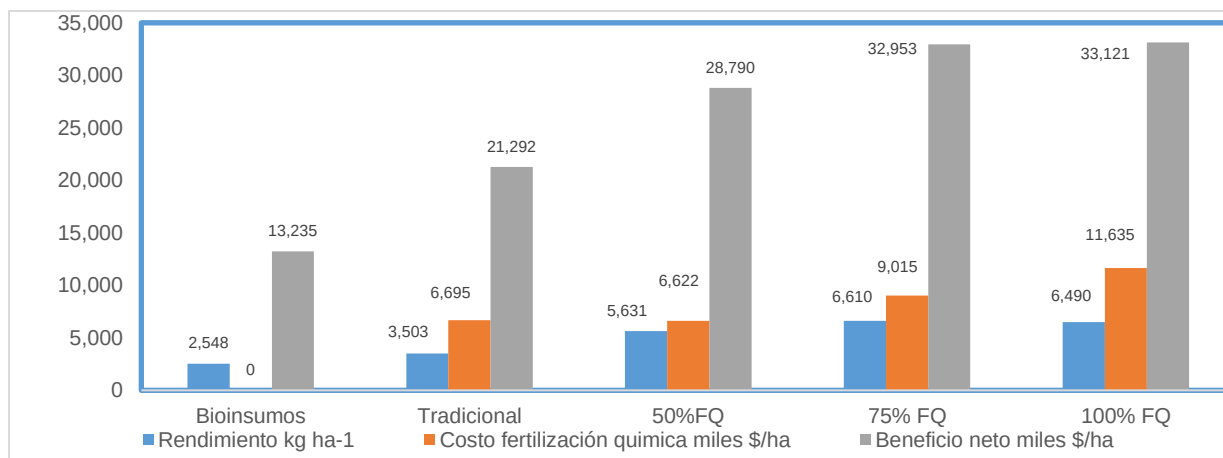


Figura 1. Rendimiento, costo de fertilización química y beneficio neto parcial de diferentes tratamientos de fertilización en maíz.

Conclusiones

La disminución de la fertilización química en un 25% y 50% en combinación con bioinsumos, presentaron rendimientos y rentabilidad económica aceptables, siendo una opción para suplir gradualmente el uso de fertilizantes químicos y contribuir a la transición agroecológica.

El uso de bioinsumos contribuye a mejorar la eficiencia agronómica del nitrógeno.

Existe un mayor efecto de los bioinsumos en suelos recién abiertos al cultivo y con antecedentes de uso de bioinsumos en años previos.

Referencias bibliográficas

Aguirre-Medina, J. F. 2006. Biofertilizantes microbianos: Experiencias agronómicas del programa nacional del INIFAP en México. Libro Técnico Núm. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigaciones Regionales Pacífico Sur. Campo Experimental Rosario Izapa. 201 p.

Aguirre-Medina, J.F., Irizar-Garza, M.B., Durán-Prado, A. Grageda-Cabrera, O.A., Peña-del Río, M.A. y Loredó-Ostí, C, Gutiérrez-Baeza, A. 2009. Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 80 p.

Schippers, B., Bakker, A.W. and Bakker, A.H. M. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Ann. Rev. Phytopathol.* 25:339-358.

Schwenke, G.D., D.F. Herridge., R.D. Murison, W. Felton and H. Marcellos. 1997. Management of crop residues and nitrogen fertility for improved dryland cereal production can benefit soil organic fertility. *In: Extending nitrogen fixation research to farmer s fields. Procc. Of a International Workshop of Managing Legume Nitrogen Fixation in te Cropping systems of Asia, 20-24 Aug 196. ICRISAT, Asia Center, Rupela, O., Johasen, C and Herridge, D.F. (eds) Andhra Pradesh. India. P. 154-165.*



RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN PARTICIPATIVA DEL SUELO Y AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TLAPATLAHUAYA

Griselda Tomé-Hernández^{1*}, Luis Alberto Villarreal-Manzo¹

COLPOS, Campus Puebla

*Autor para correspondencia: thgrisel8@gmail.com

Palabras clave. Gobernanza del agua, servicios ecosistémicos, azolvamiento.

Introducción

El presente proyecto pretende implementarse en el río perenne conocido como Tlapetlahuaya, con aproximadamente 8 km de longitud. Se forma de numerosos manantiales o ameyales ubicados en la barranca con el mismo nombre, dentro del territorio de la localidad de San Matías Tlalancaleca. Dicho cuerpo de agua es un afluente del río Alto Atoyac, por tanto, forma parte de la “Región Puebla-Tlaxcala”, que es una de las 30 regiones en estado de emergencia socioambiental y sanitaria (RESAs) (CONAHCYT México, 2021). Al igual que la cuenca del Alto Atoyac, la degradación ecológica de la microcuenca citada es preocupante, resultado de la falta de cobertura forestal, el cual, a su vez ha provocado la erosión de los suelos, aumentando en temporada de lluvias (ocurre de mayo a septiembre), el azolve del cauce, manantiales y de la presa que almacena el agua para uso agrícola, localizados en la parte media, específicamente en la localidad de San Matías Tlalancaleca.

También presenta una seria problemática de contaminación tanto por residuos sólidos urbanos como por descarga de aguas residuales de uso doméstico e industriales (principalmente de lavanderías textiles), los cuales están provocando la degradación del agua, suelo y aire en la microcuenca. Importa destacar que, el deterioro cualitativo y cuantitativo de los recursos naturales de la microcuenca repercute negativamente en la disponibilidad de agua para uso agrícola. También afecta en la salud de las personas expuestas a la contaminación, principalmente los agricultores y los residentes que habitan cerca del cauce. A lo anterior se suma, la pérdida de capacidad de los ecosistemas en la provisión de servicios ecosistémicos, ampliamente necesarios para el bienestar de la población que la habita.

La problemática ambiental, social, económica y sanitaria que presenta la microcuenca del río Tlapatlahuaya, demanda la realización urgente de acciones sustentables para la recuperación y conservación del suelo y agua, con la participación corresponsable entre los actores gubernamentales y no gubernamentales involucrados. En ese sentido, el propósito principal es contribuir a la restauración y conservación de la microcuenca citada, mediante el desarrollo soluciones sustentables, con la participación coordinada de actores gubernamentales y no gubernamentales locales.

Objetivo

Contribuir a la recuperación y conservación del suelo y agua en la microcuenca del río Tlapatlahuaya en beneficio de los usuarios agrícolas y del medio ambiente, mediante la implementación de prácticas de conservación y restauración de agua y suelo, con la participación coordinada de la sociedad civil, actores gubernamentales y no gubernamentales locales.

Objetivos específicos

Crear y capacitar a Comités Ambientales Comunitarios (CAC) en la comunidad de San Matías Tlalancaleca, integrados por ciudadanos, colectivos sociales, usuarios agrícolas, estudiantes de diversos niveles académicos, actores gubernamentales, entre otros, a fin de proponer, ejecutar y evaluar soluciones que coadyuven en la recuperación y conservación del suelo y agua en la microcuenca del río Tlapatlahuaya.

Diseñar, construir y dar mantenimiento trampas de sedimentos y basura en dos caídas de agua ubicadas en la parte media de la microcuenca, con el fin de evitar el azolve del cauce y manantiales, con la participación de los CAC constituidos.

Construir y dar mantenimiento a zanjas de captación de agua en la parte alta y media de la microcuenca para promover la infiltración del agua de lluvia al manto freático, con la participación de usuarios del agua y actores gubernamentales.

Crear franjas vivas de protección en las riberas del río Tlapatlahuaya con especies forestales y frutales que se adapten a las condiciones climáticas del lugar, para incrementar la recarga de agua al acuífero,

evitar la erosión y el arrastre de sedimentos hacia el cauce y ameyales, con la participación de los CAC constituidos.

Monitorear durante las temporadas de estiaje y de lluvias, los niveles estáticos del agua subterránea en la microcuenca, durante las temporadas de estiaje y de lluvia, utilizando para ello pozos de observación, para determinar la profundidad del agua subterránea, y estar en condiciones de estimar variaciones en los almacenamientos y analizar los beneficios y el impacto de las acciones implementadas.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo del proyecto se emplearon los metodologías, técnicas, instrumentos y técnicas de investigación señaladas en el cuadro 1 que figura a continuación.

Cuadro 1. Técnicas, instrumentos, materiales de investigación.

Metodologías/Instrumento/Técnica de Investigación	Herramientas/Materiales	Objetivo
Investigación-Acción-Participativa (IAP) (Mont, 2016) Bola de nieve Grupos focales Entrevista semiestructurada	• Cuestionario semiestructurado • Presentación en PowerPoint del proyecto	• Identificar y contactar a los actores gubernamentales y no gubernamentales clave en la zona de estudio • Conformar los CAC y elaborar el Plan de Acción y su Matriz de seguimiento • Calcular dimensiones de las trampas de sedimentos y basura en dos caídas de agua • Construir trampas de sedimentos y basura en dos caídas de agua, y zanjas de captación de agua
Recorridos exploratorios Método racional (ASCE,1996) Marco Lógico (Lauriac, 2018) Matriz de Evaluación y Control del proceso (MEP) Matriz de Resultados (MR) Taller de capacitación sobre prácticas de conservación de suelo y agua	• Diario de campo/cámara fotográfica • Presentaciones en PowerPoint sobre: construcción de trampas de sedimentos y zanjas de captación; importancia de la forestación	• Comprobar el progreso de cada actividad implementada e identificar las desviaciones y sus causas, y determinar las medidas correctivas a aplicar • Incrementar y/o generar conocimiento sobre estas prácticas, desarrollar y/o fortalecer protagonismo en los actores sociales • Determinar el tipo de árboles adecuados para el área de estudio
Recorridos exploratorios Colecta de información sobre características climáticas de la microcuenca	Diario de campo/cámara fotográfica	• Determinar ubicación de la franjas vivas de protección • Crear franjas vivas de protección en las riberas del río Tlapatlahuaya
Recorridos exploratorios para ubicar pozos profundos Aforo de pozos profundos mediante la técnica de la escuadra en temporada de estiaje y lluvias	• Diario de campo/cámara fotográfica • Sistemas de Información Geográfica	• Monitorear durante las temporadas de estiaje y de lluvias, los niveles estáticos del agua subterránea en la parte alta, media y baja de la microcuenca

Resultados y Discusión

En la cuadro 2, se indican los resultados y productos esperados en el presente proyecto.

Cuadro 2. Resultados obtenidos y discusión.

Objetivos específicos planteados	Resultados obtenidos y discusión
Objetivo 1	Se creó un CAC Central y un CAC en la localidad de San Matías Tlalancaleca. El primero está conformado por integrantes del colectivo Ciudadanos de Tlalancaleca rescatando el río Tlapatlahuaya que, desde hace 6 años, trabaja en el rescate del río citado. El segundo está constituido por estudiantes de la Telesecundaria Justo Sierra y del Telebachillerato Comunitario no. 29, agricultores de San Matías Tlalancaleca que irrigan con aguas del río citado y seis grupos de la Iglesia católica
Objetivo 2	Con la ayuda de los CAC, y con previa capacitación, se construyeron 2 trampas de sedimentos y basura en las caídas de agua de lluvia, ubicadas principalmente en la parte media de la microcuenca, lo cual permitió reducir hasta un 70% el azolve del cauce, manantiales
Objetivo 3	Con la ayuda de los CAC, y con previa capacitación, se construyeron 25 zanjas de captación ubicadas principalmente en la parte media de la microcuenca, antes del nacimiento del río
Objetivo 4	- Con la ayuda de los dos CAC, y con previa capacitación, se forestaron 2 km, donde se plantaron 385 árboles (de más de 1 m de altura) de diferentes especies (forestales, frutales, otros), así como plantas que atraen a polinizadores (abejas, mariposas y colibrís). - Los CAC no solo donaron 282 árboles, fertilizante y también colaboraron en la plantación de los mismos. - Participación de los dos CAC y otros ciudadanos en el cuidado de los árboles (deshierbe y riego). - Se rescató una zona de la barranca y se creó un espacio recreativo
Objetivo 5	No fue posible realizar sondeos eléctricos en cuatro pozos de observación seleccionados, ya que estos no están equipados para realizar mediciones de la profundidad al nivel estático o dinámico, según el caso. Solo se efectuó la medición en dos pozos ubicados en la parte media y baja de la microcuenca

Conclusiones

En general, fue posible ejecutar los cinco objetivos específicos planteados dentro de la forma prevista, aunque algunas actividades tomaron más tiempo del previsto, principalmente las de naturaleza social. La conformación del CAC es un proceso esencial para fortalecer la participación comunitaria y desarrollen acciones que conlleven a la sustentabilidad de los recursos naturales. Su éxito depende de la capacitación adecuada de sus integrantes, el tomar en cuenta los conocimientos y propuestas de sus integrantes y el apoyo constante de los actores gubernamentales.

En la conformación de los CAC fue determinante el vínculo entre sociedad, investigadores y centro de investigación (COLPOS), así como los talleres de sensibilización sobre los beneficios de la implementación del proyecto. Por lo anterior, se recomienda seguir fortaleciendo esta actividad. El tomar en cuenta los conocimientos y propuestas de los integrantes de los CAC, contribuyó en la consecución exitosa de estos objetivos. También fue crucial las capacitaciones impartidas

Agradecimientos

Al Colegio de postgraduados, campus Puebla, así como al colectivo Ciudadanos de Tlalancaleca

rescatando el río Tlapatlahuaya por su apertura, conocimiento y acompañamiento en todas las fases del proyecto.

Fuente financiadora

Colegio de postgraduados, campus Puebla y ciudadanos de la localidad de San Matías Tlalancaleca

Referencias bibliográficas

American society of Civil Engineers (ASCE) (1996). Hydrology Handbook. Second edition. United States of America. 784 p.

CONAHCYT México (18 de febrero de 2021). Las Regiones de Emergencia Ambiental: definición y localización en México. Youtube. <https://www.youtube.com/live/8tqzYRPhOIs?si=2v2RRW3290Jsj-2E>.

Mont, D. (2018). Planificación, monitoreo y evaluación. Fondo de Naciones Unidas para la Infancia. UNICEF LACRO. Ciudad de Panamá.

Lauriac, N. (2016). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo. Guía metodológica. Terre des hommes.



DESCRIPCIÓN DE LA MICROBIOTA CULTIVABLE ASOCIADA A SUELOS BAJO AGRICULTURA ORGÁNICA Y CONVENCIONAL

Lorena Jacqueline Gómez-Godínez^{1*}, Magali Ruiz-Rivas^{2*}, José Luis Aguirre-Noyola¹, Hugo Ernesto Flores-López³, Elías Hernández-Cruz¹

¹INIFAP, CNRG. ²CE Uruapan. ³CE. Altos de Jalisco

*Autor para correspondencia: gomez.lorena@inifap.gob.mx

Palabras clave. Microbiota, agricultura, orgánica.

Introducción

La microbiota del suelo, está compuesta principalmente por bacterias y hongos, los cuales juegan un papel fundamental en la salud y productividad agrícola. Estos microorganismos son responsables de procesos esenciales como la descomposición de materia orgánica, el ciclo de diferentes nutrientes, la mejora de la estructura del suelo y la protección de las plantas contra patógenos. La calidad y composición de esta comunidad microbiana pueden variar significativamente dependiendo del manejo agrícola al que se somete el suelo. En particular, la agricultura orgánica y la agricultura convencional representan dos enfoques contrastantes en cuanto a prácticas de manejo, insumos utilizados y su impacto en la biodiversidad microbiana (Kraut-Cohen *et al.*, 2020).

La agricultura convencional, caracterizada por el uso intensivo de fertilizantes químicos, pesticidas y prácticas mecanizadas, ha sido durante décadas el método predominante para aumentar la productividad agrícola. Sin embargo, estos insumos pueden afectar negativamente la diversidad y funcionalidad de los microorganismos del suelo, alterando procesos biogeoquímicos y, en algunos casos, degradando la calidad del suelo a largo plazo. En contraste, la agricultura orgánica promueve el uso de fertilizantes naturales, rotación de cultivos y prácticas que favorecen la conservación y el equilibrio ecológico del suelo, lo que podría influir en una microbiota más diversa y funcional (Gómez-Godínez *et al.*, 2021).

Comprender la microbiota asociada a estos dos sistemas agrícolas no solo contribuye al conocimiento científico en microbiología del suelo, sino que también tiene implicaciones directas en la agricultura sostenible, la seguridad alimentaria y la conservación

Objetivo

Este trabajo busca describir y comparar la composición y diversidad de las comunidades microbianas de bacterias y hongos, presentes en suelos bajo sistemas de agricultura orgánica y convencional. La caracterización de estas comunidades es crucial para entender cómo las prácticas agrícolas afectan la salud del suelo y su capacidad para sostener cultivos saludables y productivos. Además, al profundizar en las diferencias microbiológicas entre ambos sistemas, se pueden identificar indicadores biológicos que apoyen la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la mejora en la gestión del suelo.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio y muestreo de suelos

El presente estudio empleó un diseño experimental completamente aleatorio con dos tratamientos correspondientes a dos sistemas de manejo agrícola: agricultura orgánica (orga1) y agricultura convencional (conv2). Se tomaron seis muestras de suelo en total, divididas en dos grupos de tres réplicas cada uno, correspondientes a cada sistema de manejo (orga1.1, orga1.2, orga1.3 y conv2.1, conv2.2, conv2.3). Las muestras fueron recolectadas de la región Altos de Jalisco, donde ambos sistemas han sido implementados durante 15 años. Cada réplica correspondió a una muestra compuesta obtenida de un transecto zigzag con seis puntos de muestreo a una profundidad de 0-30 cm, lo que permitió una adecuada representatividad espacial. Se recolectó una muestra de 50–150 g de suelo, por punto graficado. Las muestras se almacenaron en bolsas plásticas estériles tipo Ziploc (4 °C) y se transportaron al laboratorio para su posterior procesamiento.

Aislamiento de microorganismos cultivables

A partir de la muestra de suelo, se realizaron diluciones seriadas de 10^{-1} a la 10^{-6} de cada una de las muestras en agua peptonada, para posteriormente sembrar en agar nutritivo 100µL de las diluciones 10^{-1}

10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} para bacterias y agar papa dextrosa (PDA) para hongos. Las cajas sembradas con bacterias fueron incubadas a 28°C durante 24 horas, Las cajas de hongos fueron incubadas a 28 °C por 72 horas. Posterior al tiempo de incubación se contaron las colonias formadas en la caja Petri para cuantificar las Unidades Formadoras de Colonia (UFC), mediante la siguiente fórmula

$$UFC = (\text{número de colonias contadas}) / (\text{volumen de muestra inoculada}) \times (\text{inverso de la dilución})$$
. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) unidireccional para comparar las medias de UFC entre tratamientos, considerando las tres réplicas independientes por tratamiento.

Caracterización fenotípica y bioquímica de los aislados

Se realizó una caracterización morfológica de los microorganismos aislados, puros y viables. Se consideraron características como forma, tamaño y pigmentación para describir la morfología de las colonias bacterianas. Se utilizó la tinción de Gram para evaluar la morfología bacteriana, lo que nos permitió identificar bacterias Gram positivas y Gram negativas. Para determinar parte del metabolismo y lograr una caracterización bioquímica, se realizaron pruebas como la catalasa y oxidasa; el medio MIO se utilizó para evaluar Motilidad, Indol y Ornitina; el medio LIA se utilizó para identificar la capacidad de desaminar o descarboxilar lisina y la producción de sulfuro de hidrógeno; la prueba OF es una prueba bioquímica que determina el tipo de metabolismo energético de las bacterias; y la prueba MR/VP se utiliza para identificar bacterias y determinar la vía de fermentación de la glucosa; estas pruebas se llevaron a cabo utilizando el procedimiento estandarizado como lo describen Clarke y Cowan (1952). Los resultados fueron analizados cualitativamente para identificar patrones y diferencias en la composición microbiana entre los dos sistemas agrícolas.

Resultados y Discusión

Se obtuvieron diferentes Unidades Formadoras de Colonia en las muestras (figura 1). Se obtuvieron mayor número de logaritmos en las muestras conv 2.1, 2.2 y 2.3 para bacterias mientras que para la muestra de suelo conv 1.1, 1.2 y 1.3. Mientras que en hongos se encontró mayor número de logaritmos en las muestras de agricultura convencional (figura 1). Los resultados obtenidos contrastan con lo obtenido en otros artículos donde la cantidad de UFC de bacterias encontrada en el suelo convencional fue menor que en el suelo orgánico.

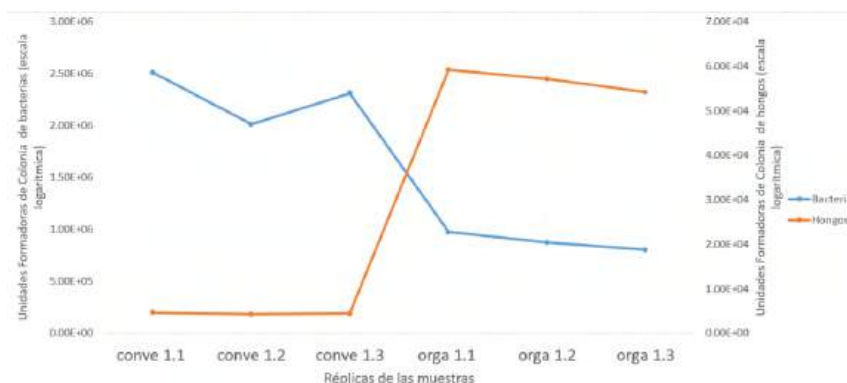


Figura 1. Unidades formadoras de colonia (UFC) de bacterias y hongos en réplicas de muestras con manejo de agricultura convencional (conve) y manejo orgánico (orga). Se observa mayor abundancia bacteriana en muestras convencionales y mayor abundancia fúngica en muestras orgánicas.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias claras en la composición microbiana entre los suelos bajo manejo de agricultura convencional y aquellos manejados mediante agricultura orgánica. En las muestras provenientes de agricultura convencional, *Bacillus* spp. fue el género predominante, representando un 66.66% del total, seguido por *Acinetobacter* spp. con un 25% y *Brevibacillus* spp con un 8%. En contraste, las muestras de agricultura orgánica presentaron una menor proporción de *Bacillus* spp., (57%), pero un aumento significativo en la representación de *Actinomyces* (28%) y *Brevibacillus* spp (14%), mientras que *Acinetobacter* spp., estuvo ausente en este manejo (figura 2). *Bacillus* spp., fue predominante en ambos tipos de manejo, esto resalta su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones edáficas y su importancia en procesos biológicos del suelo, como la promoción del crecimiento vegetal y la supresión

de patógenos (Saxena *et al.*, 2020). La ausencia de *Acinetobacter* spp., en el manejo orgánico puede indicar una menor presión de sustancias químicas o un ambiente menos propicio para este género, conocido por su papel en la degradación de compuestos complejos y potencial resistencia a contaminantes. Por otro lado, la mayor presencia de *Actinomyces* en agricultura orgánica sugiere una mayor actividad de microorganismos involucrados en la degradación de materia orgánica y el ciclo de nutrientes, lo cual está relacionado con prácticas que enriquecen el suelo con materia orgánica y promueven la biodiversidad microbiana

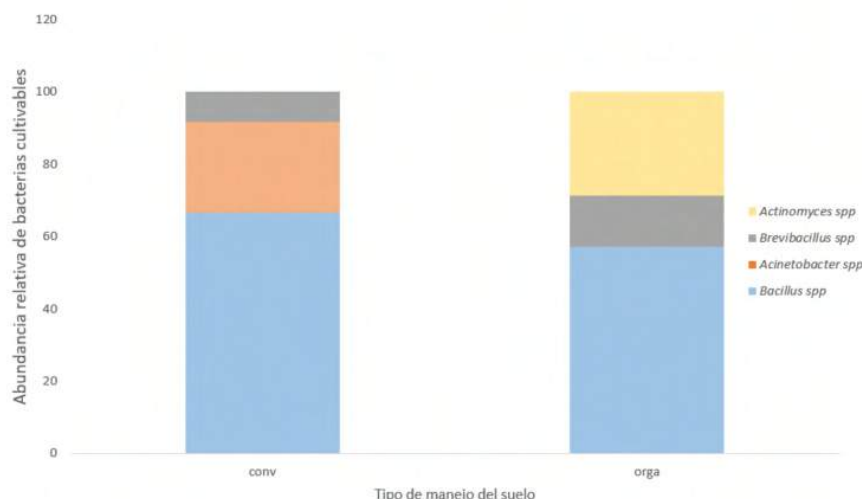


Figura 2. Abundancia relativa (%) de bacterias cultivables en suelos bajo manejo convencional (conv) y manejo orgánico (orga).

Por otro lado, la composición fúngica entre los diferentes tipos de manejo en la agricultura tuvo diferencias notables. En particular, la presencia de *Trichoderma* spp. destaca por ser mucho mayor en los suelos orgánicos (40%) en comparación con los suelos convencionales (10%) (figura 3). Este género es conocido por su capacidad para actuar como biocontrolador natural, ya que puede antagonizar a varios patógenos del suelo, promoviendo la salud de las plantas y la supresión de enfermedades (Woo *et al.*, 2023). En cuanto a *Fusarium* spp., se mantiene constante en ambos sistemas con un 30% (figura 3), lo que indica que su presencia puede estar más relacionada con factores inherentes al ambiente o al cultivo que con el tipo de manejo agrícola. Los hongos *Rhizoctonia* spp. también presentan una diferencia marcada: con un 30% de presencia en suelos convencionales y ausencia en suelos orgánicos. *Rhizoctonia* spp., es un género que incluye patógenos causantes de enfermedades radiculares, lo que podría sugerir que las prácticas convencionales, posiblemente debido al uso de agroquímicos o a la menor diversidad microbiana, podrían estar favoreciendo su proliferación. Finalmente, los géneros *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. presentan distribuciones variables: *Penicillium* spp., está presente en ambas condiciones, aunque con mayor frecuencia en suelos orgánicos (10% en ambos, pero *Aspergillus* spp., sube a 20% en orgánicos frente a 10% en convencionales). Estos hongos cumplen funciones variadas en el suelo, desde descomposición de materia orgánica hasta la producción de metabolitos secundarios (Liao *et al.*, 2019). La ausencia de *Colletotrichum* spp. en suelos orgánicos, a diferencia de su presencia en los convencionales (10%) (figura 3), podría indicar que las prácticas agrícolas orgánicas limitan la proliferación de ciertos hongos patógenos, lo que es favorable para la salud del suelo y los cultivos.

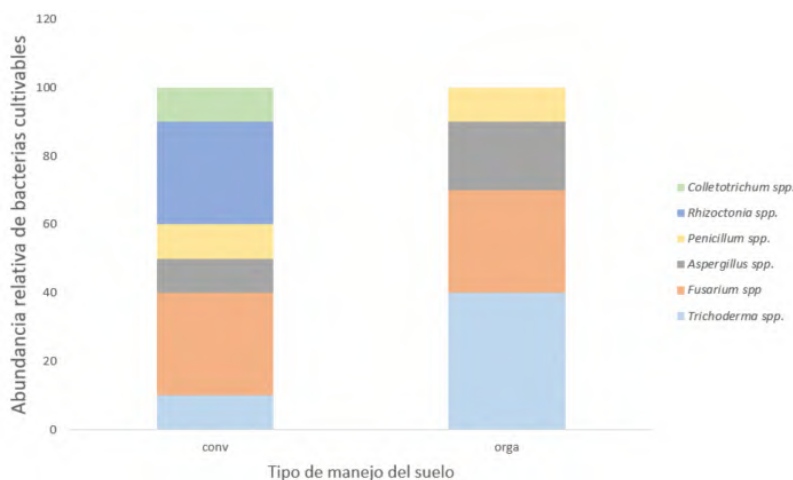


Figura 3. Abundancia relativa (%) de hongos cultivables en suelos bajo manejo convencional (conv) y manejo orgánico (orga).

Estos hallazgos coinciden con reportes previos que evidencian cómo la agricultura orgánica tiende a favorecer una mayor diversidad y funcionalidad microbiana en comparación con la agricultura convencional, lo que tiene implicaciones directas en la sustentabilidad de los sistemas productivos. En este sentido, la diferenciación en los perfiles microbianos observada aquí resalta la importancia de las prácticas agrícolas en la modulación de comunidades microbianas, lo cual puede impactar en la productividad y salud del suelo a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Gómez-Godínez, L. J., Martínez-Romero, E., Banuelos, J., & Arteaga-Garibay, R. I. (2021). Tools and challenges to exploit microbial communities in agriculture. *Current research in microbial sciences*, 2, 100062.
- Kraut-Cohen, J., Zolti, A., Shaltiel-Harpaz, L., Argaman, E., Rabinovich, R., Green, S. J., & Minz, D. (2020). Effects of tillage practices on soil microbiome and agricultural parameters. *Science of the Total Environment*, 705, 135791.
- Liao, J. X., Zhang, Y. F., Cheng, Q. Y., Wu, H., Zhu, F., & Xue, S. G. (2019). Colonization of *Penicillium oxalicum* enhanced neutralization effects of microbial decomposition of organic matter in bauxite residue. *Journal of Central South University*, 26(2), 331-342.
- Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. J. (2020). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of applied microbiology*, 128(6), 1583-1594.
- Woo, S. L., Hermosa, R., Lorito, M., & Monte, E. (2023). *Trichoderma*: a multipurpose, plant-beneficial microorganism for eco-sustainable agriculture. *Nature Reviews Microbiology*, 21(5), 312-326.

EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE ZEOLITA Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ EN TEMPORAL

José Antonio Arias-Durón¹, Odilón Gayosso-Barragán^{2*}, Griselda Chávez-Aguilar², Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico³, José Ángel Marroquín-Morales⁴

¹Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. ²INIFAP, CENID Agricultura Familiar. ³CE Las Huastecas.

⁴CE Norman E. Borlaug

*Autor para correspondencia: gayosso.odilon@inifap.gob.mx

Palabras clave. Cambio climático, fertilización inorgánica, suelos degradados.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) constituye el principal cultivo de cereales a nivel mundial, ya que se utiliza para producir alimentos, forrajes y materias primas industriales, y también puede cultivarse en diversos climas, ecosistemas y entornos. Actualmente, 170 países cultivan maíz. A nivel global, se producen 1,147.7 millones de toneladas métricas de maíz en aproximadamente 193 millones de hectáreas (Swati *et al.*, 2024).

Para aumentar el rendimiento del grano de maíz, la aplicación de fertilizantes nitrogenados es una de las prácticas de gestión agronómica más cruciales. Sin embargo, la aplicación a largo plazo de fertilizantes nitrogenados inorgánicos, especialmente en exceso, puede afectar negativamente la calidad del suelo. La capacidad del suelo para retener nutrientes se puede mejorar mediante la adición de zeolitas, ya que las características físicas, químicas y biológicas del suelo se ven afectadas por los minerales zeolíticos. Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos que, por su alta capacidad de intercambio catiónico y afinidad por el ion amonio (NH_4^+), se han utilizado con éxito en la reducción del tránsito de nitrato (NO_3^-) hacia la zona saturada en suelos arenosos. Las zeolitas muestran una mayor selectividad de sorción contra los iones de NH_4^+ debido a su mayor potencial de intercambio catiónico. La carga positiva del NH_4^+ y los sitios de carga negativa de la zeolita han sido responsables de las interacciones electrostáticas que facilitan la adsorción de NH_4^+ por la zeolita (Englert y Rubio, 2005). Esta fuerte atracción de las zeolitas por los iones de NH_4^+ se ha utilizado para su retención y liberación controlada en el suelo. La relación Silicio/Aluminio (Si/Al) de la zeolita, su tamaño de poro, pH, tiempo de contacto, cationes de la zeolita y el porcentaje de otras sustancias iónicas presentes en el suelo/agua, son los responsables de la retención de iones de NH_4^+ por la zeolita (Wang *et al.*, 2022).

Actualmente, el uso de zeolitas en la agricultura genera un interés creciente debido a sus múltiples aplicaciones, especialmente en la gestión del suelo. Estas pueden actuar como portadoras de nutrientes, optimizando su aprovechamiento y mejorando la eficiencia en su uso. Frente al cambio climático y el incremento de temperaturas, la incorporación de zeolitas en suelos agrícolas representa una estrategia valiosa para conservar la humedad, reducir la temperatura del dosel y garantizar la producción. En el contexto de una agricultura sostenible, la adopción de insumos ecológicos es imprescindible. Desde esta perspectiva, las zeolitas pueden contribuir significativamente a la reducción del uso de fertilizantes.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación de zeolita y fertilización nitrogenada en el crecimiento y productividad de una población de maíz nativo pigmentado, en condiciones de temporal en una región semiárida del centro-norte de México.

Materiales y Métodos

El establecimiento en campo de la parcela experimental se realizó en Ojuelos, Jalisco, en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar (CENID AF), del INIFAP, ubicado entre los 21°33'00" N y 101°02'30" O a una altitud de 2,100 m. El suelo es de textura franco arenosa compuesta por 20.84% de arcilla, 20.72% de limo y 58.44% de arena; con un pH ligeramente alcalino y bajo contenido de materia orgánica del suelo (1%). La semilla de maíz se adquirió de un productor cooperante, corresponde a una población de polinización libre, con grano color rojo, precoz y con tolerancia a temporal deficiente característico de la región. La siembra se realizó de forma manual el 1 de julio del 2024, en surcos separados a una distancia de 80 cm y 20 cm entre planta y planta. Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), cuya unidad experimental estuvo formada por dos surcos de 10 m de largo con cuatro repeticiones por tratamiento. Se ajustó a una densidad de 62,500

plantas por hectárea; los tratamientos fueron T1: fertilización nitrogenada (100%) a una dosis de 80 kg por hectárea de nitrógeno, tratamiento T2: fertilización nitrogenada (50%) + zeolita (50%) y, T3: fertilización nitrogenada (65%) + zeolita (35%), aplicados al momento de la siembra. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las prácticas correspondientes al manejo agronómico recomendado para el cultivo de maíz en la región, referente al control de plagas, enfermedades y malezas. En madurez fisiológica se cosecharon las plantas correspondientes en cada unidad experimental y se registraron las variables: altura de planta (cm), altura de mazorca (cm), diámetro de tallo (mm), largo de hoja (cm), ancho de hoja (cm), largo de mazorca (cm), diámetro de mazorca (mm), rendimiento grano (kg ha⁻¹), rendimiento forraje (kg ha⁻¹), biomasa (kg ha⁻¹) e Índice de cosecha (IC). Se realizó un análisis de varianza y una prueba de medias de Tukey (p≤0.01) para las todas las variables.

Resultados y Discusión

En la cuadro 1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza y comparación de medias de variables agronómicas en maíz de temporal, donde se evaluó el efecto de la aplicación de zeolita y combinación con fertilización nitrogenada. Los resultados mostraron que las variables morfológicas altura de planta, diámetro de tallo, largo y ancho de hoja, no presentan diferencias significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que la incorporación de zeolita, aún en distintas proporciones, no altera sustancialmente la morfología básica del cultivo. Sin embargo, la altura de la mazorca sí mostró variabilidad, destacando el tratamiento de zeolita (35%) + fertilización nitrogenada (65%), registrando valores inferiores en comparación con la fertilización nitrogenada al 100%, lo que sugiere un efecto sobre la distribución estructural de la planta, posiblemente influenciada por la disponibilidad diferenciada de nitrógeno en el sistema radical de la planta. En cuanto a la mazorca, el largo varía significativamente entre tratamientos, disminuyendo a media que se redujo el porcentaje de fertilización nitrogenada, lo que puede influir directamente sobre la productividad del cultivo, al ser el tamaño de la mazorca un componente clave en el rendimiento del cultivo. Aunque el rendimiento de grano no mostró diferencias significativas, el rendimiento de forraje y la biomasa sí presentan variaciones importantes; particularmente, el tratamiento con fertilización de zeolita (35%) + fertilización nitrogenada (65%) resultó en valores significativamente menores en ambas variables. Esto indica que un mayor porcentaje de fertilización nitrogenada favorece la producción de biomasa y forraje, lo cual es particularmente relevante en sistemas productivos que priorizan la generación de materia vegetal.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza y comparación de medias de variables agronómicas en maíz de temporal con la aplicación de zeolita y fertilización nitrogenada.

Variable	CM		CV	DMS	T1		T2		T3	
Altura de planta (cm)	325.12		12.5	19.9	204.4	a	212.3	a	207.0	a
Altura de mazorca (cm)	1805.8	*	17.9	16.6	123.1	ab	130.8	a	111.9	b
Diámetro de tallo (mm)	16.7		11.7	2.1	23.8	a	24.6	a	22.7	a
Largo de hoja (cm)	11.6		9.0	5.2	74.7	a	75.6	a	76.2	a
Ancho de hoja (cm)	2.6		10.1	0.7	9.3	a	9.7	a	9.1	a
Largo de mazorca (cm)	14.8	**	12.3	1.3	15.2	a	14.5	ab	13.4	b
Diámetro de mazorca (mm)	33.1		8.4	2.8	43.6	a	45.4	a	42.9	a
Rendimiento grano (kg ha ⁻¹)	5906419.1		30.2	1095.9	5282	a	4731.0	a	4195.8	a
Rendimiento forraje (kg ha ⁻¹)	49540317.5	**	21.6	1914.5	12445.5	a	12544.5	a	9770.4	b
Biomasa total (kg ha ⁻¹)	85456917.1	**	21.0	2625.2	17176.1	a	17827.1	a	13966.2	b
Índice de cosecha (IC)	0.01		18.4	0.04	0.27	a	0.30	a	0.30	a

CM: Cuadrado medio, CV: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa, T1: Fertilización nitrogenada (100%), T2: Zeolita (50%)-Fertilización nitrogenada (50%), T3: Zeolita (35%)-Fertilización nitrogenada (65%).

En la figura 1 se observa que el tratamiento de fertilización nitrogenada (100%) genera los valores más altos para las variables rendimiento de grano, rendimiento de forraje y biomasa total, evidenciando la importancia del uso del nitrógeno para maximizar la productividad del maíz. La combinación de zeolita al 50% con fertilizante al 50% presentó resultados comparables a los obtenidos con el uso exclusivo de fertilizante, lo que sugiere que la zeolita podría ser una alternativa viable para reducir la dependencia de insumos químicos sin comprometer significativamente la producción de maíz, especialmente relevante en

ambientes donde se busca una mayor sostenibilidad agroecológica. En contraste, el tratamiento con zeolita al 35% y fertilizante al 65% mostró los rendimientos más bajos. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de zeolita en combinación con fertilizantes podría ser una estrategia eficiente para mantener la producción agrícola mientras se reduce el uso de fertilizantes sintéticos. Desde una perspectiva de sostenibilidad, el tratamiento con zeolita al 50% + fertilización nitrogenada al 50% parece ofrecer un equilibrio óptimo entre rendimiento y reducción de insumos químicos, lo cual es particularmente relevante en sistemas agrícolas establecidos en suelos semiáridos. Generalmente, la zeolita ha demostrado alterar la porosidad, la dispersión del tamaño de los poros, la conectividad y la tortuosidad de los poros, dependiendo de la estructura y la calidad del suelo, el tipo de la misma zeolita y las condiciones de reacción. Algunas investigaciones han reportado el impacto de la zeolita en la tasa de infiltración del suelo (velocidad a la que el agua entra al suelo), la conductancia hidráulica (facilidad con la que el agua fluye a través de los poros del suelo), la proporción de agua, el potencial de retención de agua y el manejo de la lixiviación de fertilizantes en el suelo (Comegna *et al.*, 2023; Prisa *et al.*, 2023). La densidad aparente del suelo al ser una característica importante que impacta la estabilidad de la capa superficial, la enmienda del suelo con zeolita minimiza la densidad aparente, lo que altera el potencial de retención de agua y la porosidad del suelo (Mondal *et al.*, 2021). Tanto las zeolitas, naturales como sintéticas son reconocidas por su capacidad de retención de agua y se consideran una enmienda eficaz para mejorar la disponibilidad de agua en condiciones críticas de sequía en tierras semiáridas (Bittelli *et al.*, 2015). Por lo que su uso estratégico no solo puede coadyuvar a mantener rendimientos óptimos, sino también a mejorar la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad del cultivo.

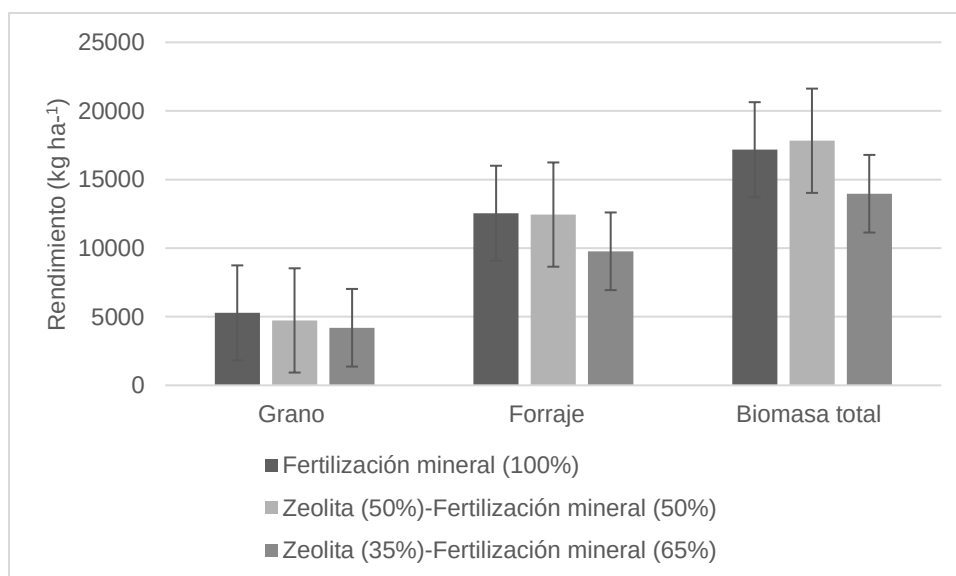


Figura 1. Rendimiento de grano y biomasa de una población de maíz nativo pigmentado con aplicación de zeolita y fertilización mineral.

Conclusiones

El uso de zeolita en los esquemas de fertilización del maíz puede influir en su desarrollo estructural y en la producción de biomasa sin afectar significativamente el rendimiento de grano. La integración de zeolita con fertilizantes minerales puede modificar ciertos aspectos del crecimiento y productividad del cultivo, lo que resalta su potencial como insumo complementario para optimizar el uso de fertilizantes convencionales. Además, la estabilidad observada en el índice de cosecha indica que la proporción de biomasa destinada a la producción de grano se mantiene constante, reforzando la viabilidad de la zeolita en sistemas de producción agrícola que buscan mejorar la eficiencia en el uso de recursos sin comprometer la rentabilidad del agrosistema.

Referencias bibliográficas

- Bittelli, M., Campbell, G.S., Tomei, F. (2015). Soil physics with Python: transport in the soil-plant-atmosphere system OUP, Oxford.
- Comegna, A., Belviso, C., Rivelli, A.R., Coppola, A., Dragonetti, G., Sobhani, A., Lovelli, S. (2023). Analysis of critical water flow and solute transport parameters in different soils mixed with a synthetic zeolite Catena, 228, 107150
- Englert, A., Rubio, J. (2005). Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite Int. J. Miner. Process., 75 (1-2), 21-29.
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Skalicky, M. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. Agronomy, 11(3) (24), 48.
- Prisa, D. (2023). Zeolites: A potential strategy for the solution of current environmental problems and a sustainable application for crop improvement and plant protection GSC Advanced Research and Reviews, 17 (1), 011-022
- Swati, P., Rasane, P., Kaur, J., Kaur, S., Ercisli, S., Assouguem, A., Ullah, R., Alqahtani, A.S., Singh, J. (2024). The nutritional, phytochemical composition and utilisation of different parts of maize: A comparative analysis. Open Agric., 9, 20220358.
- Wang, F., Wang, Q., Yu, Q., Ye, J., Gao, J., Liu, H., Yong, J., Yu, Y., Liu, X., Kong, H., He, X., Ma, J. (2022). Is the NH_4^+ induced growth inhibition caused by the NH_4^+ form of the nitrogen source or by soil acidification? Front. Plant Sci., 14, Article e968707, 10.3389/fpls.2022.968707



APLICACIÓN DEL MÉTODO MINERAL-TEST PARA EVIDENCIAR LA SODIZACIÓN SECUNDARIA DE UN SUELO IRRIGADO EN EL NORTE CENTRO DE MÉXICO

José Luis González-Barrios^{1*}, Jacques Ranger², Cristo Omar Puente-Valenzuela¹, Guillermo González-Cervantes¹, Gerardo Delgado-Ramírez¹, Eva Aurora Bautista-Calderón¹

¹INIFAP, CENID-RASPA, ²INRAe-Champenoux

*Autor para correspondencia: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

Palabras clave. Intercambio catiónico, salinización, suelo.

Introducción

El riego con aguas salinas y sódicas representa, a largo plazo, un importante desafío para la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Este reto se acentúa en las zonas áridas y semiáridas de México, particularmente en el norte centro del país, donde la agricultura depende casi exclusivamente del riego; debido a una precipitación anual inferior a 300 mm, combinada con una evapotranspiración potencial hasta diez veces superior. A ello se suma que la mayoría de las aguas subterráneas para riego suelen presentar elevada salinidad y alto contenido en sodio, lo que incrementa el riesgo de salinización y sodización del suelo (González-Barrios *et al.*, 2024).

El método Mineral-test ha sido empleado para evaluar el funcionamiento de los suelos en diversos contextos naturales o inducidos (Ranger *et al.*, 2007). Se trata de una metodología que aporta información relevante sobre el estado actual y la evolución del ecosistema edafológico. Su fundamento reposa en el acondicionamiento y calibración de minerales puros de acuerdo al protocolo de Robert y Tessier (1974) con la premisa de que el suelo y el mineral test están en equilibrio con las condiciones biogeoquímicas a las que están expuestos.

El objetivo de este trabajo es aplicar el método Mineral test para evidenciar la sodización secundaria de un suelo irrigado en la zona árida del Norte centro de México.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en la Comarca Lagunera (Gómez Palacio, Durango), en un Calcisol salino de textura franca (INEGI, 2007) cuya fracción fina contiene illita, caolinita y, en menor proporción, esmectita. El complejo de intercambio catiónico es predominantemente cálcico, con las siguientes características (de 0 a 20 cm de profundidad): CIC 28 cmol(+) kg⁻¹; Ca/T 0.53; Mg/T 0.09; Na/T 0.14; K/T 0.22; Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada (CEe) 6.7 dS m⁻¹; pH de extracto de pasta saturada (pHe) 8.1; y contenido de carbonatos totales 9.3%.

El agua de riego utilizada (para producir forrajes como maíz, avena y ray-gras) corresponde a un agua subterránea salina de tipo cloruro-sódica con conductividad eléctrica (CE) de 6.5 dS m⁻¹; con una Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de 17.2; y pH de 6.5. El suelo ha sido irrigado en los últimos 15 a 20 años con este tipo de aguas.

La Vermiculita de Prayssac (Francia) fue facilitada por el laboratorio del INRA-Versailles para utilizarla como mineral test, después de ser acondicionada mediante lavados, molidos y tamizados sucesivos para dejarla en un tamaño de 200 a 500 micras, con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 120 cmol (+) kg⁻¹; fue saturada en calcio con una solución salina de CaCl₂ al 0.5N, para dejar su complejo de intercambio catiónico con las características siguientes: Ca/T 0.93; Mg/T 0.03; Na/T 0.04; K/T 0.12. La vermiculita test saturada en calcio, se coloca (3 g) dentro de pequeños sacos permeables (de 50 cm²) de malla imputrescible (Nitrel TI) con una luz de malla inferior a 100 micras.

Los pequeños sacos de Vermiculita test se insertan en el suelo, en la pared del perfil edafológico, abierto luego cerrado respetando la sucesión de horizontes. El tiempo de incubación de los pequeños sacos en el suelo varía desde algunos meses hasta varios años, con suficientes repeticiones según se requieran, para tomar en cuenta la variabilidad espacial y temporal del terreno; permitiendo con ello un adecuado tratamiento estadístico de los datos (Ranger *et al.*, 2007).

En este estudio se llevaron a cabo pruebas de incubación en campo (parcelas irrigadas) y en laboratorio (columnas de percolación de suelo) con sacos de vermiculita test saturada en calcio insertados a diferentes profundidades para funcionar como intercambiador de iones. Las incubaciones duraron dos temporadas productivas en el campo (febrero a octubre) y al menos dos meses en las pruebas de laboratorio. Al término

de las pruebas de incubación los pequeños sacos son extraídos con sumo cuidado. Los resultados que se exponen en este trabajo corresponden a las pruebas experimentales realizadas en laboratorio mediante columnas de percolación de suelo de 20 cm de diámetro y 20 cm de espesor dispuesto en capas con el mismo orden y densidad aparente que el observado en el terreno ($DA = 1.37 \text{ g cm}^{-3}$ de 0 a 10 cm y 1.38 g cm^{-3} de 10 a 20 cm). Los sacos de vermiculita test saturada en calcio fueron insertados a 5 cm de profundidad en tres columnas para funcionar como intercambiadores de iones (figura 1).

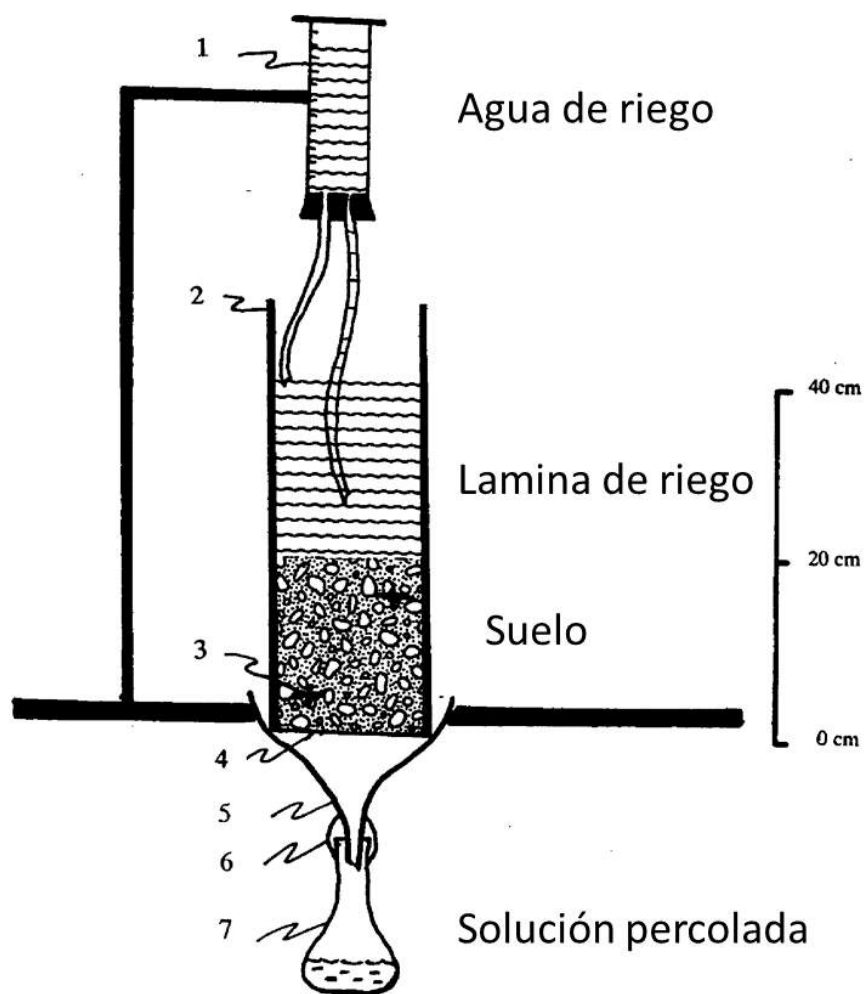


Figura 1. Modelo de Columna de percolación de agua de riego en suelo de 20 cm de espesor utilizado en las pruebas de laboratorio: 1. Probeta de Mariotte. 2. Columna de percolación de PVC del 20 cm de diámetro recubierta con parafina 3. Saco de Mineral-test insertado en el suelo a 5 y 15 cm de profundidad 4. Filtro y malla plástica para la retención del suelo 5. Embudo recolector de efluente 6. Film sellador 7. Matraz recolector de la solución percolada.

Los minerales-test son analizados con métodos clásicos utilizados en mineralogía de suelos; la diferencia esencial aquí es la adaptación de los protocolos a una pequeña cantidad de muestra (Bonnaud, 1990). Para el pH, se utilizan 250 mg de mineral en contacto con 1.5 ml de agua destilada medido con un microelectrodo; para la CIC y los iones intercambiables se utiliza el Método de Rouiller *et al.*, (1980); para el Aluminio interfoliar el Método de Tamura (1957); para los elementos totales el Método de fusión alcalina o digestión con ácidos y medición en ICP (Bonnaud y Ranger, 1993). Los análisis fisicoquímicos preliminares de aguas y suelos fueron realizados con métodos convencionales en el Laboratorio del INIFAP CENID-RASPA. Los análisis mineralógicos, así como los del complejo de

intercambio del suelo y de la vermiculita test se realizaron en los laboratorios del IRD-Bondy, INRA-Versailles e INRA-Champenoux en Francia.

Resultados y Discusión

Los resultados que se exponen a continuación corresponden a las pruebas experimentales realizadas en laboratorio; en tres columnas de percolación de suelo de 20 cm de espesor que emulan las parcelas irrigadas en condiciones de campo. Estas pruebas experimentales permiten evidenciar el proceso de sodización en la vermiculita test.

En las pruebas de percolación con agua salina, el contenido de sodio intercambiable en la vermiculita test aumentó en promedio de 3.8% antes de la incubación a 34.6% después de la incubación (figura 2).

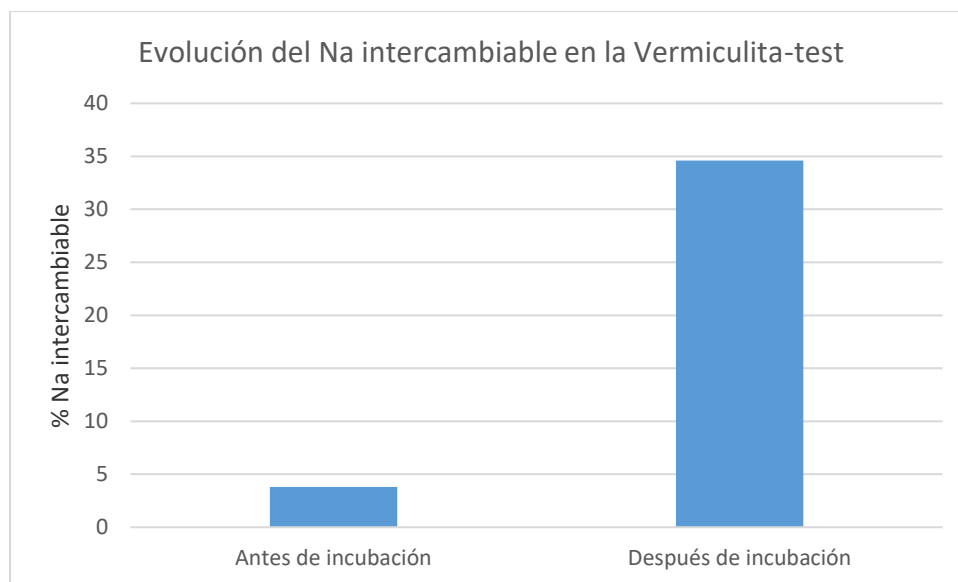


Figura 2. Evolución del Na intercambiable en la Vermiculita test.

La relación Na/Ca en los iones intercambiables de la vermiculita test aumentó aproximadamente tres veces respecto a la del suelo (figura 3), lo que demuestra su utilidad como sensor geoquímico.

Este comportamiento se explica por una mayor afinidad de la vermiculita test hacia el ion Sodio; en comparación con los minerales presentes en el suelo. La vermiculita-test capta de forma amplificada los efectos de la sodización sin que estos sean atenuados o enmascarados por procesos de estabilización natural debido a la riqueza de material calcáreo presente en los suelos regionales.

El proceso de sodización no genera una degradación estructural significativa ni un aumento marcado en el pH del suelo, lo cual concuerda con las observaciones de Lozet y Mathieu (1990), también de Servant (1975), quienes atribuyen este fenómeno al efecto floculante de las sales neutras presentes en el agua de riego. No obstante, este equilibrio podría alterarse temporalmente durante episodios lluviosos prolongados o por el riego con aguas de menor concentración salina (Gonzalez-Barrios, 1992; Klopp y Daigh, 2019).

Es importante mencionar que, en este estudio, se analizó el complejo de intercambio catiónico y los iones intercambiables de la vermiculita test con métodos alternativos a la extracción con KCl debido a un problema de captura interfoliar de iones intercambiables. Este problema fue solucionado mediante la extracción con cloruro de Estroncio (SrCl_2) y ataque ácido, según el protocolo de Bonnaud y Ranger (1993) para obtener resultados analíticos fiables.

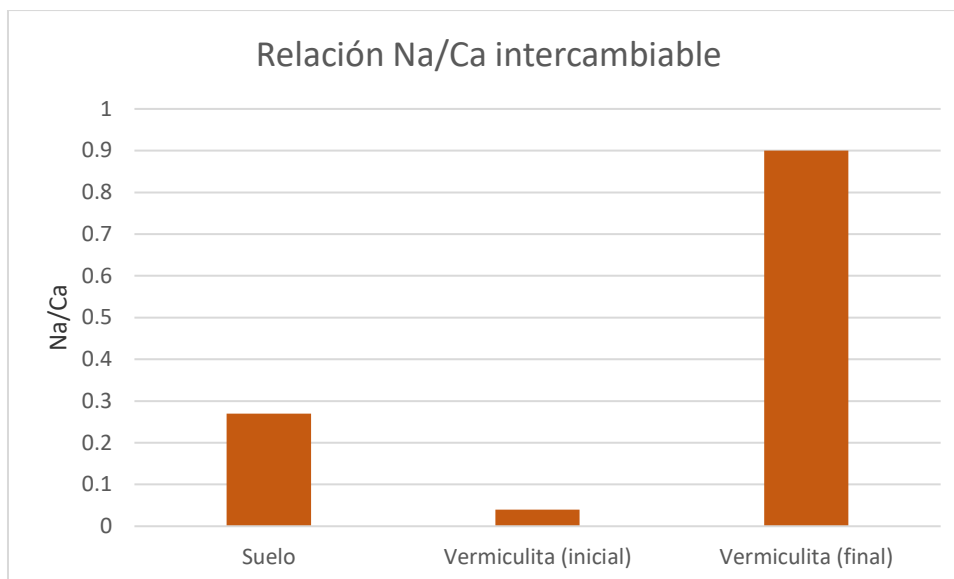


Figura 3. Relación Na/Ca intercambiable en el suelo y la Vermiculita test.

Conclusiones

La aplicación del método Mineral test permite evidenciar la sodización secundaria a la que está expuesto el Calcsol irrigado. La mayor reactividad de la vermiculita-test frente al sodio, en comparación con los minerales nativos del suelo, facilita el estudio de los mecanismos involucrados en este proceso; cuyo efecto en la estructura del suelo es atenuado por la salinidad neutra y la riqueza en material calcáreo.

Entre las limitaciones del método destaca la dificultad para cuantificar los iones intercambiables atrapados en la estructura laminar de la vermiculita test, lo cual requiere técnicas analíticas especializadas; sin embargo, el método Mineral test representa una herramienta efectiva para estudiar el funcionamiento del suelo y evidenciar la agresividad potencial del agua de riego en el complejo de intercambio catiónico.

Es importante detectar a tiempo el riesgo de degradación fisicoquímica del suelo con este tipo de herramientas para poder mitigar los efectos adversos de las aguas de riego salinas y sódicas en la calidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Referencias bibliográficas

- Bonnaud P. (1990) Etude du fonctionnement et de l'évolution des sols par la méthode des minéraux-tests, synthèse des méthodes utilisées. Doc Interne INRA Cycles Biogéochimiques, 20 p. + annexes.
- Bonnaud, P., & Ranger, J. (1993). Étude des cations échangeables dans les minéraux expansibles: méthode d'extraction au SrCl_2 . *Revue de Science du Sol*, 31(3), 203–215.
- Gonzalez Barrios, J.L. (1992). Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine : exemple dans la Comarca Lagunera. Thèse Doctorat Université de Montpellier II, 316 p.
- González Barrios, J. L., Delgado Ramírez, G., Estrada Avalos, J., Puente Valenzuela, C.O., González Cervantes, G. (2024). Potencial de salinización secundaria del agua de riego agrícola en 63 pozos en la Comarca Lagunera. *Agrofaz-Journal of Environmental and Agroecological Sciences* Vol 6(2): 36-43.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI) (2007). Conjunto de datos vectorial edafológico. INEGI. Mapas. Edafología. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf.
- Klopp, H.W., Daigh, A.L.M. (2019). Soil hydraulic model parameters and methodology as affected by sodium salt solutions. *SSSAJ* Vol 8(2). First published: 14 December 2019 <https://doi.org/10.1002/saj2.20015>.
- Lozet, J., & Mathieu, C. (1990). Dictionnaire de science du sol. Presses Agronomiques de Gembloux
- Ranger, J., Augusto, L., Berthelin, J., Berrier, J., Bonnaud, P., Calvaruso, Ch., Dambrine, E., Dreyer-Felix, C., Gonzalez-Barrios, J-L., Hervio, M., Jaunet, A-M., Lapeyrie, F., Mareschal, L., Paris, F., Righi, D.,

- Turpault, M-P., Veneau, G., et Robert, M. (2007) Etude du fonctionnement actuel des sols forestiers par la méthode des minéraux –test. Etude et Gestion des Sols, Vol 14(4) 267-286.
- Robert, M. et Tessier, D. (1974). Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. Ann. Agro., 25(6), 859-882.
- Rouiller J., Guillet B. et Bruckert S. (1980). Cations acides échangeables et acidités de surface. Approche analytique et incidences pédogénétiques. Science du Sol, Bull. A.F.E.S., vol. 2, pp. 161 - 175.
- Servant, J. (1975). Structure et floculation des sols sodiques. Cahiers ORSTOM, série Pédologie.
- Tamura T. (1957). Identification of the 14 Å clay mineral component. Am. Mineralogist, 42, pp. 107-110.



POTENCIAL DE FITORREMEDIACIÓN DE *Amaranthus hypochondriacus*, *Dalea versicolor*, *Ambrosia psilostachya* Y *Zea mays* EN UN RELAVE MINERO DE ZIMAPÁN, HIDALGO

Daniel Torres-Ríos¹, Maricela Arteaga-Mejía², Irene Castillo-Chaires², Jorge Antonio Valdivia-Anistro^{2*}
¹Escuela Nacional de Estudios Superiores Juriquilla, UNAM, ²Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

*Autor para correspondencia: jorge.valdivia@zaragoza.unam.mx

Palabras clave. Fitorremediación, contaminación, vegetación nativa.

Introducción

Los metales pesados (MP) son elementos que tienen alta persistencia en el ambiente y una distribución amplia gracias a distintas actividades industriales como la agricultura, la medicina y la minería (Tchounwou, 2012). Estos elementos son tóxicos para la mayoría de los organismos, entre ellos el ser humano, incluso en concentraciones de partes por billón (ppb), ocasionando enfermedades crónicas en su exposición constante. El riesgo de morbilidad se incrementa en zonas como los relaves mineros (RM), residuos de mina donde se mantiene un contacto directo con estos contaminantes. Por esta razón se han establecido técnicas biológicas de limpieza de suelos contaminados, entre ellas la fitorremediación, que utiliza plantas para extraer, estabilizar o volatilizar MP del suelo. Estas plantas deben mantener características específicas para considerarse como remediadoras, como ser plantas nativas, tener una alta producción de biomasa, alta tolerancia a los efectos adversos de los metales pesados y una alta traslocación de contaminantes de las raíces de las plantas a las partes aéreas de las mismas (Sheoran, 2016). La zona de estudio donde se realizó el trabajo, Zimapán, estado de Hidalgo, es una ciudad con una actividad económica primaria centrada en la minería. En el RM se mantiene una deposición constante de material pulverizado de minerales como calcita, yeso, pirita, galena y otros minerales de hierro. Se observa que, en estos RM, pesar de tener condiciones nutrimentales y estructurales negativas para el crecimiento de plantas, crecen distintas especies herbáceas y arbustivas que pueden llevar a cabo un efecto de limpieza y revegetación del sitio.

Objetivo

Evaluar el potencial de dos plantas nativas del Valle de México reconocidas como fitoextractoras (*Amaranthus hypochondriacus* y *Zea mays*) en el relave minero y en condiciones de invernadero, compararlas entre sí, así como compararlas con dos plantas nativas de la zona (*Ambrosia psilostachya* y *Dalea versicolor*). y relacionar la extracción y acumulación de metales pesados (cobre, cromo, plomo y zinc) con los parámetros fisicoquímicos del suelo.

Materiales y Métodos

Para poder completar los objetivos, se llevaron a cabo los siguientes experimentos:

Se recolectaron muestras del sustrato en el RM para poder sembrar los individuos de amaranto y maíz en el invernadero además de poder realizar los análisis fisicoquímicos de las mismas. Estas muestras se almacenaron en bolsas de plástico con cierre hermético. Se germinaron y crecieron plántulas de amaranto y maíz que posteriormente fueron sembradas en suelo del RM. Al momento de recolección de las muestras de suelo se plantaron individuos en el relave y en el invernadero al mismo tiempo, en este lugar se utilizaron 3 concentraciones, la primera con solo el suelo del RM (C2), un grupo control sin suelo contaminado (C0) y un grupo con 50% de suelo contaminado y 50% del grupo control (C1). En total se realizó la siembra de nueve individuos de cada especie en el invernadero, tres en cada concentración. Estas plantas permanecieron aproximadamente dos meses, al momento de la cosecha también se cosecharon los individuos de *A. psilostachya* y *D. versicolor* y se recolectó sustrato adyacente proveniente de la rizosfera para los análisis efectuados al suelo (de metales pesados y análisis fisicoquímicos).

Se realizaron mediciones del crecimiento de las plantas en el invernadero, así como análisis de clorofila para evaluar la fitotoxicidad por metales pesados en las distintas concentraciones (C0, C1, C2). Se realizó la caracterización fisicoquímica de las muestras del relave minero en laboratorio: se midió el pH,

el potencial redox (Eh) y la conductividad eléctrica (CE) utilizando un potenciómetro, el porcentaje de materia orgánica (%MO) por el método de Walkey-Black, la densidad aparente por método de cilindro conocido y la textura con el método de densímetro de Bouyoucos para poder relacionarlo con el potencial de extracción de las plantas.

Las plantas recolectadas fueron separadas posteriormente a la cosecha en tres partes, raíz, tallo y hoja, además del sustrato adyacente cada parte fue lavada y secada (a excepción del suelo), después se molió en un mortero de ágata y fue tamizada en un tamiz de 0.2 mm para realizar el análisis de metales pesados. Este análisis se llevó a cabo en un espectrómetro de absorción atómica de flama (FAAS por sus siglas en inglés). Para poder procesar las muestras en el espectrómetro se realizó una digestión a cada muestra que consistió en la adición continua de una mezcla diácida de ácido nítrico y ácido sulfúrico en proporción 3:1 respectivamente en una parrilla de calentamiento hasta que cada muestra tuviera un color transparente y después se aforó con a 50 ml utilizando agua destilada y se filtró para posteriormente ser depositada en frascos de plástico de polietileno para su análisis. Se calculó el factor de bioconcentración (BCF por sus siglas en inglés) (la acumulación de metales pesados de la planta con respecto al suelo de su alrededor) y el factor de translocación (TF por sus siglas en inglés) (la acumulación de metales en las partes aéreas de la planta en relación con la raíz de la misma) para poder establecer si la planta tiene potencial como extractora (si ambos factores son mayores a uno, la planta se clasifica como extractora).

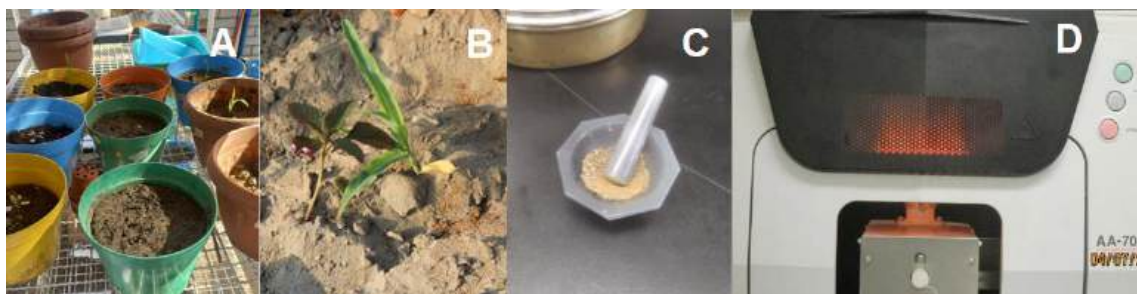


Figura 1. Plantas y diseño experimental. A) Amaranto y maíz en invernadero; B) Amaranto y maíz en el RM; C) Maceración de muestras; D) análisis de MP con FAAS.

Resultados y Discusión

Las diferencias en el crecimiento vertical de las plantas de amaranto y maíz en las distintas concentraciones tuvieron una variación, con un promedio de 37.3 cm para el amaranto del grupo control y 27.1 cm para el amaranto del suelo contaminado. Respecto al maíz, también existe una reducción en el crecimiento en el grupo del suelo contaminado (de hasta 6 cm, de 72 a 66 cm). Las concentraciones de clorofila reportaron una tendencia a la reducción en las concentraciones más altas en el amaranto y en las concentraciones medias del maíz, sin embargo, después de una prueba estadística se determinó que los cambios no son significativos. Las plantas del invernadero se desarrollaron hasta el crecimiento y floración, y solo una planta de amaranto con la concentración más alta (C2) se marchitó antes del periodo de los dos meses. De las 12 plantas que se llevaron al relave para ser sembradas, nueve no pudieron desarrollarse por las condiciones ambientales. Los tres restantes (dos amarantos, un maíz) mantuvieron una inhibición en su crecimiento y solo una tuvo desarrollo suficiente (amaranto) para poder analizar sus BCF y TF. En las muestras de suelo analizado del RM, los valores obtenidos de pH se dan entre 6.7 y 7.7, estos valores se pueden clasificar como neutros y medianamente alcalinos según la NOM-021-RECNAT-2000, la conductividad eléctrica se mantuvo en valores entre 2.17 y 2.83 ms/cm, con la clasificación de moderadamente salinos según la misma Norma Oficial. El Eh tiene valores positivos lo que indica que se está realizando un proceso de oxidación, sin embargo, los valores fueron bajos, ya que van desde 175 hasta 215 mV. El porcentaje de MO del suelo tiene una variación que va desde el 2.01 hasta el 3.55%, clasificándose como materia orgánica media para suelos no volcánicos. La densidad aparente tiene valores en el rango de 1.31 g/cm³ hasta 1.64, clasificando como textura arenosa, esto concuerda con lo obtenido por el método de medición de textura, que arrojó una textura arenosa con una proporción del 92% de arena.

De los cuatro MP analizados (cuadro 1), se encuentra la presencia de cobre y cromo en todas las muestras, mientras que el zinc y el plomo tienen una presencia intermitente, con suelos y tejidos que presentaron límites no detectables (N.D.).

Cuadro 1. Concentraciones de metales pesados en los tejidos de las plantas.

Planta		Concentración de MP en mg/kg			
		Cu	Cr	Pb	Zn
AhC2	Suelo	3.0555	1.2981	N.D.	N.D.
	Raíz	2.871	0.363	N.D.	N.D.
	Tallo	1.9839	8.8071	5.6991	N.D.
	Hoja	1.1538	0.7119	4.3212	N.D.
ZmC2	Suelo	3.5892	0.7257	N.D.	N.D.
	Raíz	2.0022	0.363	N.D.	N.D.
	Tallo	0.5859	0.1815	4.2585	N.D.
	Hoja	1.1424	0.2094	5.511	N.D.
AhZMP1	Suelo	10.788	0.963	N.D.	2.9625
	Raíz	3.6324	0.5583	N.D.	4.0734
	Tallo	1.2153	0.3489	1.8162	N.D.
	Hoja	0.7914	0.279	0.6264	N.D.
ApZMP1	Suelo	10.788	0.963	N.D.	2.9625
	Raíz	0.8892	0.4746	2.4423	N.D.
	Tallo	0.2553	0.279	1.8162	6.7584
	Hoja	1.2771	0.5304	N.D.	14.3499
ApCarr	Suelo	1.0695	2.0517	0.1254	13.2387
	Raíz	0.7638	0.5025	N.D.	N.D.
	Tallo	0.2805	0.363	3.507	N.D.
	Hoja	0.5565	0.4467	1.6284	N.D.
DvZMP3	Suelo	11.6388	0.9771	N.D.	N.D.
	Raíz	2.2095	0.6141	N.D.	N.D.
	Tallo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	Hoja	0.7548	0.363	N.D.	N.D.

Los sitios mantienen las siguientes abreviaciones según la planta asociada al suelo recolectado: Ah – *Amaranthus hypochondriacus*, Zm – *Zea mays*, Ap – *Ambrosia psilostachya*, Dv – *Dalea versicolor*. C2 se refiere a los individuos del invernadero, ZMP1 y ZMP3 a los de campo y Carr al individuo de *A. psilostachya* recolectada en carretera.

Los factores de bioconcentración (cuadro 2) dieron resultados favorables. Ambas plantas analizadas del invernadero mantienen un factor >1 en cobre y cromo, indicando que son acumuladoras de metales. El amaranto del relave y *A. psilostachya* (también cosechada en campo) también tienen un factor >1 en su acumulación de cromo y la última de >7 en su acumulación de zinc. El segundo individuo de *A. psilostachya*, que fue recolectado en un suelo no tan contaminado mantiene un BCF de 40 en concentraciones muy bajas de plomo. Aunado a esto, *D. versicolor* tiene BCF bajos, de 0.2 para cobre y 0.9 para cromo.

Cuadro 2. Factor de bioconcentración total de las plantas.

	Cu	Cr	Pb	Zn
AhC2	1.966519	7.612664	N.D.	N.D.
ZmC2	1.03936	1.038859	N.D.	N.D.
AhZMP1	0.522719	1.231775	N.D.	1.374987
ApZMP1	0.224471	1.333333	N.D.	7.125164
ApCarr	1.496774	0.639567	40.952153	N.D.
DvZMP3	0.254691	0.999102	N.D.	N.D.

Los factores de translocación (cuadro 3) también indican algunos resultados positivos, el amaranto del invernadero tiene un factor >1 en la absorción de cobre y >26 en la absorción de cromo, siendo esto

indicador de una translocación masiva de cromo de la parte subterránea a las partes aéreas, el maíz de invernadero mantiene factores de 0.8 y 1, el amaranto del RM de 0.5 y 1.1, *A. psilostachya* del RM también mantiene sus dos factores >1 (1,72 y 1,70) y el individuo de la zona no contaminada solo el factor de cobre, por último, de nuevo *D. versicolor* tiene un TF bajo, de 0.34 para el cobre y de 0.59 para el cromo.

Cuadro 3. Factor de translocación de las plantas.

	Cu	Cr	Pb	Zn
AhC2	1.092894	26.22314	N.D.	N.D.
ZmC2	0.863200	1.07685	N.D.	N.D.
AhZMP1	0.552444	1.124664	N.D.	N.D.
ApZMP1	1.723346	1.705436	0.743643	N.D.
ApCarr	1.095836	0.42184	N.D.	N.D.
DvZMP3	0.341615	0.591108	N.D.	N.D.

Los resultados revelaron que la altura del amaranto y el maíz del invernadero en las distintas concentraciones de suelo si variaron, pero según una prueba ANOVA, las diferencias en crecimiento no fueron significativas. Su supervivencia y crecimiento superaron a las de las plantas del RM, esto como resultado de su riego y atención constante. Esto aumentó su extracción y acumulación de metales pesados como podemos observar en el cuadro 2 y 3. La muerte de los individuos en el relave se debe principalmente a la poca precipitación y a los cambios drásticos de temperatura, pues las condiciones del suelo se mantuvieron igual en las plantas del invernadero y las del relave.

Sobre las condiciones del suelo, este sitio de estudio se puede clasificar como un tecnosol (es decir, un suelo de origen antrópico), estos suelos tienen características específicas como una alta heterogeneidad, estructura pobre y una reducida cantidad de nutrientes (Sanchez-Lopez, 2015). Los resultados obtenidos concuerdan con lo reflejado en la literatura preexistente (Sanchez-Lopez, 2015). Todas estas características mantienen consecuencias directas en el crecimiento de las plantas y en su potencial para absorber metales (Sheoran, 2016): la textura arenosa que se encuentra en el relave indica una alta permeabilidad y no permite la captura de agua, esta misma textura indica que hay bajo contenido en arcillas, lo que dificulta el transporte de nutrientes y es señal de una rizosfera poco desarrollada. La densidad aparente, al ser alta, indica indirectamente un bajo contenido de %MO además de una porosidad baja. La materia orgánica es muy importante para la biodisponibilidad de los MP, ya que logra mezclarse con estos y los oxida. Otro factor indispensable es el pH bajo, a menor pH mayor biodisponibilidad, en este caso, al mantener valores neutros-alcalinos, las plantas tienen una menor capacidad de absorber estos MP. Por lo tanto, encontramos las condiciones de este relave muy adversas para la alta extracción de metales sin un tratamiento que acompañe a la fitoextracción, como la adhesión de agentes quelantes, de materia orgánica o de medios acidificadores del sitio (Sheoran, 2016).

Los MP encontrados principalmente en estas minas son el hierro, el cadmio y el arsénico (Armienta, 2019; Sanchez-Lopez, 2015), por lo que los metales analizados en este estudio son menos abundantes, sin embargo, la concentración a la que se encuentran estos metales también es dañina para la salud. Como consecuencia de esto, es posible que las plantas hayan acumulado una mayor cantidad de hierro, cadmio y arsénico en sus tejidos lo que agravó la fitotoxicidad. *D. versicolor* no mostró ni BCF ni TF mayores a uno en la absorción de ninguno de los metales, sin embargo, su crecimiento en la zona es abundante. Estos factores se pueden comparar a lo reportado por Sanchez-Lopez (2015) en una especie del mismo género, por lo que se puede concluir que *D. versicolor* no funciona como planta extractora, pero si como una planta que facilita la revegetación primaria por la generación de materia orgánica, de exudados de la rizósfera y la compartición de nutrientes (Sheoran, 2016). Respecto a *psilostachya*, no se encontraron estudios respecto a esta especie para la fitorremediación, por lo que se puede remarcar este trabajo como el primero en reportar su comportamiento en RM. Al ser nativa de la zona, *A. psilostachya* mantiene características similares a *D. versicolor* en sus BCF y TF, teniendo factores bajos (relativos a 1) en todos sus análisis excepto en concentraciones muy bajas de plomo (fuera del RM) por lo que podemos denominar a esta planta como tolerante y excluyente de estos metales pesados. Respecto al maíz, Armienta (2019) realizó un trabajo en zonas aledañas a las minas de Zimapán, en este trabajo reportó un TF menor a uno en todos los metales (Fe, As, Zn, Pb, Cd) exceptuando al cadmio y un BCF menor a 1 en los metales excepto plomo. En este trabajo, el cromo tiene BCF y TF mayor a 1 por lo que la planta extrae con eficacia el cromo y en el cobre concentra una mayor cantidad en las raíces respecto a las zonas aéreas. Es reportado también

que el maíz extrae una gran cantidad de arsénico, por lo que se podría esperar que sus tejidos acumulen este metal con prioridad. Respecto a *hypochondriacus*, la mayoría de sus estudios están relacionados a su alta capacidad para acumular cadmio en sus tejidos (Haller, 2023), sin embargo, en este trabajo podemos resaltar su alta capacidad para acumular cromo, especialmente en condiciones de riego constante.

Conclusiones

Para poder ampliar la información sobre el potencial de fitorremediación de estas plantas es necesario un análisis más amplio de MP y utilizar más individuos de cada planta. Estas plantas anuales y de rápida generación de biomasa pueden ser pieza clave en la regeneración edáfica y revegetación de estos sitios contaminados en el Valle de México.

Referencias bibliográficas

- Armienta, M. A., Beltrán, M., Martínez, S., & Labastida, I. (2019). Heavy metal assimilation in maize (*Zea mays* L.) plants growing near mine tailings. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(8), 2361–2375. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00424-1>
- Haller, H., Pronoza, L., Dyer, M., Ahlgren, M., Bergqvist, L., Flores-Carmenate, G., & Jonsson, A. (2023). Phytoremediation of Heavy-Metal-Contaminated Soils: Capacity of Amaranth Plants to Extract Cadmium from Nutrient-Poor, Acidic Substrates. *Challenges*, 14(2), 28. <https://doi.org/10.3390/challe14020028>
- Sánchez-López, A. S., González-Chávez, Ma. del C. A., Carrillo-González, R., Vangronsveld, J., & Díaz-Garduño, M. (2014). Wild Flora of Mine Tailings: Perspectives for Use in Phytoremediation of Potentially Toxic Elements in a Semi-Arid Region in Mexico. *International Journal of Phytoremediation*, 17(5), 476–484. <https://doi.org/10.1080/15226514.2014.922922>
- Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2016). Factors Affecting Phytoextraction: A Review. *Pedosphere*, 26(2), 148–166. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60032-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60032-7)
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 133–164. DOI: [10.1007/978-3-7643-8340-4_6](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)

EVALUACIÓN DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NATIVOS DE SUELOS CON DIFERENTES USOS AGRÍCOLAS EN PLANTAS DE SORGO

Aracely Mena-Echevarría^{1*}, Carlos Miguel Ramos-Cruz¹, Kenzy Iveth Peña-Carrillo¹, Juan Martínez-Medina¹, Reyna Patricia Hipólito-Piedras², Heriberto Méndez-Cortés²

¹INIFAP, CIRNE, CEGET. ²Facultad de Agronomía y Veterinaria, UASLP

*Autor para correspondencia: mena.aracely@inifap.gob.mx

Palabras clave. Consorcios de HMA, cultivo hospedero, sorgo.

Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) forman asociaciones simbióticas con la mayoría de las especies vegetales, lo que resalta la importancia de conocer su diversidad y funcionalidad (Quiñones-Aguilar, 2017). La eficacia de los HMA en sistemas agrícolas esta condiciona por la compatibilidad con la planta hospedera, su procedencia, de la complementariedad entre hongos u hongo-hospedero y del ambiente edáfico donde se apliquen (Peña-Sierra y Rodríguez-Ramos, 2018; Sagadin *et al.*, 2018).

El 75% de la propagación de HMA se ha realizado mediante el cultivo trampa, siendo el sorgo y el maíz los hospederos más empleados (Berruti *et al.*, 2016). Se ha documentado que la composición edáfica y las condiciones ambientales en que se establece la simbiosis determinan la relación entre los HMA y el hospedero, lo que pueden generar diferencias estructurales y funcionales dentro de la misma especie de HMA; así como entre morfotipos de la misma especie u otras (Sagadin *et al.*, 2018).

Los procesos coevolutivos entre plantas y HMA siguen siendo poco comprendidos, especialmente en lo que respecta a los mecanismos fisiológico que regulan la simbiosis, la selección del socio y la estabilidad funcional del mutualismo en la simbiosis micorrízica (Van der Heijden *et al.*, 2015). El objetivo del presente trabajo fue evaluar poblaciones de HMA nativas de cuatro suelos con distintos usos agrícolas, bajo la hipótesis que el uso del suelo influye en la diversidad de especies nativas de HMA, y que existen especies de HMA resilientes, y muy eficientes en la simbiosis micorrízica.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental General Terán, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en condiciones semicontroladas. Se colectaron suelos de cuatro localidades del municipio de General Terán, Nuevo León, México con distintos usos agrícolas: suelo 1 con cultivo de sorgo, se ubica en la ciudad General Terán, 25°15'54.3"N, 99°40'42.9"W; suelo 2 con pasto Johnson silvestre en reposo, se ubica en el ejido Ojo de Agua, 25°19'39.7"N, 99°38'53.4"W; suelo 3 con matorral submontano, se ubica en el ejido Tlahualilo, 25°25'57.9"N, 99°39'15.6"W y suelo 4, huerta de cítricos ubicada en Las Anacuas, 25°18'17.6"N, 99°34'59.3". Los consorcios de nativos de HMA se propagaron en sorgo (*Sorghum bicolor*). Se empleó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones y cinco plantas por macetas.

Muestras de suelo

Las muestras de suelos fueron colectadas a una profundidad entre los 10 y 20 cm, cerca del sistema radical, y en cada sitio se tomaron cuatro submuestras de 500 g que fueron colocadas en bolsas de plástico y trasladadas al laboratorio para su procesamiento.

Análisis de los suelos

Se enviaron las muestras de suelo al Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición. Fertilab, para el análisis de las propiedades físicas y químicas (Cuadro 1).

Reproducción de especies de HMA y nutrición de las plantas

La propagación de los HMA se realizó de acuerdo a la metodología de cultivo trampa propuesta por Trejo-Aguilar y Banuelos (2020). Se utilizaron macetas de 1 kg de capacidad y se sembraron cinco semillas de sorgo, se utilizó como sustrato una mezcla de arena estéril y el suelo colectado. Las plantas se fertilizaron con la solución nutritiva Long Ashton (LANS) (Hewitt, 1966) baja en fósforo (22 mg L⁻¹), de acuerdo a la necesidad y etapa fisiológica del cultivo.

Cuadro 1. Resultados del análisis de las características química- física de los suelos de General Terán.

Suelos General Terán	Textura	pH	E.C. dS/m	MO %	K *	N- NO ₃	P	Fe	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	B	S
										(mg kg ⁻¹)						
Suelo 1	F-A	8.4	0.73	4.67	487	8.10	25.2	5.52	1.22	0.78	4.94	4723	230	<25	1.08	0.10
Suelo 2	F	8.3	0.55	3.37	274	11.4	43.3	6.22	1.86	2.49	6.00	3574	337	<25	2.67	0.10
Suelo 3	Franco	8.4	0.38	3.35	230	4.49	11.3	3.93	0.51	0.36	2.70	4999	128	<25	1.02	0.10
Suelo 4	Franco	8.4	0.40	3.07	391	6.46	13.3	5.71	0.77	0.38	2.66	4341	113	<25	0.92	0.10

Franco-Arcilloso (F-A), Arcilla (A), Franco (F).

La caracterización e identificación de las especies de HMA

Se realizó mediante el montaje de las esporas en láminas semipermanentes con alcohol polivinílico-lacto-glicerol (PVLG) según Morton *et al.* (1993) y con el reactivo de Melzer (Koske y Tessier, 1983). Las esporas se caracterizaron bajo un microscopio óptico compuesto (NIKON MODEL ECLIPSE. Japón); con base en las características morfológicas básicas propuestas por Walker (1983) y Morton (1988), que incluyen forma, tamaño, características de la pared externa, estructuras de germinación, hifa de sostén y reacción al reactivo de Melzer. La identificación de las especies de HMA se realizó con base a la colección internacional de cultivos de hongos micorrízicos arbusculares y vesiculares disponible en <http://invam.caf.wvu.edu>; además se usaron publicaciones originales de las especies, y se empleó como referencia la clasificación del Phylum Glomeromycota propuesto por Redecker *et al.* (2013).

Variables evaluadas

Se cuantificó el número de esporas de HMA tanto en el suelo inicial como en el sustrato de propagación después de haber establecido el cultivo hospedero, siguiendo el método propuesto por Gerdemann y Nicholson (1963). Las esporas extraídas fueron contadas en una placa de conteo con círculos concéntricos; se realizaron cinco lecturas por tratamientos. Las biomásas secas aéreas y de raíz se determinaron al finalizar el experimento a los 108 días después de la siembra (dds).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA), empleándose la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación múltiple de medias. El número de esporas se transformó mediante ($\sqrt{x}$) por presentar distribución binomial. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron con el software para Windows Minitab15 v12.0.0.58849.

Resultados y Discusión

Diversidad de especies de HMA

Se identificaron seis familias del Filo *Glomeromycota*. La familia Glomeraceae fue la más abundante con el 48.3% del total, superando en un 73.3% a la familia Entrophosporaceae, en un 66.7% a la familia Diversisporaceae, en un 86.7% a las familias Acaulosporaceae y Ambisporaceae y en un 93.3% a la familia Archaeosporaceae. En total se identificaron 20 especies de HMA, de las cuales nueve especies se encontraron en el suelo S1, ocho en el suelo S2, siete en el suelo S3 y cinco en el suelo S4. *Funnelformis mosseae* se encontró en los cuatro suelos y algunas de las otras especies identificadas estaban presentes tres o dos de los suelos estudiados (cuadro 2).

De lo cuatro suelos de estudio, el número de especies de HMA del suelo S4 (huerta de cítrico) fue el menor, esto puede asociarse al uso del suelo y las labores culturales realizadas en la huerta, lo cual puede perturbar el hábitat de estos microorganismos y exponerlos a la acción directa de la solarización. Por otra parte, el suelo S2 (cultivo de sorgo), aunque también estuvo sometido a labores culturales, que incluye la preparación del suelo, mostró un mayor número de especies de HMA. Esta respuesta puede asociarse en parte al cultivo de sorgo y a su alta dependencia micorrízica, se ha documentado que el sorgo es uno de los hospederos más empleados para la propagación de los HMA debido a su alta dependencia micorrízica (Berruti *et al.*, 2016). De igual forma, la distribución cosmopolita de los HMA y la diversidad de especies puede asociarse a factores como el pH del suelo, la comunidad vegetal y a ciertas características fisiológicas que presentan los HMA (Stürmer *et al.*, 2018).

Cuadro 2. Especies de HMA identificadas taxonómicamente en los suelos colectados en el municipio General Terán. Nuevo León.

Suelos	Especies	Descriptores
S1	<i>Funneliformis mosseae</i>	T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler
	<i>Septogloium constrictum</i>	(Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
	<i>Glomus microcarpum</i>	Tul. & C.Tul. 1844
	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	(Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck 1990
	<i>Archaeospora spainiae</i>	(Oehl, Palenz., Sánchez-Castro & G.A.Silva) A.Schüßler & C.Walker
	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	(N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker
	<i>Sieverdingia tortuosa</i>	(N.C. Schenck & G.S. Sm.) Błazsk., Niezgoda & B.T. Goto
	<i>Entrophospora clarioidea</i>	(N.C. Schenck & G.S. Sm.) Błazsk., Niezgoda, B.T. Goto & Magurno
	<i>Ambispora granatensis</i>	Palenz., N. Ferrol & Oehl (2010)
	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	(Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck 1990
S2	<i>Diversispora jacksuiae</i>	Błazsk., Balázs y Kovács, 2015
	<i>Entrophospora etunicata</i>	(W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgoda, B.T. Goto & Magurno
	<i>Diversispora densissima</i>	Błazsk., B.T. Goto, Niezgoda & Magurno
	<i>Rhizophagus clarus</i>	(T.H. Nicolson & N.C. Schenck) C. Walker & A. Schüßler
	<i>Funneliformis mosseae</i>	T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler
	<i>Acaulospora sp 1</i>	
	<i>Rhizophagus aggregatus</i>	(N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker
S3	<i>Ambispora granatensis</i>	Palenz., N. Ferrol & Oehl (2010)
	<i>Sclerocystis sinuosa</i>	(Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck 1990
	<i>Entrophospora etunicata</i>	(W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgoda, B.T. Goto & Magurno
	<i>Rhizogloium microaggregatum</i>	(Koske, Gemma & P.D. Olexia) Sieverd., G.A. Silva & Oehl
	<i>Diversispora densissima</i>	Błazsk., B.T. Goto, Niezgoda & Magurno
	<i>Rhizophagus custos</i>	(C. Cano & Dalpé) C. Walker & A. Schüßler
	<i>Funneliformis mosseae</i>	T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler
S4	<i>Acaulospora sp 2</i>	
	<i>Diversispora densissima</i>	Błazsk., B.T. Goto, Niezgoda & Magurno
	<i>Vicospora peruviosca</i>	Corazon-Guivin, G.A. Silva & Oehl, 2023
	<i>Funneliformis mosseae</i>	T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler
	<i>Entrophospora etunicata</i>	(W.N. Becker & Gerd.) Błazsk., Niezgoda, B.T. Goto & Magurno

Suelos(S). S1 (cultivo de sorgo); S2 (Pasto Johnson dos años en reposo); S3 (Matorral submontano) y S4 (Huerta de cítricos dulces)

Contenido de esporas en el suelo

El análisis de varianza del número de esporas de HMA reflejó diferencias estadísticas significativas entre los suelos en el muestreo inicial y muestreo final (cuadro 3). El número de esporas de HMA del muestreo inicial fue significativamente mayor en el suelo S3, superando en un 51.8%, 38.3% y 43.5% a las encontradas en los suelos S1, S2 y S4, respectivamente. Mientras que en el muestreo final (108 dds) fue significativamente mayor en el suelo S2, superando en un 21.2%, 20.6% y 33.8% a las encontradas en los suelos S1, S3 y S4, respectivamente (figura 1).

Cuadro 3. Resultados del ANOVA del número de esporas en el muestreo inicial y final.

ANOVA	Número de esporas g ⁻¹	
	Muestreo inicial	Muestreo final
Valor F	49.93	17.01
P value	0.001***	0.001***

*P < 0.05; ** P < 0.01; *** P < 0.001 y ns: no existen diferencias significativas

El número de esporas se incrementó en los suelos S1 y S2 después de la propagación, sin embargo, en el suelo S3 reflejó una disminución en el número de esporas, mientras que en el suelo S4 se mantuvo similar

durante los dos muestreos. Esta respuesta puede estar asociada a los consorcios nativos presentes en cada suelo, a las diferencias funcionales diversidad de especies que los componen, y a la dependencia hacia el cultivo hospedero. Los cultivos trampa pueden ejercer cierta presión selectiva favoreciendo aquellas especies de HMA que esporulan más abundantemente, y esto viene dado por su capacidad de adaptación a diferentes ambientes (Leal *et al.*, 2018).



Figura 1. Resultados del número de esporas en los suelos. Muestreo inicial: suelos colectados; Muestreo final: después del cultivo de sorgo a los 108 dds; S1(cultivo de sorgo); S2(Pasto Johnson dos años en reposo); S3(Matorral submontano) y S4(Huerta de cítricos dulces). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Las barras en las columnas significan el error estándar.

Biomasa total seca aérea y de raíz

El análisis de varianza de las biomásas secas aérea y de raíz reflejó diferencias estadísticas significativas en ambas variables (cuadro 4). La biomasa seca aérea fue significativamente mayor en el suelo S2, superando en un 77.4% y 36.6% a las biomásas de las plantas que crecieron en los suelos S1 y S4, respectivamente. Mientras que la biomasa de raíz fue significativamente mayor en el suelo S2 y S4, superando en promedio en un 69% a biomasa de raíz de las plantas que crecieron en el suelo S1(figura 2).

Cuadro 4. Resultados del ANOVA de las biomásas secas aérea y de raíz (108 dds).

ANOVA	Biomásas secas totales (g)	
	Aérea	Raíz
Valor F	20.06	6.95
P value	0.001***	0.006***

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ y ns: no existen diferencias significativas

Las plantas reflejaron un incremento en el crecimiento y desarrollo en los suelos S2, S3 y S4, sin embargo, en el suelo S1, aunque se encontró un incremento en el número de esporas, este no se reflejó en las biomásas de las plantas. Las especies que componen el consorcio del suelo S2 fueron las que más se replicaron y mostraron ser más eficientes en la simbiosis micorrízica. Al parecer las estructuras micorrízicas que se forman fuera y dentro del sistema radical (micelio, arbusculos, hifas) incrementaron el área de absorción de nutrientes y agua de las plantas. De igual forma, el cultivo hospedero y la especificidad entre los HMA garantizan el éxito de la simbiosis micorrízica. Los resultados confirman que, si existen diferencias funcionales entre las comunidades de HMA, y estas se verán reflejadas en el cultivo al cual se asocian. La composición de los consorcios nativos de HMA y la coadaptación del cultivo hospedero y de las especies de HMA a ciertas condiciones de crecimiento, pueden determinar las interacciones entre ambos organismos, y por lo tanto influir en el éxito o fracaso de la simbiosis micorrízica (Neuenkamp *et al.*, 2019, Herrera-Monroy *et al.*, 2023).

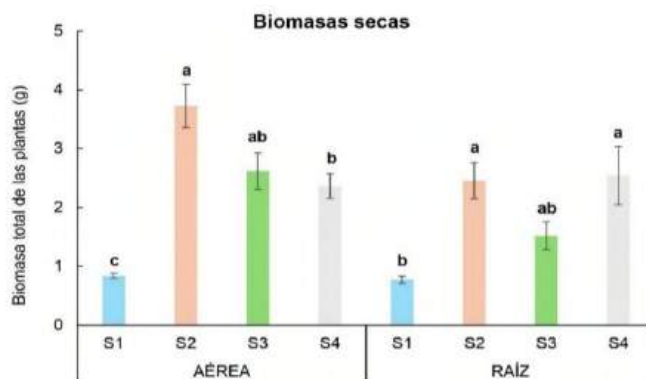


Figura 2. Resultados de las biomásas secas aérea y de raíz de sorgo. S1(cultivo de sorgo); S2(Pasto Johnson dos años en reposo); S3(Matorral submontano) y S4(Huerta de cítricos dulces). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Las barras en las columnas significan el error estándar.

Conclusiones

En los suelos S1, S2 y S3 se encontró el mayor número de especies de HMA, siendo significativamente inferior en el suelo S4. La especie de HMA *Funneliformis mosseae* se encontró en los cuatro suelos estudiados. Seis familias del Filo *Glomeromycota* se identificaron: Glomeraceae, Entrophosporaceae, Diversisporaceae, Acaulosporaceae, Ambisporaceae y Archaeosporaceae, siendo la familia Glomeraceae la más abundante, con un 48.3% del total de las especies de HMA. El número de esporas se incrementó en los suelos S1 y S2 después de la propagación con sorgo, el suelo S3 reflejó una disminución en el número de esporas y el suelo S4 no reflejó diferencias durante los dos muestreos. Las biomásas de las plantas se incrementaron en los suelos S2, S3 y S4. El suelo S1 mostró un incremento en el número de esporas, pero este no se reflejó en las biomásas de las plantas. El consorcio de HMA del suelo S2 resultó ser el más eficiente en la simbiosis al replicar más individuos e incrementar las biomásas. La diversidad de especies de HMA encontradas sugieren que el uso de la tierra y el cultivo establecido pueden influir en las poblaciones nativas de HMA. De igual forma, existen especies de HMA con un mayor potencial de adaptabilidad, replicación y más eficientes en la simbiosis.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Esta investigación fue realizada como parte del proyecto.1017936588, titulado “Colecta, caracterización e identificación de especies de hongos micorrízicos arbusculares del noreste de México” financiado por el INIFAP.

Referencias bibliográficas

- Gerdemann, J.W., and Nicholson, T.H. 1963. Spore of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46: 235-244.
- Redecker, D., A.H. Schüßler, S. Stockinger, J.M. Stürmer, C. Walker. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). Mycorrhiza 23: 515-531.
- Sagadin, M.B., Monteoliva, M.I., Luna C.M. and Cabello M.N. 2018. Diversity and infectivity of native arbuscular mycorrhizal fungi from Prosopis alba areas with contrasting edaphoclimatic characteristics in the Argentinian Parque Chaqueño. Agriscientia. 35: 19-33.
- Trejo-Aguilar, D., Banuelos, J. 2020. Isolation and Culture of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from Field Samples. In: Ferrol, N., Lanfranco, L. (eds) Arbuscular Mycorrhizal Fungi. Methods in Molecular Biology, vol 2146. Humana, New York, NY.
- Walker, C. 1983. Taxonomic concepts in the Endogonaceae: spore wall characteristics in species descriptions. Mycotaxon 18: 443-455.

FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN ETAPAS TARDÍAS DE MAÍZ

Andrés Mandujano-Bueno^{1*}, Víctor Montero-Tavera¹, Juan Francisco Buenrostro-Rodríguez², Juan José García-Rodríguez¹, Francisco Paúl Gámez-Vázquez¹

¹INIFAP, CIRCE, CEBAJ. ²TecNM campus IT Roque

*Autor para correspondencia: mandujano.andres@inifap.gob.mx

Palabras clave. Maíz, nitrógeno, Bajío.

Introducción

La región del Bajío comprende 1,100,000 ha de zonas no montañosas de Guanajuato, Querétaro Jalisco y Michoacán. La producción de maíz de riego es una actividad agrícola estratégica, clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo económico regional debido a su alta productividad y adaptación a las condiciones agroclimáticas de la zona, su papel en la dieta, la industria y la generación de empleo (Camargo, 2020). Anualmente en esta región se siembran alrededor de 350,000 ha bajo condiciones de riego (SIAP, 2025). No existen datos oficiales sobre uso de semillas mejoradas en la región, pero se estima que se siembra principalmente grano blanco en más del 70% del área, buscando altos rendimientos y estabilidad en la producción. Una práctica común es aplicar fertilizantes nitrogenados en las etapas tardías hoja bandera (V12) y floración (R1), bajo el supuesto de incrementar el rendimiento; sin embargo, este manejo agronómico no se ha sometido al escrutinio científico. Diversos estudios han demostrado que la eficiencia en la absorción y asimilación del nitrógeno disminuye conforme avanza el ciclo del cultivo, y que la mayor demanda y aprovechamiento de este nutriente ocurre entre V6 y V10 (Ciampitti and Vyn, 2014).

El objetivo de este trabajo consistió en evaluar el efecto de la aplicación de fertilizante nitrogenado en las etapas de hoja bandera y floración de 12 híbridos comerciales de maíz de grano amarillo y 15 de blanco. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar en arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, la parcela grande fueron los híbridos de maíz y la parcela chica los manejos de nitrógeno: 1) fertilización base más reabono en V7 (siete hojas verdaderas), 2) fertilización base, más reabono en V7, más reabono en hoja bandera, 3) fertilización base más reabono en V7, más reabono en floración. Se evaluaron las variables número de plantas, número de mazorcas, humedad de grano, rendimiento ajustado al 14% humedad y peso hectolítrico. Se aplicaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias con el método Tukey a un nivel de confianza de 95%. Existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los híbridos de maíz para todas las variables evaluadas y diferencias significativas para la humedad de grano, y altamente significativas para el rendimiento con respecto a la fertilización. Los mayores rendimientos se obtuvieron con el híbrido Antílope Y (amarillo), el cual no tuvo diferencia estadísticamente significativa con Galáctico y NB723 (blancos), y en el tratamiento 1 donde únicamente se aplicó reabono en V7. Esto demuestra que existen genotipos de maíz amarillo con alto potencial de rendimiento, igual o superior al de algunos blancos y que en general la aplicación de nitrógeno en hoja bandera y floración no incrementa el rendimiento de grano de maíz.

Materiales y Métodos

En el ciclo primavera-verano (P-V) 2023 se estableció un ensayo con 27 híbridos de maíz de ciclo intermedio a intermedio-tardío, entre los 175 a 197 días a cosecha. La siembra se realizó el 04 de mayo en terreno seco, sobre surcos de 0.75 m, con una sembradora neumática de precisión de cuatro cuerpos; la densidad de siembra fue de 100,000 semillas por ha. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones, la parcela grande fue el híbrido de maíz y la parcela chica el manejo de la fertilización con tres tratamientos: 1) fertilización base más reabono en V7 (siete hojas verdaderas), 2) fertilización base, más reabono en V7, más reabono en hoja bandera, 3) fertilización base más reabono en V7, más reabono en espigamiento. La parcela de evaluación se localizó en el Campo Experimental Bajío del INIFAP, ubicado en Celaya, Guanajuato; el suelo es de tipo Vertisol con textura arcillosa, contenido de materia orgánica de 1.53, pH neutro de 7.0, no sódico con una PSI de 2.07 %, bajo contenido de carbonatos con 2.59 %, niveles medios de N y P con 50.5 y 18.5 ppm, respectivamente, nivel alto de K con 1150 ppm, nivel bajo de Fe con 5.0 ppm, niveles moderadamente altos de Zn y magnesio con 4.2 y 806 ppm, respectivamente. El tipo de clima es Semiseco/Semicálido con precipitaciones en verano, con precipitación promedio durante el periodo lluvioso de junio a octubre de 524

mm. La preparación del suelo en ambos ciclos fue de labranza mínima con dos pasos de rastra y trazo de surcos. La fertilización base se aplicó enterrada al momento de la siembra y constó de 82 kg de N, 35 de P, 15 de K, 1.25 de Fe, 0.12 de Mn, 0.75 de Zn, 0.01 de B, 0.06 de Cu y 0.0002 de Mo, las fuentes de fertilización fueron urea, DAP, sulfato de potasio y micromix concentrado. Para calcular la cantidad de nitrógeno por aplicar en el reabono de la etapa V7 se usó el sensor GreenSeeker; la cantidad calculada fue de 350 kg de urea por ha (161 kg de N), la cual se aplicó manualmente para después cubrirla con suelo con un cultivo. Para los reabonos en hoja bandera y en espiga se aplicaron superficialmente 300 kg de sulfato de amonio (63 kg de N), cantidad similar a la empleada por los agricultores de la región. Durante el ciclo de cultivo se controlaron malezas, plagas y enfermedades de acuerdo con la "Guía para la producción de maíz" (Pons *et al.*, 2013). Cuando el cultivo se encontró en madurez fisiológica y humedad del grano cercana a 14%, se realizaron muestreos de rendimiento. Se contaron el número de plantas y de mazorcas en 2.0 m lineales de surco (1.5 m²), las mazorcas se cosecharon y se depositaron en costales debidamente identificados. Las muestras se desgranaron, pesaron y con ayuda de un determinador estacionario de humedad Dickey Jonh, modelo GAC 2500-INTL, se determinó la humedad del grano y el peso hectolítrico del mismo. Con el peso y humedad de cada muestra se estimó el rendimiento de grano por ha ajustado al 14% de humedad. A los datos se les practicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias con el método Tukey a un nivel de confianza de 95%.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los híbridos para todas las variables evaluadas, diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) para la humedad del grano y diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el rendimiento de grano respecto a los tratamientos de manejo de la fertilización (cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza.

Fuente	GL	No. Plantas	No. Mazorcas	Humedad (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)
Trat	2	1.47ns	1.78ns	1.45*	15.25**	0.23ns
Mat	25	7.91**	5.47**	14.90**	61.90**	43.28**
Bloq	2	1.11ns	0.12ns	0.07ns	4.24ns	1.96ns
Error a	4	2.99ns	1.24ns	0.56ns	0.99ns	1.39ns
Mat X Trat	50	1.59ns	1.67ns	0.41ns	3.55ns	0.85ns
C.V. Trat (%)		8.21	10.04	4.27	11.77	1.35
C.V. Mat (%)		13.43	8.75	5.25	6.27	1.48

Trat = Tratamiento: 1) sin 2do reabono, 2) 2do reabono en hoja bandera y 3) 2do reabono en espigamiento; Mat = Material genético; Bloq = bloque.

* Estadísticamente significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); ns = no significativo.

La prueba de comparación de medias Tukey 0.05 (cuadro 2) indicó que la aplicación de un segundo reabono en la etapa de hoja bandera incrementó la humedad del grano. En campo se observó que en la mayoría de los híbridos con este manejo la planta permaneció más tiempo verde, lo que retrasó la maduración del grano. Por otra parte, el rendimiento de grano fue estadísticamente superior en el tratamiento con un solo reabono aplicado en la etapa V7. Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos por Chura *et al.* 2019), quienes encontraron que al fraccionar el nitrógeno total en dos aplicaciones en V2 y V7 se obtuvieron mayores rendimientos que al fraccionarlo en tres en V2, V7 y V12, lo cual posibilita la economía de mano de obra. De acuerdo con la literatura, a partir de V6 la absorción de nutrientes se acelera y entre V6 y V10 se determina el número potencial de hileras en la mazorca, por lo que específicamente esta aplicación de nitrógeno impacta directamente el rendimiento del cultivo. Además, en esta etapa hay menor pérdida por desnitrificación e inmovilización (Ciampitti *et al.*, 2016). Parte fundamental para que la planta aproveche esta aplicación es asegurar el riego inmediatamente antes de aplicar el fertilizante. Las demás variables, en forma general, no fueron afectadas por el manejo de la fertilización.

Cuadro 2. Resultados prueba de comparación de medias Tukey con un alfa de 0.05.

Material	No. Plantas	No. Mazorcas	Humedad (%)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Peso hectolítrico (kg hl ⁻¹)
Manejo del segundo reabono					
SSR	a12.95	a12.78	b15.84	a16.42	a79.71
SRHB	a12.71	a12.58	a16.42	b15.55	a79.80
SRE	a12.94	a12.87	b15.55	b15.84	a79.70
Híbridos					
H-386 A	e9.67	d11.56	bcd15.33	hijk13.80	efg78.80
300Y	bcd12.56	abcd12.44	gh13.56	defghi15.72	def79.87
BD212	abcd13.00	abcd12.22	bcde15.10	efghij15.24	ab83.12
NA975	bcd12.67	abcd12.67	efg14.16	abcd18.88	efg78.30
NA731	bcd12.44	abcd12.56	a16.58	abcd18.90	cd80.74
Antílope Y	bcd12.44	abcd12.44	ef14.22	a21.46	def79.73
15A	bcd12.33	cd11.78	defg14.45	jk12.19	fg78.28
H-394 A	abcd13.33	abcd12.89	fgh13.89	hijk13.17	a84.10
H-387 A	abc13.67	ab14.11	cdef14.69	defgh15.91	ab83.22
HEBA3	bcd12.67	abcd12.67	defg14.52	cdefgh16.07	bc82.01
HEBA4	ab13.89	abc13.89	abc15.75	k11.89	def79.46
HEBA6	ab14.11	ab14.11	fgh13.92	fghijk14.43	ab82.65
24 Kilates	abcd13.22	abcd12.78	bcde15.04	j12.19	efg78.43
Meteoro	abcd13.11	abcd12.78	ij12.39	bcde17.83	defg79.03
290W	abcd13.00	abcd12.89	hi12.93	bcdef17.62	cd80.70
BD058	abcd13.11	abcd12.56	ab15.78	bcdefg17.34	efg78.80
H-383	abcd13.22	abcd13.00	hi12.92	fghijkh14.44	g77.31
NB723	cd12.00	bcd11.89	abc15.71	abc19.23	cde80.19
NB950	bcd12.33	abcd12.89	ih12.92	abcd19.03	efg78.71
Galáctico	abcd12.89	abcd13.00	j11.71	ab19.46	def79.64
NW02	bcd12.33	bcd12.00	gh13.58	efghij15.34	def79.67
NW01	abcd13.00	abcd12.67	gh13.64	efghijk14.71	bc81.99
H-388 O	abcd13.33	abcd12.44	a16.47	ghijk14.19	fg78.17
H-389 O	a14.67	a14.44	efg14.15	efghijk14.93	efg78.31
H-393 O	abc13.78	abcd13.44	hg13.57	ijk12.52	fg78.01
241W	d11.67	d11.22	ij12.15	bcde17.80	h73.90

SSR = Sin segundo reabono. SRHB = Segundo reabono en hoja bandera. SRE = Segundo reabono en espigamiento. Letras iguales conforman un grupo estadístico.

El análisis demostró que el mayor rendimiento de grano de maíz amarillo se obtuvo con el híbrido Antílope Y, de la casa comercial Asgrow, con un promedio de 21.46 t ha⁻¹, mientras que Galáctico, de la empresa comercial Mussini, fue el híbrido de grano blanco más rendidor con 19.46 t ha⁻¹. 15A y 24 kilates, de ciclo precoz, tuvieron un rendimiento similar de 12.2 t ha⁻¹; estos maíces presentan un buen rendimiento si se considera su ciclo de 154 días a cosecha, el cual es 29 días más rápido que el del promedio de los híbridos evaluados y 43 días más rápido que el híbrido más tardío. Esto los convierte en excelentes alternativas para producir cuando la fecha de siembra se atrasa, o bien si se desea lograr dos ciclos de cultivo en primavera verano.

En promedio los maíces blancos rindieron 1.13 t ha⁻¹ más que los amarillos con media de 16.5 t ha⁻¹; sin embargo, el mayor rendimiento de grano se obtuvo con un maíz amarillo, lo que indica que el productor cuenta con alternativas de este tipo de maíz con igual o mayor potencial de rendimiento que los blancos.

Conclusiones

Actualmente existen genotipos de maíz amarillo con alto potencial de rendimiento, igual o superior al de algunos blancos, lo cual representa una alternativa para los productores de maíz del Bajío.

La aplicación de nitrógeno en hoja bandera o floración alarga el ciclo del cultivo y no incrementa el rendimiento de grano de maíz.

La no aplicación de nitrógeno en las etapas de hoja bandera y floración puede generar economía en mano de obra, sin embargo, es necesario continuar con este tipo de ensayos considerando otros materiales genéticos, otras localidades, así como análisis de calidad del grano.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Campo Experimental Bajío del INIFAP por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo en el marco del proyecto “Desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología para el incremento de la producción y asegurar el abasto de maíz con calidad, y sanidad basándose en los criterios de sustentabilidad en regiones estratégicas de CONALSA a nivel nacional”. Un agradecimiento especial a los distribuidores de semilla por su colaboración en el desarrollo del presente experimento y para la difusión de los resultados en el evento Expo maíz 2024 Celaya.

Referencias bibliográficas

Bonilla C. Y. 2020. La tecnificación exitosa del modelo agrícola empresarial en el Bajío mexicano: maquinaria infraestructura, 1940-1975. *Historia Agraria de América Latina* 1 (2):74-99 pp. <https://doi.org/10.53077/haal.v1i02.73>.

Ciampitti I. A., R. W. Elmore, J. Lauer. 2016. Crecimiento y desarrollo de maíz. K-State Research and Extension.

Ciampitti I. A. and T. J. Vyn. 2014. Nutrient Sufficiency Concepts for Modern Corn Hybrids: Impacts of Management Practices and Yield Levels. *Crop Management* 13(1):1-7.

Chura, J., J. W. Mendoza C. y J. C. De la Cruz. 2019. Dosis y fraccionamiento de nitrógeno en dos densidades de siembra del maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria* 10(2):241–248. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.02.09.

Pons, H. J. L., A. D. Terrón I., R. Paredes M. y T. Medina C. 2013. Guía para la producción de maíz. En: Mandujano B. A., R. Paredes M., M. P. Alamilla G. y J. F. Buenrostro R. Guía para la producción de maíz, frijol, trigo y sorgo en Guanajuato. INIFAP, CIR-Centro, Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto. Mex. 53-80 pp.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2025. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. En línea, disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/. Fecha de consulta 05 de junio de 2025.

IMPACTO DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN SOBRE LAS COMUNIDADES MICROBIANAS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE VILLA CORZO, CHIAPAS

Rodolfo Vilchis-Ramos¹, Rubén de la Piedra-Constantino¹, Reiner Rincón-Rosales², Clara Ivette Rincón-Molina², Luis Alberto Manzano-Gómez³, Simón Fonteyne*

¹CIMMYT. ²TecNM. ³3R Biotec

*Autor para correspondencia: S.FONTNEYNE@cgiar.org

Palabras clave. Agricultura de conservación, comunidad microbiana, suelo.

Introducción

La interacción entre el suelo, las plantas y los microorganismos es un componente esencial para la sostenibilidad y productividad agrícola (Gen-Jiménez et al., 2025). La estructura de la comunidad bacteriana en el suelo está determinada por diversos factores interrelacionados, como el clima, las características edáficas y la vegetación. La materia orgánica funciona como sustrato de carbono para los microorganismos heterótrofos, y el entorno en el que estos se desarrollan regula su actividad metabólica (Navarro-Noya et al., 2022).

Considerando que la productividad de los suelos está influenciada por sus propiedades físicas, biológicas y químicas, las cuales se ven afectadas por el uso y manejo agrícola, la integración de leguminosas en los sistemas de producción de maíz representa una estrategia viable para mejorar la fertilidad del suelo y restaurar su biodiversidad funcional (Vilchis Ramos & Fonteyne, 2024).

Diversos estudios han demostrado que las prácticas de agricultura de conservación, como la cero labranza, el manejo adecuado del rastrojo y la diversificación de cultivos, pueden incrementar la biomasa microbiana y mejorar la estructura de las comunidades del suelo, favoreciendo procesos clave como el reciclaje de nutrientes, la formación de agregados y la resiliencia frente al estrés abiótico (Giller et al., 2021; Schreefel et al., 2020).

Sin embargo, los efectos combinados de estas prácticas sobre la riqueza y diversidad bacteriana del suelo bajo condiciones tropicales y sistemas agrícolas de larga duración aún no han sido completamente esclarecidos. Por ello, el presente estudio evaluó el efecto de diferentes combinaciones de prácticas de manejo agrícola incluyendo rotación de cultivos, tipo de labranza, manejo del rastrojo y niveles de fertilización nitrogenada sobre la estructura bacteriana del suelo en un sistema de producción de maíz con nueve años de implementación en la región de Villa Corzo, Chiapas.

Objetivo

Evaluar el efecto de las prácticas de agricultura de conservación sobre las comunidades bacterianas del suelo a granel de parcelas experimentales en Villa Corzo, Chiapas en el marco del programa Contribución México 2024 del CIMMYT 2024

Materiales y Métodos

Descripción del sitio experimental

Este estudio se estableció en la plataforma de investigación Villa Corzo, específicamente en el rancho San Sebastián (16.157728 LN, -93.291808 LO), ubicado en el ejido Monterrey, municipio de Villa Corzo, Chiapas.

Diseño experimental

Para evaluar los cambios en la comunidad bacteriana bajo diferentes prácticas de agricultura de conservación, durante el ciclo primavera-verano 2024 se empleó un diseño de parcelas divididas completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Se evaluaron diez tratamientos (cuadro 1), correspondientes a distintas combinaciones de cultivo, tipo de labranza y manejo de rastrojo. Cada tratamiento se asignó aleatoriamente a una parcela principal de 6.4 × 30 m. A su vez, cada parcela principal fue subdividida en tres subparcelas para evaluar tres niveles de fertilización nitrogenada: 18, 90 y 180 kg N ha⁻¹.

Cuadro 1. Tratamientos y prácticas de agricultura de conservación.

Tratamiento	Abreviación	Rotación	Práctica de labranza	Manejo de rastrojo
1	M,LC,R	Maíz	Labranza convencional	Remove
2	M,LC,P	Maíz	Labranza convencional	Parcial
3	M,CL,P	Maíz	Cero Labranza	Parcial
4	M,CL,R	Maíz	Cero Labranza	Remove
5	M,CL,D	Maíz	Cero Labranza	Dejar
6	MF,CL,P	Maíz-Frijol	Cero Labranza	Parcial
7	MS,CL,P	Maíz-Sorgo	Cero Labranza	Parcial
8	MD,CL,P	Maíz-Dolichos	Cero Labranza	Parcial
9	MC,CL,P	Maíz-Canavalia	Cero Labranza	Parcial
10	FM,CL,P	Frijol-Maíz*	Cero Labranza	Parcial

Extracción de ADN y Secuenciación

De cada tratamiento se recolectaron 12 submuestras de suelo a granel a una profundidad de 15 cm, las cuales se mezclaron para conformar una muestra compuesta. Estas fueron almacenadas en bolsas estériles y enviadas al laboratorio de la empresa 3R Biotec, donde se realizó la extracción de ADN total y la secuenciación. Para la extracción de ADN se utilizó el kit comercial ZymoBiomix® DNA Miniprep (Zymo Research Corporation, California, USA). La concentración (ng/μL) y la pureza del ADN (relación 260/280 nm) se determinaron con un NanoDrop® One (ThermoFisher Scientific, USA). La región hipervariable V3-V4 del gen 16S rRNA fue amplificada y secuenciada en la plataforma Illumina®.

Análisis de datos

La riqueza y diversidad de las comunidades bacterianas se determinaron utilizando los índices Chao1 y NP-Shannon (no paramétrico). Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en la plataforma RStudio

Resultados y Discusión

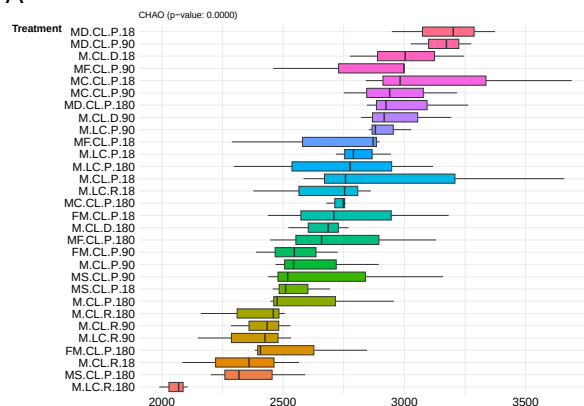
Los resultados de este estudio demostraron que las prácticas de agricultura de conservación evaluadas, como la asociación de maíz con leguminosas, el manejo parcial del rastrojo y la aplicación racional de fertilizante nitrogenado, generaron cambios significativos ($p < 0.05$) en la riqueza (figura 1A) y diversidad (figura 1B) de especies bacterianas del suelo agrícola en la plataforma de investigación Villa Corzo, después de nueve años de implementación continua.

En cuanto a la riqueza bacteriana, evaluada mediante el índice Chao1, se observó que los tratamientos con mayor número de unidades taxonómicas operativas (OTUs) correspondieron a sistemas donde el cultivo de maíz se asoció con leguminosas, principalmente maíz-dolichos (MD) y maíz-canavalia (MC), bajo cero labranza (CL), remoción parcial del rastrojo (P) y bajas dosis de nitrógeno (18 N), con valores de 3,174.5 y 3,171.2 OTUs, respectivamente. En contraste, el tratamiento M.LC.R_180N (monocultivo de maíz, labranza convencional, remoción total del rastrojo y alta fertilización nitrogenada) presentó la menor riqueza bacteriana (2,054.8 OTUs).

De forma destacada, algunos tratamientos de monocultivo de maíz bajo cero labranza, con manejo parcial o conservación del rastrojo y bajas dosis de nitrógeno, también mostraron una riqueza bacteriana significativamente mayor en comparación con el tratamiento intensivo M.LC.R_180N, lo que subraya el papel positivo del manejo del rastrojo en la riqueza bacteriana del suelo.

Respecto a la diversidad bacteriana, estimada mediante el índice NP-Shannon, el tratamiento MC.CL.P_18N (maíz-canavalia, cero labranza, remoción parcial de rastrojo, 18 kg N ha⁻¹) presentó el valor más alto de diversidad (7.13), en contraste con el tratamiento M.CL.R_18N (monocultivo de maíz, cero labranza, remoción total del rastrojo, 18 kg N ha⁻¹), que mostró el valor más bajo (6.53). Estos resultados sugieren que la inclusión de leguminosas en sistemas diversificados, el manejo adecuado del rastrojo y la fertilización moderada favorecen comunidades bacterianas más abundantes y diversas.

A



B

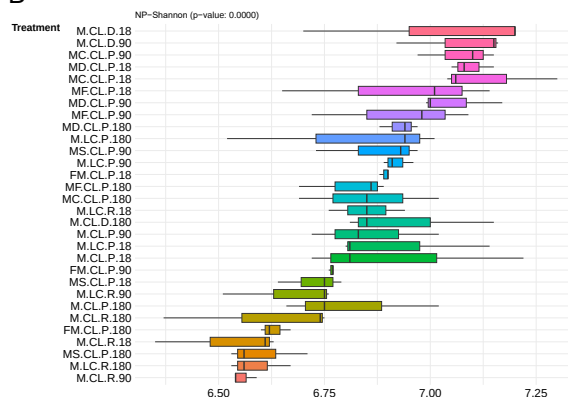


Figura 1. Diversidad alfa de la comunidad bacteriana en suelo a granel. (A) Índice Chao1 de riqueza de especies y (B) índice NP-Shannon de diversidad de especies, evaluados bajo diferentes tratamientos agrícolas.

Conclusiones

Las prácticas de agricultura de conservación tienen efectos diferenciados sobre la riqueza y la diversidad de comunidades bacterianas del suelo. En términos de riqueza de especies, el sistema más desfavorable fue el monocultivo de maíz bajo labranza convencional, con remoción total del rastrojo y alta fertilización nitrogenada, que presentó la menor cantidad de unidades taxonómicas operativas. Por otro lado, la menor diversidad de especies se observó en el tratamiento con monocultivo de maíz bajo cero labranza, pero con remoción total del rastrojo.

Los tratamientos con mayor riqueza y diversidad combinaron la asociación de maíz con leguminosas, el manejo parcial del rastrojo y fertilización moderada. En conjunto, estos resultados destacan la relevancia de implementar prácticas de agricultura de conservación, incluyendo el tipo de labranza, el manejo del rastrojo y la diversificación del cultivo sobre la estructura de la comunidad bacteriana del suelo agrícola.

Agradecimientos

A los colaboradores del proyecto.

Fuente financiadora

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.

Referencias bibliográficas

- Gen-Jiménez, A., Fabián Sarmiento-Megchum, E., César Maldonado-Gómez, J., Alberto Manzano-Gómez, L., Solís-Zebadúa, S., Ivette Rincón-Molina, C., & Rincón-Rosales, R. (2025). Bacterias Rizosféricas y Endófitas con Potencial PGPB Aisladas del Cultivo de Maíz (*Zea mays* L.) en Chiapas, México Rhizospheric and Endophytic Bacteria with PGPB Potential Isolated from Maize Crop (*Zea mays* L.) in Chiapas, Mexico. <https://doi.org/10.28940/terraGiller>, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., & Sumberg, J. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, 50(1), 13–25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063> Navarro-Noya, Y. E., Chávez-Romero, Y., Hereira-Pacheco, S., de León Lorenzana, A. S., Govaerts, B., Verhulst, N., & Dendooven, L. (2022). Bacterial Communities in the Rhizosphere at Different Growth Stages of Maize Cultivated in Soil Under Conventional and Conservation Agricultural Practices. *Microbiology Spectrum*, 10(2). <https://doi.org/10.1128/spectrum.01834-21> Schreefel, L., Schulte, R. P. O., de Boer, I. J. M., Schrijver, A. P., & van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26, 100404. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2020.100404>.

Vilchis Ramos, R., & Fonteyne, S. (2024). Avances en agricultura sustentable: Resultados de plataformas de investigación de los hubs Chiapas y Península de Yucatán. México 2016-2023. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).



PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ POR EFECTO DE DOS SISTEMAS DE CULTIVO Y APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

Aurelio Báez-Pérez^{1*}, Brian Adolfo Reyes-Cerritos², Edgar Adrián Olivares-Arreola², Eduardo Figueroa-Rodríguez², Sergio Gómez-Rosales³

¹INIFAP, CE El Bajío. ²TNM, Campus Roque. ³INIFAP, CENID FISIOLÓGICA

*Autor para correspondencia: baez.aurelio@inifap.gob.mx

Palabras clave. Cereales, agricultura de conservación, fertilización.

Introducción

El maíz constituye un cultivo esencial para la seguridad alimentaria en México; sin embargo, hay déficit de producción para satisfacer la demanda en el país, por lo cual se importan anualmente alrededor de 20 millones de toneladas (Consejo Nacional Agropecuario, 2024), principalmente de maíz amarillo. Para la producción agrícola sostenible, el uso de abonos orgánicos constituye una estrategia para un manejo del sistema producción más agroecológico, importante para la producción de alimentos inocuos y reducir la contaminación ambiental. Los abonos orgánicos aportan materia orgánica, nutrientes y microorganismos, lo cual favorece la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas; sin embargo, su capacidad como fuente de macronutrientes es baja, respecto a los fertilizantes químicos (Álvarez-Solís, 2010), especialmente de nitrógeno. Otra alternativa para la producción agrícola sostenible son las prácticas de agricultura de conservación, las cuales se fundamentan en la adición de los residuos de cosecha en la superficie del suelo, mínimas labores de labranza y rotación de cultivos (Govaers *et al.*, 2009), constituyen una opción de manejo agronómico sostenible, especialmente para la producción de cereales. La producción de maíz en México en la actualidad es poco rentable, entre varias causas, por el deterioro de los suelos, el encarecimiento de los insumos agrícolas, el uso excesivo de éstos y el bajo costo del maíz en el mercado. Con base en lo anterior, es importante implementar estrategias de manejo agronómico para revertir dicha problemática. Por una parte, que conduzcan al mejoramiento de la fertilidad de los suelos, y por otra, que se obtenga un mayor margen de ganancia para los productores, para lo cual es necesario abatir costos de producción, haciendo un uso racional de los insumos agrícolas y labores de campo, lo cual es el propósito del presente estudio.

Objetivo

Evaluar la productividad de maíz en Guanajuato por efecto de dos sistemas de cultivo y aplicación de abonos orgánicos.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El ensayo se estableció en una parcela experimental del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, Celaya, Guanajuato, el cual se ubica a los 20.58343134772042 LN y -100.82804467089922 LO, a una altitud de 1767 m (figura 1). El clima de la región según García (1984) es semicálido seco BS1hw (W)(e) q. La temperatura media anual es de 20.6 °C, y la precipitación pluvial media anual es de 597 mm. El tipo de suelo de la parcela experimental correspondió, según la clasificación de la USDA, a un Vertisol, el cuál es representativo de la región Bajío.

Suelo

El suelo de la parcela experimental está clasificado como tipo *Vertisol pelico*, es oscuro, profundo (> 1 m), de clase textural arcillosa, con mediano contenido de materia orgánica. El pH es alcalino, te textura arcillosa, con un contenido de alrededor de 45 % de arcilla, 21 % de limo y 34.5 % de arena. Tiene un alto contenido de P, K y Ca y una capacidad de intercambio catiónico de 26.1 Cmol (+) kg⁻¹ de suelo.

Descripción del experimento

Se estableció un experimento en primavera-verano de 2024 para evaluar el efecto de diversas prácticas de manejo agronómico y fertilización en la producción y rentabilidad de maíz. Se estudiaron los siguientes factores de estudio: dos sistemas de cultivo, labranza convencional (1) y agricultura de conservación (2); ocho niveles de fertilización, testigo con 175 U de N ha⁻¹ (1), estiércol seco de porcino en 3.6 t ha⁻¹ (2) y 7.2

t ha⁻¹ (3) + 175 U de N ha⁻¹, composta de porcino en 3.6 t ha⁻¹ (4) y 7.2 t ha⁻¹ (5) + 175 U de N ha⁻¹, lombricomposta de porcino en 3.6 t ha⁻¹ (6) y 7.2 t ha⁻¹ (7) + 175 U de N ha⁻¹; y testigo con sólo fertilización química, 350 U de N ha⁻¹ (8). La descripción de los tratamientos se presenta en la cuadro 1. El experimento fue factorial 2 x 8, con 16 tratamientos, un arreglo en bloques al azar y tres repeticiones.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos.

Tratamiento	Sistema cultivo	Estiércol	Composta t ha ⁻¹	Lombricompost	Urea U ha ⁻¹
1	Tradicional	0	0	0	175
2	"	3.6	0	0	175
3	"	7.2	0	0	175
4	"	0	3.6	0	175
5	"	0	7.2	0	175
6	"	0	0	3.6	175
7	"	0	0	7.2	175
8	"	0	0	0	350
9	Conservación	0	0	0	175
10	"	3.6	0	0	175
11	"	7.2	0	0	175
12	"	0	3.6	0	175
13	"	0	7.2	0	175
14	"	0	0	3.6	175
15	"	0	0	7.2	175
16	"	0	0	0	350

Manejo precedente de la parcela experimental

Se estableció en diciembre de 2023 trigo variedad Alondra F2014, para producir los residuos de cosecha necesarios para el establecimiento de tratamientos con prácticas de agricultura de conservación en primavera-verano de 2024. Posteriormente, en el sistema de producción 1, se incorporó al suelo el rastrojo mediante el barbecho y se efectuaron todas las demás labores de labranza (rastra, surcado y aporque). En el sistema de cultivo 2, los residuos de cosecha fueron triturados mediante la labor de desvare y quedaron homogéneamente distribuidos en la superficie del suelo, sólo se remarcaron los surcos.

Manejo agronómico

Se sembró el 3 de julio de 2024 sobre surcos de 0.75 m de ancho, maíz variedad "Ares" de la empresa UNISEM, se aplicó el riego el día siguiente. Posteriormente se llevó a cabo el deshierbe de los pastos grandes el 16 de julio del 2024, utilizando azadón, un día antes se aplicó al maíz el herbicida selectivo Laudis, en dosis de 1 L ha⁻¹. El 17 de julio se delimitaron las unidades experimentales. El fertilizante químico (urea) se aplicó en los tratamientos y cantidades correspondiente en dos fracciones: 50 % el 18 de julio y el otro 50 %, durante el reabone, el 15 de agosto. Se aplicaron otros dos riegos posteriormente: 16 de agosto y 4 de noviembre. Para control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicaron Clorpyrifos. Se efectuaron las labores de labranza correspondientes sólo en los tratamientos bajo el sistema de cultivo convencional, no así en los tratamientos que se encontraban en el sistema de agricultura de conservación, donde el suelo lo cubrían residuos de cosecha de trigo del ciclo anterior.

Resultados y Discusión

Los resultados de los parámetros evaluados se presentan en el cuadro 2. No hubo diferencias significativas por efecto de los factores de los factores de estudio y niveles de fertilización ($p < 0.05$) en los tratamientos evaluados. El rendimiento de grano fluctuó entre 9.2 t ha⁻¹ y 10.6 t ha⁻¹. Numéricamente se observó que los tratamientos testigos (1 y 9), con aplicación de sólo 172 U de N ha⁻¹ tuvieron los valores más bajos de rendimiento. En contraste con la aplicación de 350 U de N ha⁻¹ se obtuvo el rendimiento numéricamente más alto en el tratamiento 8, no así en el sistema con prácticas de agricultura de conservación. Los diferentes abonos orgánicos de origen porcino combinados con 175 U ha⁻¹ no influyeron en el rendimiento de grano, al ser semejantes ($p < 0.05$) a los tratamientos 1 y 8, sin aplicación de este tipo de abonos. Sin embargo, la aplicación de abonos orgánicos implica la incorporación de materia orgánico al suelo, que

puede reflejarse en el mejoramiento de la su estructura física a mediano plazo. Se observó, por otra parte, que 350 U de N ha⁻¹, en los tratamientos 8 y 16 fue excesivo y no reflejó mayor rendimiento, por lo cual 175 U de N ha⁻¹ fue suficiente para el nivel de producción obtenida. La fecha tardía de siembra pudo influir en el nivel de rendimiento alcanzado. El aporte de los abonos orgánicos al suelo es limitado en contenido de N inorgánico; sin embargo, en otros elementos como P, K, Ca, Fe, entre otros, puede ser más importante.

Cuadro 2. Resultados de componentes de rendimiento.

Tratamiento	Sistema cultivo	F	Número			Altura planta m	Peso		IC
			plantas m ²	M	M planta ⁻¹		grano t ha ⁻¹	Biomasa t ha ⁻¹	
1	1	1	5.4a	7.1a	1.3a	2.5a	9.2a	26.2a	0.36a
2	1	2	5.7a	6.6a	1.2a	2.6a	9.7a	23.2a	0.42a
3	1	3	5.5a	6.3a	1.1a	2.8a	10.7a	24.8a	0.43a
4	1	4	5.1a	7.0a	1.4a	2.7a	10.3a	22.9a	0.45a
5	1	5	5.5a	6.7a	1.2a	2.5a	9.7a	23.3a	0.41a
6	1	6	5.5a	6.3a	1.1a	2.7a	8.9a	22.4a	0.40a
7	1	7	4.9a	6.1a	1.3a	2.6a	9.3a	23.0a	0.40a
8	1	8	5.8a	6.5a	1.1a	2.7a	10.6a	24.8a	0.43a
9	2	1	5.2a	6.4a	1.2a	2.3a	9.3a	21.7a	0.43a
10	2	2	6.5a	7.6a	1.2a	2.6a	10.2a	26.2a	0.39a
11	2	3	5.9a	6.8a	1.2a	2.5a	9.3a	20.2a	0.46a
12	2	4	5.2a	7.3a	1.4a	2.6a	10.1a	24.0a	0.42a
13	2	5	6.3a	6.9a	1.1a	2.7a	9.6a	24.8a	0.40
14	2	6	6.8a	6.8a	1.0a	2.7a	9.1a	26.2a	0.35a
15	2	7	5.8a	6.3a	1.1a	2.4a	9.4a	22.5a	0.42a
16	2	8	5.8a	7.3a	1.3a	2.6a	9.5a	21.8a	0.44a
R²			0.67	0.35	0.68	0.75	0.60	0.69	0.70
Coef. de variación (%)			15.0	23.1	15.4	5.9	11.5	12.7	9.7

F: fertilización, M: mazorca

Relación beneficio/costo

La relación beneficio/costo, que es un indicador de rentabilidad, fue mayor en el sistema de producción con agricultura de conservación. Aunque el rendimiento de grano fue semejante en ambos sistemas de cultivo, alrededor de 10 t ha⁻¹, en promedio, la inversión por concepto de labores de labranza fue de cerca de \$ 6000, lo que eleva el costo de producción mayormente en el sistema convencional. En el cuadro 3 se presentan los costos de producción y la relación beneficio/costo en los tratamientos evaluados. Se observó que el tratamiento 9, con sólo aplicación de 175 unidades de urea, con agricultura de conservación, fue el que tuvo la mayor rentabilidad, con una relación beneficio/costo de 1.71, es decir, una ganancia de 71 %. En contraste hubo dos tratamientos (5 y 7), con el sistema de cultivo convencional, que registraron pérdida económica, con relación beneficio/costo <1, porque el valor de la producción no recuperó el costo de producción. Otros tuvieron un margen de ganancia muy bajo o solamente se recuperó la inversión. Es importante señalar que una fecha de siembra más adecuada pudo favorecer el potencial de producción de maíz, el valor de la producción, la relación beneficio/costo y por lo tanto la rentabilidad, con una mayor ventaja para los tratamientos con agricultura de conservación. Diversos estudios confirman que, La agricultura de conservación en maíz puede presentar una relación beneficio-costo favorable, especialmente cuando se implementan prácticas como la labranza cero o mínima labranza (Borbón-García *et al.*, 2020). Los abonos orgánicos constituyen una opción viable para mejorar la fertilidad del suelo, pero su efecto es a mediano plazo. El costo de llevarlos al terreno de cultivo es elevado, por el transporte, distribución en el terreno e incorporación al mismo, además del costo mismo del insumo, que para este caso corresponde a abonos de origen porcícola: estiércol \$ 1,200 t⁻¹, composta \$ 2,587 t⁻¹ y lombricomposta \$ 2500 t⁻¹. Sin embargo, deben aplicarse constantemente al suelo para mejorar su fertilidad a mediano plazo.

La fertilización nitrogenada de 350 U ha⁻¹, fue excesiva para el potencial de producción que hubo, en parte por la fecha tardía de siembra, la cual tuvo un costo de \$ 16,560 ha⁻¹. En contraste, con 172 U ha⁻¹, la mitad de fertilizante y la mitad del costo, fue suficiente para obtener un mayor margen de ganancia. Lo anterior constituye un ejemplo palpable de lo que ocurre en la realidad cuando los productores hacen un uso

excesivo de fertilizantes químicos. Para el presente estudio no se aplicó P y K, porque el análisis de suelo mostró altas reservas de estos elementos. De haberlos aplicado, la relación beneficio costo de los tratamientos aun sería más baja. Las casas comerciales de insumos agrícolas, regularmente oferta formulaciones que incluyen N, P y K, pero es necesario evaluar primero las reservas del suelo para efectuar posteriormente formulaciones que permitan un uso más racional de los fertilizantes, que además conduce a una menor contaminación ambiental y mayor rentabilidad para el productor.

Cuadro 3. Relación beneficio/costo.

	Sistema convencional costo (\$)								Sistema de conservación costo (\$)							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Barbecho	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	0	0	0	0	0	0	0	0
Rastra	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	2,800	0	0	0	0	0	0	0	0
Nivelada	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	0	0	0	0	0	0	0	0
Surcado	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0	0	0	0	0	0	0	0
Siembra	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
Semilla	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250
Fertilizante	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	6,460	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	3,230	6,460
Riego	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700	2,700
Herbicidas	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800
Insecticidas	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900	1,900
Jornales	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Cultivadas	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
Trilla	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500	3,500
Estiercol	0	4,320	8,640	0	0	0	0	0	0	4,320	8,640	0	0	0	0	0
Composta	0	0	0	8,280	16,560	0	0	0	0	0	0	8,280	16,560	0	0	0
Lombricomposta	0	0	0	0	0	9,000	18,000	0	0	0	0	0	0	9,000	18,000	0
Costo de producción (\$)	36,080	40,400	44,720	44,360	52,640	45,080	54,080	39,310	28,980	33,300	37,620	37,260	45,540	37,980	46,980	32,210
Valor de producción (\$)	48,901	51,587	56,769	54,649	51,233	47,040	49,184	55,944	49,467	53,824	49,137	53,589	51,116	48,407	50,056	50,409
Beneficio/costo	1.36	1.28	1.27	1.23	0.97	1.04	0.91	1.42	1.71	1.62	1.31	1.44	1.12	1.27	1.07	1.57

Conclusiones

La producción de maíz fue estadísticamente semejante en todos los tratamientos, sistemas de cultivo y dosis de fertilización, con alrededor de 10 t ha⁻¹. Los abonos orgánicos no influyeron en la producción de grano, pero si en los costos de producción. El sistema de cultivo de agricultura de conservación fue donde hubo una mayor relación beneficio/costo hasta 1.7, por lo cual fue el que tuvo mayor rentabilidad. En algunos tratamientos en el sistema de cultivo convencional no se alcanzó a recuperar la inversión, en otros sólo re recuperó la inversión y en otros el margen de ganancia fue muy bajo. Con base en lo anterior, se rechaza la hipótesis planteada.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio mediante el proyecto: "Contribuciones tecnológicas para incrementar la eficiencia de reciclaje de minerales "de la granja a la tierra" usando opciones nutricionales y de manejo de estiércol en porcicultura", por el financiamiento otorgado para este trabajo".

Referencias bibliográficas

- Álvarez-Solís, J.D., D.A. Gómez-Velasco, N.S. León-Martínez, F.A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Agrociencia 44: 575-586.
- Borbón-García A., G.A. Lugo-García, A. Reyes-Olivas, V. Valenzuela-Herrera y C.P Saucedo-Acosta. 2020. Rotación de trigo, maíz y cártamo en labranza de conservación vs. labranza tradicional. Rev. fitotec. mex 43(4):371-378.
- Consejo Nacional Agropecuario. 2024. Lejos de la Autosuficiencia de Maíz. Nota del 15 de abril de 2024. <https://cna.org.mx/lejos-de-la-autosuficiencia-de-maiz/>. Consulta: 17/02/2024.
- Govaers, B., K.D. Sayre, B. Goudeseune, and P. De Corte. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. Soil and Tillage Research 103(2):222-230.

RESPUESTA DEL MAÍZ A ESTRATEGIAS COMBINADAS DE FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ENMIENDAS ORGÁNICAS: RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SUELO

Edgar Adrian Olivares-Arreola^{1*}, Aurelio Báez-Pérez², Juan Carlos Raya-Pérez¹, Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla¹, Juan Gabriel Ramírez-Pimentel¹, Oscar Arath Grageda-Cabrera², Sergio Gómez-Rosales²

¹TECNM ROQUE, ITR. ²INIFAP, CEBAJ. ³CENID FISIOLÓGICA

*Autor para correspondencia: baez.aurelio@inifap.gob.mx

Palabras clave. Maíz, fertilización, calidad de suelo.

Introducción

El Bajío es una de las regiones agrícolas más relevantes de México, donde el maíz representa un pilar fundamental tanto para la seguridad alimentaria como para la economía local. La creciente demanda de este cultivo ha llevado a una intensificación en el uso de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados, con el objetivo de maximizar los rendimientos. Sin embargo, este enfoque ha generado problemáticas ambientales y agronómicas, entre ellas la reducción de la biodiversidad microbiana del suelo, la disminución de la materia orgánica y la contaminación de cuerpos de agua debido a escurrimientos y lixiviación de nutrientes.

En la actualidad, la sobreexplotación de los recursos naturales es una de las principales causas del deterioro en la calidad de los suelos en la región (Armas-Vega, 2024), agravando la crisis hídrica que enfrenta Guanajuato debido a la extracción excesiva de acuíferos y la baja recarga natural, lo que pone en riesgo la sustentabilidad agrícola y ambiental del Bajío. Ante estos retos, la agricultura moderna en la región explora alternativas que permitan mantener la productividad sin comprometer la salud del ecosistema agrícola. Una de las estrategias más prometedoras es la combinación de fertilización química con enmiendas orgánicas, como estiércol, composta y lombricomposta, las cuales no solo aportan nutrientes esenciales, sino que también mejoran la estructura y capacidad de retención de agua del suelo, favorecen la actividad biológica y contribuyen a la regeneración de la fertilidad del suelo. Sin embargo, la capacidad de los abonos orgánicos como fuente de macronutrientes, principalmente N, es limitada en comparación con los fertilizantes químicos (Álvarez-Solís, 2010). El análisis de esquemas de fertilización combinada de abonos químicos y orgánicos es esencial para identificar prácticas que optimicen el rendimiento del maíz y, al mismo tiempo promuevan la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola en el Bajío. Comprender la respuesta del cultivo ante estas estrategias permitirá avanzar hacia sistemas de producción más eficientes y responsables con el medio ambiente. El propósito fue evaluar la productividad de maíz por efecto de la combinación de fertilizantes químicos y orgánicos.

Objetivo

Evaluar el efecto de la aplicación combinada de estiércol, composta y lombricomposta con fertilización química sobre la producción de maíz.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El ensayo se estableció en una parcela experimental del Tecnológico Nacional de México, campus Roque, Celaya, Guanajuato, el cual se ubica a los 20.58343134772042 LN y -100.82804467089922 LO, a una altitud de 1767 m (figura 1). El clima de la región según García (1984) es semicálido seco BS1hw (W)(e) q. La temperatura media anual es de 20.6 °C, y la precipitación pluvial media anual es de 597 mm. El tipo de suelo de la parcela experimental correspondió, según la clasificación de la USDA, a un Vertisol, el cuál es representativo de la región Bajío. Fue de textura franco arcillosa (37.82 % de arena), pH de 7.8 alcalino, muy bajo contenido de materia orgánica (1.34 %) y alto contenido de K, Ca y Mg. El contenido de P extractable fue mediano (28.53 mg kg⁻¹) y el de N inorgánico (N-NO₃ + N-NH₄) fue elevado (71.19 mg kg⁻¹). La composta tuvo 216 mg kg⁻¹ de N inorgánico, 1.35 % de P₂O₅ y 1.36 % de K, el estiércol 72 mg kg⁻¹ de N inorgánico, 0.3 % de P₂O₅ y 0.6 % de K y la Lombricomposta 102 mg kg⁻¹ de N inorgánico, 1 % de P₂O₅ y 2 % de K.

Temperatura y precipitación

Las condiciones de temperatura y precipitación durante 2024 se presentan en la figura 1. El año fue excepcionalmente cálido, con temperaturas máximas de cerca de 45 °C durante mayo. El volumen de lluvia fue de 388 mm, y el 85 % de ésta cayó entre junio y septiembre.

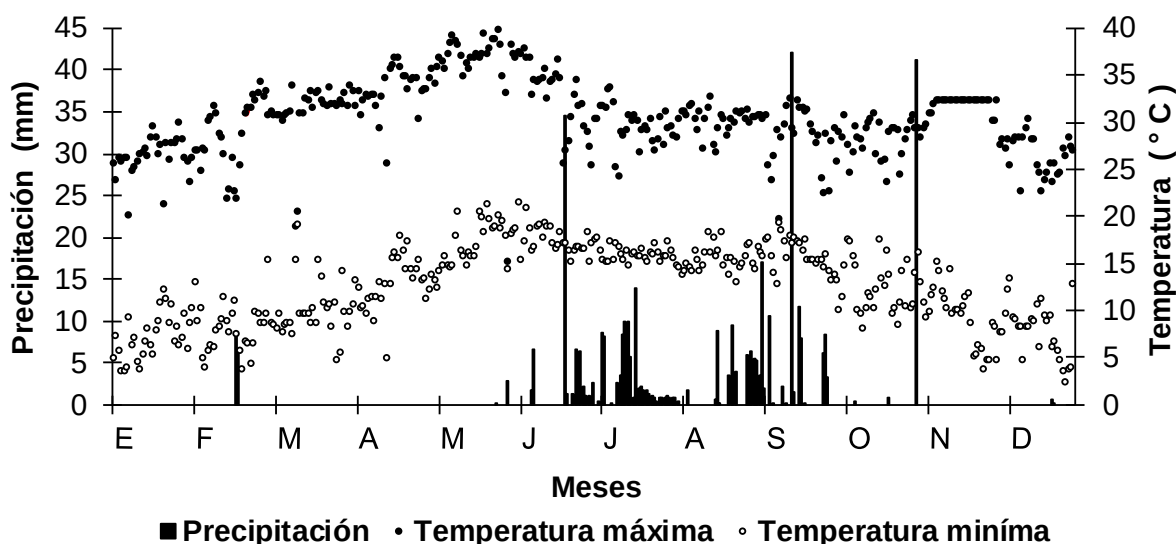


Figura 1. Distribución de temperaturas máximas, mínimas y precipitación durante 2024. Tecnológico Nacional de México, Campus Roque. Celaya, Guanajuato.

El experimento

Se evaluaron ocho tratamientos con distintos tipos de abono orgánico, la descripción se presenta en el cuadro 1. Se aplicó estiércol, composta y Lombricomposta, todos de origen porcino, combinados con fertilizante urea en la producción de maíz. Los tratamientos se describen en el cuadro 1. El experimento se estableció en bloques al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales constaron de 6 surcos de 0.75 m de ancho por 13 m de longitud, es decir, 58.5 m². La comparación de medias se analizó por el método de Tukey con un $\alpha = 0.05$.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Estiércol	Composta	Lombricomposta	N
	t ha ⁻¹			Unidades ha ⁻¹
1	0	0	0	175
2	3.6	0	0	175
3	7.2	0	0	175
4	0	3.6	0	175
5	0	7.2	0	175
6	0	0	3.6	175
7	0	0	7.2	175
8	0	0	0	350

Manejo agronómico

Se sembró maíz variedad Ares de la empresa UNISEM el 3 de julio de 2024, en fecha tardía. En surcos de 0.75 m de ancho. Se aplicaron solamente tres riegos: a los 0, 86 y 159 días después de la siembra. La urea se aplicó la mitad a la siembra y la otra mitad durante el reabone, los abonos orgánicos de estiércol, composta y lombricomposta se incorporaron previo a la siembra. Se aplicó el herbicida selectivo Laudis (1 L ha⁻¹) para control de pastos y Gesaprim calibre 90 (1 kg ha⁻¹), para control de malezas de hoja ancha. Se

aplicaron 250 mL ha⁻¹ de clorantraniliprol (insecticida “Perseo”) para control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Parámetros agronómicos

Se evaluaron los siguientes componentes de rendimiento: población de plantas, número de mazorcas, número de mazorcas por planta, altura de planta, rendimiento de grano, biomasa aérea e índice de cosecha.

Resultados y Discusión

Los resultados de los componentes de rendimiento mostraron que no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en los parámetros evaluados ($p < 0.05$) por efecto de los tratamientos. (cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de componentes de rendimiento.

Tratamiento	Número			Altura planta m	Peso		IC
	plantas m ²	M	M planta ⁻¹		grano	Biomasa	
					t ha ⁻¹		
1	5.4a*	7.1a	1.3a	2.5a	9.2a	26.2a	0.36a
2	5.7a	6.6a	1.2a	2.6a	9.7a	23.2a	0.42a
3	5.5a	6.3a	1.1a	2.8a	10.7a	24.8a	0.43a
4	5.1a	7.0a	1.4a	2.7a	10.3a	22.9a	0.45a
5	5.5a	6.7a	1.2a	2.5a	9.7a	23.3a	0.41a
6	5.5a	6.3a	1.1a	2.7a	8.9a	22.4a	0.40a
7	4.9a	6.1a	1.3a	2.6a	9.3a	23.0a	0.40a
8	5.8a	6.5a	1.1a	2.7a	10.6a	24.8a	0.43a
R ²	0.67	0.35	0.68	0.75	0.60	0.69	0.70
Coef. de variación (%)	15.0	23.1	15.4	5.9	11.5	12.7	9.7

*Letras iguales son estadísticamente semejantes ($\alpha = 0.05$).

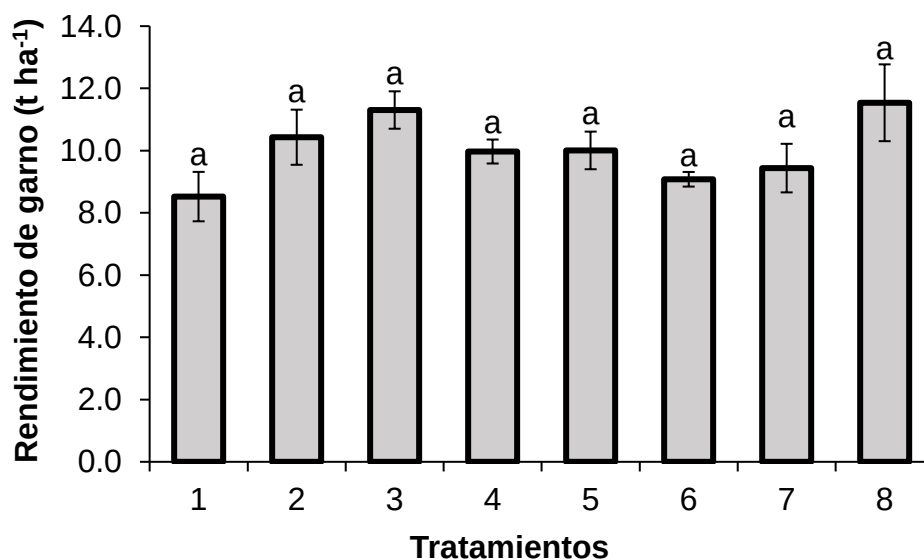


Figura 2. Rendimiento de grano.

La población fluctuó entre 49,000 y 58,000 plantas ha^{-1} . Se observó que hubo entre 1.1 y 1.4 mazorcas planta $^{-1}$. La producción promedio de maíz osciló entre 8.9 y 10.7 t ha^{-1} (figura 2). La variación experimental fue de 11.5 %. El tratamiento control (1) con sólo 175 unidades de N ha^{-1} fue el que tuvo la mayor productividad, considerando que la inversión en fertilizantes fue menor, con respecto a los demás tratamientos. Sin embargo, el uso de abonos orgánicos contribuye, a mediano plazo con el aumento de las reservas orgánicas del suelo y el mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Medina-Guerrero *et al.*, 2015), por lo cual, aunque tenga un costo es necesario aplicar continuamente abonos orgánicos al suelo. La biomasa aérea fluctuó entre 20.2 y 26.2 t ha^{-1} (figura 9); no hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, factores de estudio e interacción entre éstos. La variación experimental fue de 12.6 %. El comportamiento fue semejante a lo explicado en rendimiento de grano.

Conclusiones

El nivel de producción de maíz mostró que, para las condiciones edáficas, climáticas y de manejo agronómico de este ensayo, la aplicación de sólo 175 U de N ha^{-1} se obtuvo la mayor productividad de maíz, considerando la menor inversión que hubo en la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, la incorporación de abonos orgánicos, aunque limitada en el aporte de nitrógeno disponible, contribuye de manera relevante al suministro de otros nutrientes esenciales. La fecha tardía de siembra pudo haber restringido el potencial productivo alcanzado, lo que resalta la importancia de considerar el momento óptimo de establecimiento del cultivo para maximizar el rendimiento.

Agradecimientos

Agradecemos al Tecnológico de Roque por poner a disposición la parcela experimental para el desarrollo de este estudio. Asimismo, expresamos nuestro reconocimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento otorgado, que ha sido fundamental para la realización de esta investigación.

Fuente financiadora

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a través del proyecto SIGI: 14255136374, titulado “Contribuciones tecnológicas para incrementar la eficiencia de reciclaje de minerales ‘de la granja a la tierra’ usando opciones nutricionales y de manejo de estiércol en porcicultura” financio este estudio.

Referencias bibliográficas

Álvarez-Solís, J.D., D.A. Gómez-Velasco, N.S. León-Martínez, F.A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.

Armas-Vega, F.V. 2024. Beneficios de la agricultura regenerativa en la salud del suelo. *Reciamuc* 31: 665-677. <https://reciamuc.com/index.php/RECIAMUC/article/view/1428>. Fecha de consulta: 23/04/2025.

Medina-Guerrero, M. de L., G.A. Zanoor y J.A. Suárez-Mendoza. 2015. Evaluación de un bioabono orgánico enriquecido para el mejoramiento de suelos arcillosos del estado de Guanajuato. *Jóvenes en la Ciencia* 11(2):89-93.

VARIACIÓN ESPACIAL DEL BACTERIOMA DEL SUELO EN UN MATORRAL SEMIÁRIDO EROSIONADO POR OBRAS DE CONSERVACIÓN DE SUELO

Erika Nava-Reyna^{1*}, Judith A. Sánchez-Ledesma², José Angel Sigala-Rodríguez³, Erickson Basave-Villalobos³, Vicenta Constante-García¹

¹INIFAP, CENID-RASPA. ²TNM, Campus Instituto Tecnológico de Torreón. ³INIFAP, CIRNOC, CE Valle del Guadiana

*Autor para correspondencia: nava.erika@inifap.gob.mx

Palabras clave. Muros de piedra, degradación del suelo, bacterioma.

Introducción

Los pastizales son uno de los ecosistemas más amenazados en América del Norte, principalmente debido al sobrepastoreo, donde México ha perdido aproximadamente el 40.11% de la cobertura de pastizales. El mal manejo ganadero se ha identificado como uno de los principales factores que afectan negativamente el desarrollo de especies vegetales y microorganismos del suelo. Para mitigar los efectos de la erosión y la degradación del suelo, se han implementado prácticas de conservación como las barreras muertas, que actúan como estructuras de contención al reducir la velocidad del escurrimiento hídrico, disminuyendo así la pérdida de suelo. Estas prácticas, cuando se combinan con barreras vivas, favorecen la mejora de la fertilidad del suelo al incrementar la infiltración del agua y proporcionar hábitat a microorganismos benéficos, como las bacterias, que desempeñan un papel fundamental en el reciclaje natural de nutrientes y en el mantenimiento de la fertilidad edáfica. Más aún, para poder restaurar suelos degradados eficientemente, es primordial comprender los procesos bióticos en el ecosistema, debido principalmente a la importancia de los seres vivos, específicamente los microorganismos, ya que cambios en su comunidad afectan numerosas funciones del suelo, como el ciclaje de nutrientes y el secuestro de carbono. Se ha demostrado la eficiencia del seguimiento de las comunidades microbianas del suelo después de instaurar prácticas de restauración, ya que se han ligado a los cambios en las funciones ecosistémicas (Li *et al.*, 2018).

Objetivo

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de muros de piedra como práctica de conservación de suelos sobre las comunidades bacterianas del suelo en un matorral semiárido degradado.

Materiales y Métodos

Descripción del sitio de estudio.

El área de estudio consistió en el agostadero del Ejido Lázaro Cárdenas, en Durango, Durango, México (cuadro 1), el cual es una ladera con exposición sur y una pendiente del 15%, donde la vegetación se compone de principalmente *Acacia schaffneri*, *Prosopis laevigata* y *Opuntia durangensis*, así como especies herbáceas y gramíneas. El suelo es muy somero (de menos de 25 cm) y pedregoso que ha estado sometido procesos de erosión hídrica debido a la pérdida de la cobertura herbácea por el sobrepastoreo, por lo que en 2011 se instalaron muros de piedra como obras de conservación de suelos, acordonados en curvas a nivel con un espaciamiento de 25 m entre muros. Los tratamientos evaluados se encuentran en el cuadro 1.

Se tomaron 3 muestras de suelo al azar de 0-20 cm de cada tratamiento, que se colocaron en microtubos de 2 ml para lisis BashingBead™ con 750 µl de buffer lisante/estabilizador Xpedition™ Zymo Research™ e inmediatamente fueron agitadas en un disruptor celular (TerraLyzer™). Las muestras se conservaron en congelación hasta la extracción del ADN. Metabarcoding del bacterioma del suelo. Se realizó la extracción del ADN utilizando el kit DNA Zymobiomics MiniPrep de Zymo Research™. La amplificación se llevó a cabo a con el empleo de las regiones V3 y V4 del gen 16S rRNA, siguiendo el protocolo de Illumina.

Análisis estadístico y bioinformático

Los amplicones de 16S se analizaron con el programa DADA2, la asignación taxonómica se realizó por el método de DECIPHER empleando la base de datos Genome Taxonomy Database (GTDB) v202 como referencia. Los ASV resultantes fueron agrupados al nivel de género y posteriormente se calcularon los

Índices de diversidad y el análisis de componentes principales empleando el paquete vegan. Todos los análisis estadísticos y bioinformáticos se realizaron en R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023).

Cuadro 1. Descripción de las zonas de estudio en el Ejido Lázaro Cárdenas, Durango, México.

Clave	Tratamiento	Descripción
MP-PA	Muros de piedra – Parte alta de la obra, justo después del muro previo	24°0'42" N, 104°42'51" O
MP-PM	Muros de piedra – Parte media entre muros de la obra	24°0'31" N, 104°42'32" O
MP-PB	Muros de piedra – Parte baja, suelo retenido por la obra	24°0'31" N, 104°42'46" O

Extracción de ADN

Resultados y Discusión

Los resultados de los índices de diversidad se encuentran en la figura 1. De acuerdo al análisis de diversidad alfa, con los índices de Sobs, Shannon, y ACE, el suelo en PM presentó menor diversidad de especies bacterianas dentro de la obra, lo que sugiere que PA y PB alberga una mayor cantidad de especies únicas y una distribución menos equitativa de las especies (figura 1a). Por otro lado, la diversidad beta con el índice de Bray curtis también mostró diferencia entre las zonas analizadas (figura 1b), lo que demuestra que la composición de las comunidades microbianas también es distinta, es decir, las especies y las proporciones de cada una en cada área de estudio. Así, las propiedades del suelo, especialmente la disponibilidad de recursos, derivado por el sobrepastoreo y las obras de conservación, han moldeado las comunidades microbianas en cada sección de la ladera.

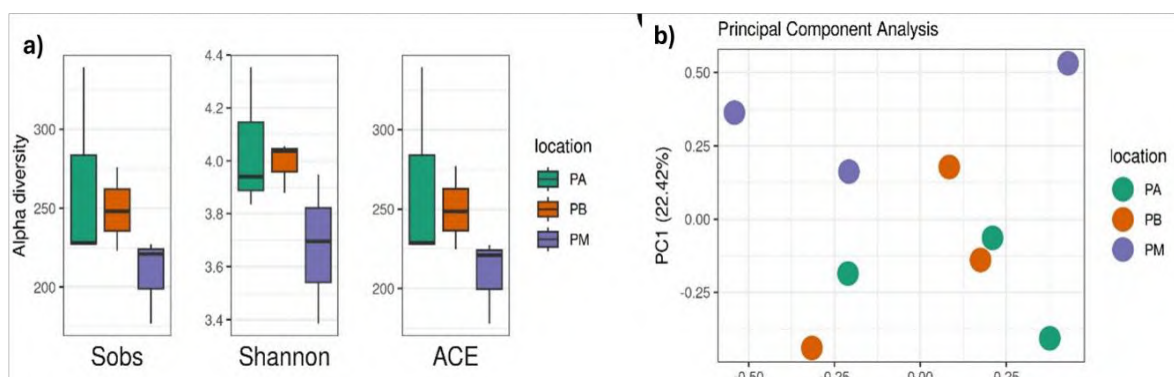


Figura 1. Índices de diversidad de los suelos de estudio: a) Diversidad alfa (índices de Sobs, Shannon y ACE); b) Análisis de coordenados principales (PCoA) del índice de Bray-Curtis de diversidad beta. PA - parte alta; PM – parte media; PB- parte baja.

En general, la comparación de la abundancia relativa de bacterias entre las familias presentes en los suelos de los tres muros de piedra mostró una composición similar (figura 2), aunque con variaciones en su proporción. Las familias bacterianas predominantes fueron Gaiellaceae, Streptosporangiaceae, Xanthobacteraceae, Bryobacteraceae, Sphingomonadaceae y Beijerinckiaceae. Estas familias están comúnmente asociadas a suelos salino-alcálinos y destacan por su capacidad de producir compuestos bioactivos, tolerar condiciones de baja disponibilidad de nutrientes y participar en procesos clave para la salud del suelo (Wang *et al.*, 2022). Muchas de estas bacterias desempeñan funciones esenciales como la fijación de nitrógeno y la asimilación de carbono a partir del dióxido de carbono (Ren *et al.*, 2018), lo cual contribuye a mejorar la fertilidad del suelo de manera natural. Su presencia sugiere un potencial uso como biofertilizantes en ambientes marginales o degradados. Cabe mencionar, que a pesar de estar presentes las familias en todas las zonas muestreadas, la parte baja presentó una mayor abundancia en relación a la parte alta y media, lo que coincide con los resultados de diversidad, lo que refleja la utilidad de los muros

de piedra para la acumulación de sedimentos, que enriquece la zona con materia orgánica, nutrientes y agua de las partes más altas, lo que consecuentemente genera las condiciones favorables para la proliferación bacteriana de familias promotoras del crecimiento vegetal que impulsan la recuperación del suelo (Wolka *et al.*, 2021). Además, las partes bajas normalmente experimentan menos estrés por erosión directa o escuerrimiento rápido, favoreciendo a las comunidades microbianas.

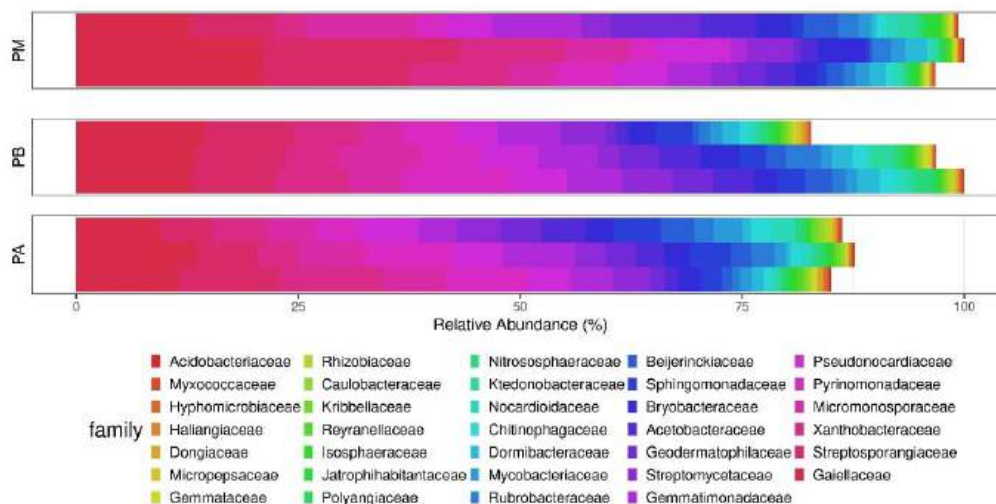


Figura 2. Abundancia relativa de las familias dentro de las diferentes zonas de la obra de conservación analizada: PA – parte alta, PM – parte media; PB – parte baja.

Conclusiones

La colocación de muros de piedra en la ladera degradada facilitó la recuperación de las comunidades bacterianas probablemente por generar condiciones más estables, con mayor contenido de nutrientes y humedad, derivado de la retención de los escurrimientos en la parte baja de la obra, lo que creó microclimas y microhábitas favorecedores para ciertas familias de bacterias con distintos mecanismos para promover el crecimiento vegetal. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de las condiciones locales en la configuración de comunidades microbianas del suelo y abren la posibilidad de explorar el uso de estas bacterias como indicadores ecológicos o como herramientas para la restauración de suelos degradados. Se destaca la importancia de conservar y aprovechar la biodiversidad microbiana del suelo como aliada en la producción agropecuaria sostenible.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Este proyecto fue financiado por el fondo de Proyectos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2023-1 titulado “Integración de tecnologías para la restauración agroecológica de tierras marginales en ecosistemas semiáridos del Norte-Centro de México”.

Referencias bibliográficas

- Li, C., Fultz, L. M., Moore-Kucera, J., Acosta-Martínez, V., Kakarla, M., & Weindorf, D. C. (2018). Soil microbial community restoration in Conservation Reserve Program semi-arid grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 118, 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.001>
- Ren, M., Zhang, Z., Wang, X., Zhou, Z., Chen, D., Zeng, H., Zhao, S., Chen, L., Hu, Y., Zhang, C., Liang, Y., She, Q., Zhang, Y., & Peng, N. (2018). Diversity and contributions to nitrogen cycling and carbon fixation of soil salinity shaped microbial communities in Tarim Basin. *Frontiers in Microbiology*, 9(MAR), 317810. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2018.00431/BIBTEX>
- Wang, J., Xie, J., Li, L., Effah, Z., Xie, L., Luo, Z., Zhou, Y., & Jiang, Y. (2022). Fertilization treatments affect soil CO₂ emission through regulating soil bacterial community composition in the semiarid Loess Plateau.

Scientific Reports, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/S41598-022-21108-4>;SUBJMETA=158,2165,2456,631,855;KWRD=AGROECOLOGY,CLIMATE-CHANGE+ECOLOGY,MICROBIAL+ECOLOGY

Wolka, K., Biazin, B., Martinsen, V., & Mulder, J. (2021). Soil and water conservation management on hill slopes in Southwest Ethiopia. I. Effects of soil bunds on surface runoff, erosion and loss of nutrients. Science of The Total Environment, 757, 142877. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.142877>



PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS Y FISIOLÓGICAS DE RIZOBACTERIAS ASOCIADAS A *Argemone grandiflora*

Andrea Becíez-Ramírez¹, América Denise Luna-López^{1*}, María Magdalena Ayala-Hernández¹, Eduardo Chimal-Sánchez¹, Jorge Antonio Valdivia-Anistro¹
Universidad Nacional Autónoma de México¹

*Autor para correspondencia: amelunal06@gmail.com

Palabras clave. Rizobacterias, *Argemone grandiflora*, Hidalgo.

Introducción

La rizosfera es una zona altamente dinámica del suelo que rodea las raíces de las plantas, en la que se establecen complejas interacciones bioquímicas y ecológicas con diversos microorganismos. Esta región se distingue por su riqueza en nutrientes (resultado de la acumulación de exudados radiculares como aminoácidos y azúcares) que constituyen una fuente energética clave para el microbioma rizosférico (Beneduzi *et al.*, 2012). Entre estos microorganismos, las rizobacterias destacan por su capacidad para promover el crecimiento vegetal y modular respuestas adaptativas ante el estrés ambiental.

Estas bacterias no sólo facilitan la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo, sino que también actúan como agentes protectores frente a patógenos, mediante la producción de metabolitos secundarios, fitohormonas y la inducción de resistencia sistémica (McNear, 2013; Spaepen *et al.*, 2007). Su acción adquiere especial relevancia en ambientes sometidos a condiciones abióticas extremas, como suelos contaminados con metales pesados o los altamente intemperizados oxisoles tropicales, donde las plantas enfrentan severas limitaciones para su desarrollo (Zhang *et al.*, 2022).

En estos escenarios, las rizobacterias contribuyen activamente a la supervivencia y desarrollo vegetal, al favorecer procesos simbióticos, mejorar la exploración del suelo y aumentar la tolerancia a contaminantes mediante mecanismos fisiológicos especializados (Bashan *et al.*, 2013). Incluso en suelos más favorables, como los riparios, estos microorganismos mantienen un papel fundamental en la nutrición vegetal y el equilibrio del microbioma edáfico.

Si bien estos beneficios han sido ampliamente documentados en cultivos agrícolas, existe un vacío considerable de conocimiento sobre las interacciones rizobacteria-planta en especies silvestres. Un caso particular es *Argemone grandiflora*, planta herbácea nativa de México perteneciente a la familia *Papaveraceae*, que habita en ecosistemas alterados o de baja fertilidad. Su capacidad para colonizar ambientes contrastantes) desde relaves mineros hasta suelos ácidos y pobres en fósforo (sugiere que alberga comunidades bacterianas con adaptaciones fisiológicas únicas, capaces de producir metabolitos bioactivos y contribuir a la adaptación vegetal en condiciones adversas (Spaepen *et al.*, 2007; Ma *et al.*, 2016).

Objetivo

Evaluar las propiedades antimicrobianas y fisiológicas que poseen las rizobacterias de *Argemone grandiflora*.

Objetivos particulares

1. Recolectar ejemplares y muestras representativas de raíces de *Argemone grandiflora* en el área de estudio.
2. Identificar mediante claves taxonómicas los ejemplares de *Argemone grandiflora* colectados.
3. Aislar las rizobacterias asociadas a *Argemone grandiflora*.
4. Describir sus características morfológicas mediante caracterización macroscópica (forma, color, borde y elevación de colonias) y microscópica (tinción de Gram y descripción de morfología).
5. Aplicar pruebas bioquímicas para evaluar el perfil metabólico de las rizobacterias.
6. Llevar a cabo análisis químicos del suelo para determinar sus características fundamentales y evaluar su influencia en el desarrollo de las rizobacterias asociadas a *Argemone grandiflora*.
7. Realizar pruebas de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de ácido indolacético en rizobacterias para evaluar su fisiología.

8. Evaluar la actividad antimicrobiana de las rizobacterias obtenidas mediante pruebas de competencia frente a cepas patógenas (*E. coli* y *Pseudomonas aeruginosa*) para determinar su potencial en la producción de compuestos antimicrobianos.

Materiales y Métodos

Se recolectaron ejemplares de *Argemone grandiflora* durante septiembre de 2024 en tres sitios del estado de Hidalgo, México: el cauce del Río Moctezuma, un relave minero en Zimapán y las Dunas Rojas de Pacula. Las raíces fueron extraídas con precaución, transportadas en frío y sometidas a un proceso de enjuague y esterilización para el aislamiento de rizobacterias del rizoplasma y endófitas.

Las bacterias fueron cultivadas en agar nutritivo mediante siembras directas o diluciones seriadas, y posteriormente purificadas por estría abierta. La caracterización morfológica incluyó observaciones macro y microscópicas, empleando tinción de Gram para determinar morfología celular y tipo de pared bacteriana. Adicionalmente, se aplicaron pruebas bioquímicas para evaluar el perfil metabólico (fermentación de carbohidratos, uso de citrato, actividad enzimática y formación de biopelículas).

Para evaluar las propiedades fisiológicas, se realizaron ensayos específicos de fijación de nitrógeno en medio Jensen, producción de ácido indolacético (AIA) mediante el método de Salkowski y solubilización de fosfatos en medio Pikovskaya. La actividad antimicrobiana fue determinada mediante tres métodos: difusión en agar, inhibición simultánea y pruebas de detección con sensibilizadores, utilizando cepas de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* como patógenos modelo.

Finalmente, se analizaron parámetros químicos del suelo (pH, conductividad eléctrica y fósforo disponible) mediante los métodos de Olsen y Bray-Kurtz, con el fin de relacionar las propiedades del suelo con la funcionalidad de las bacterias aisladas.

Resultados y Discusión

Las raíces de *Argemone grandiflora* mostraron diferencias morfológicas significativas según el sitio de muestreo, reflejando la influencia del entorno edáfico y la microbiota rizosférica sobre el desarrollo vegetal. La mayor longitud radicular se registró en Dunas Rojas (24.0 cm), seguida por el Río Moctezuma (17.2 cm) y el relave minero San Miguel (9.0 cm).

A partir de raíces recolectadas en estos tres sitios —Río Moctezuma, relave minero San Miguel y Dunas Rojas— se aislaron 34 morfotipos bacterianos con amplia diversidad morfológica. Predominaron colonias puntiformes y circulares, con colores blancos y bordes enteros o lobulados, y texturas variables (seca, mucosa o viscosa). La tinción de Gram reveló una mayor proporción de bacilos y cocos Gram positivos y variables en Dunas Rojas y Moctezuma, mientras que en el relave minero la distribución fue más equilibrada entre tipos morfológicos y tintoriales.

El perfil metabólico diferenció claramente a las comunidades bacterianas por sitio. Todas las cepas mostraron actividad catalasa (100%), indicando capacidad para enfrentar estrés oxidativo; sin embargo, la oxidación de azufre fue negativa en todos los casos. Las bacterias de Dunas Rojas destacaron por alta positividad en pruebas de citrato y ureasa (77.8%), mientras que las del relave minero evidenciaron un perfil metabólico más limitado, probablemente asociado al estrés químico por metales pesados. La producción de biopelículas, detectada por la prueba de Rojo Congo, solo fue positiva en aislados del Río Moctezuma, sugiriendo mejor capacidad de colonización en ese suelo.

En cuanto a funciones fisiológicas, la fijación de nitrógeno se detectó en los tres sitios, con mayor frecuencia en el Río Moctezuma (53.3%), seguida de las Dunas Rojas (44.4%) y menor en relave minero (30%). La producción de ácido indolacético (AIA), fitohormona promotora del crecimiento, mostró un rango amplio y promedios más altos en sitios menos impactados: Dunas Rojas tuvo el promedio más elevado (440.77 $\mu\text{g/mL}$), seguido del Río Moctezuma (129.09 $\mu\text{g mL}^{-1}$) y relave minero (123.87 $\mu\text{g mL}^{-1}$). En Dunas Rojas, aislados como B10-2 y B1M-1RD destacaron por sus altas concentraciones de AIA (960 y 942 $\mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente).

La solubilización de fosfatos fue poco visible en general, ya que no se mostraron con claridad halos de inhibición. En las Dunas Rojas, aunque algunos aislados presentaron capacidad para solubilizar fosfatos, los halos fueron discretos, indicando una actividad moderada en la movilización de este nutriente en suelos ácidos. De manera similar, en el Río Moctezuma y el relave minero de San Miguel solo pocos aislados manifestaron esta capacidad, pero sin evidencia clara y consistente de solubilización destacada.

Respecto a la actividad antimicrobiana, múltiples aislados del Río Moctezuma y de las Dunas Rojas demostraron capacidad antagonista contra patógenos como *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*. Los ensayos tipo sensi-disco y difusión en agar mostraron zonas claras de inhibición, evidenciando la producción de metabolitos secundarios bioactivos. En el relave minero, aunque la diversidad funcional fue menor, se seleccionaron aislados resistentes con potencial antagonista, adaptadas a las condiciones tóxicas del sitio.

Los datos reflejan cómo las condiciones edáficas determinan la estructura y funcionalidad del microbioma rizosférico asociado a *Argemone grandiflora*. Suelos menos impactados, como las Dunas Rojas y el Río Moctezuma, albergan comunidades bacterianas más diversas y funcionalmente versátiles, con mayor producción de AIA, fijación de nitrógeno y solubilización de fosfatos, que contribuyen al crecimiento vegetal y salud del suelo. Por otro lado, el relave minero, aunque limita la diversidad funcional, selecciona bacterias especializadas y resistentes.

Estos hallazgos posicionan a *Argemone grandiflora* como un modelo ecológico y biotecnológico valioso, al ser reservorio de rizobacterias adaptadas a ambientes extremos. La caracterización de estas bacterias sugiere aplicaciones potenciales en biofertilización, biocontrol de patógenos y restauración ecológica de suelos degradados, alineándose con estudios previos sobre la influencia del suelo en la composición y funcionalidad del microbioma rizosférico (Beneduzi *et al.*, 2012; Bashan *et al.*, 2013; Spaepen *et al.*, 2007).

Conclusiones

Este estudio demostró que *Argemone grandiflora* alberga comunidades de rizobacterias con características fisiológicas y antimicrobianas destacables, incluso en ambientes con condiciones edáficas contrastantes y adversas. Las bacterias aisladas presentaron variaciones morfológicas y metabólicas entre sitios, reflejando la influencia del entorno en su diversidad y funcionalidad.

Se identificaron cepas con capacidad de fijar nitrógeno, solubilizar fosfatos y producir ácido indolacético (AIA), atributos clave para la promoción del crecimiento vegetal. Además, varios aislados mostraron actividad antimicrobiana frente a *E. coli* y *P. aeruginosa*, lo que sugiere su potencial como agentes biocontroladores.

Estos hallazgos destacan el valor ecológico y biotecnológico de una especie silvestre tradicionalmente considerada como maleza. La caracterización de su microbioma rizosférico contribuye al entendimiento de los mecanismos de adaptación en suelos degradados y ofrece una base para la restauración ambiental y agricultura sustentable.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a María Magdalena Ayala-Hernández y Eduardo Chimal-Sánchez, nuestros tutores del proyecto, por su guía constante, valiosos consejos y apoyo durante todo el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradecemos profundamente a nuestro asesor de proyecto, Jorge Antonio Valdivia-Anistro, por su experiencia, dedicación y acompañamiento que fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Como integrantes del LEMA (Laboratorio de Estequiometría y Microbiología Ambiental), valoramos enormemente el respaldo institucional y el ambiente académico que este laboratorio nos ha brindado para llevar a cabo nuestra investigación.

Fuente financiadora

El presente estudio fue desarrollado en la FES Zaragoza, UNAM, con apoyo institucional.

Referencias bibliográficas

- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2013). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378, 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, 35(4), 1044–1051. <https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600020>.

- Ma, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., & Zhang, C. (2016). Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: Relevance for phytoremediation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 918. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00918>.
- McNear, D. H. (2013). The rhizosphere – roots, soil and everything in between. *Nature Education Knowledge*, 4(3), 1.
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism–plant signaling. *FEMS Microbiology Reviews*, 31(4), 425–448. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x>.



DESARROLLO VEGETATIVO Y FLORAL DE ÁRBOLES JÓVENES DE LIMÓN PERSA USANDO COBERTERAS VEGETALES Y ORMUS

Sergio Alberto Curti-Díaz^{1*}, Rigoberto Zetina-Lezama¹, Jaime Rangel-Quintos¹, Ángel Ríos-Utrera², Luis Alfonso Aguilar-Pérez²

¹INIFAP CIRGOC. ² Asesores independientes

*Autor para correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Citrus latifolia*, Agua de mar, manejo orgánico.

Introducción

Es bien sabido que los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo son afectados a causa de la aplicación irracional de agroquímicos como los herbicidas, fungicidas, insecticidas, fertilizantes (Lekberg *et al.*, 2021 y otros investigadores). Con ello, el suelo se ha venido degradando, perdiendo su fertilidad, así como la cantidad y diversidad de sus microorganismos (Lekberg *et al.*, 2021). Afortunadamente, es cada vez más importante la demanda de los consumidores por contar con productos orgánicos e inocuos para su alimentación que, para lograrlos, se requiere de abandonar totalmente el uso de agroquímicos y regresar o cambiar a un manejo orgánico del cultivo, dando énfasis a toda práctica o componente que aporte a incrementar la materia orgánica, los minerales y microorganismos (Restrepo y Algreto, 2020; Simón-Zamora, 2019).

El presente estudio se enfocó en algunos componentes del manejo orgánico del cultivo durante su fase vegetativa, etapa mucho menos atendida en comparación con la etapa productiva. Cabe mencionar que existen citricultores en el estado de Veracruz que han certificado sus huertas como orgánicas; sin embargo, poca investigación se ha hecho para medir los beneficios que se generan con este tipo de manejo. Este tipo de evaluación es importante para conocer cuáles son los componentes mayormente asociados a los buenos rendimientos y alta calidad de la fruta producida e identificar cuales otros no aportan lo necesario para incrementar la rentabilidad de la huerta, lo que ayudaría a mejorar la economía del productor. Las coberteras vegetales, una de las cuales es la Canavalia que se evaluó en este ensayo, se han usado para desplazar la maleza y como fuente de aportación de nitrógeno y algunos estudios han generado información sobre cambios que la Canavalia provoca en la biología del suelo, a nivel macrofauna (escarabajos, lombrices y otros) y microflora (hongos) del suelo, en el incremento de su fertilidad e incremento de las cosechas (Arim *et al.*, 2011 y otros investigadores). Otro componente que se evaluó en el presente estudio fue el Ormus, término que se refiere a los minerales que contiene el agua de mar, una vez floculados y precipitados al adicionar hidróxido de sodio hasta elevar el pH del agua a 10.7. El hidróxido captura el cloro y sodio del agua, de tal manera que el Ormus puede usarse en la agricultura (Restrepo y Algreto, 2020). El Ormus se usa foliarmente en árboles en dosis de 15-20 litros por hectárea y en hortalizas en proporción de 250 mL y hasta 500 mL de Ormus por cada 100 metros cuadrados de suelo cultivable (Restrepo y Algreto, 2020), también se ha aplicado al follaje del plátano y en camas de siembra de algunas semillas. En el municipio de Cotaxtla, Veracruz, existe un productor que aplica regularmente el Ormus al limón Persa usando 5 L ha⁻¹, lo que corresponde 14 mL por planta, drenada en la base del tronco; a su apreciación las plantas pequeñas desarrollan mejor, pero no ha registrado sus resultados. Es por ello que el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la Canavalia y las Arvenses y la aplicación al suelo de Ormus, en dos dosis y dos intervalos de aplicación, en el desarrollo vegetativo y floral de árboles jóvenes de limón Persa. Cabe comentar que, de noviembre de 2023 a octubre de 2024, se presentaron siete brotaciones muy incipientes y heterogéneas, en no más del 30% de las plantas, sin que hubiera diferencia estadística en la cantidad de brotes vegetativos y, menos aún, en la cantidad de flores producidas (Curti-Díaz *et al.*, 2024).

Materiales y Métodos

Duración y descripción del estudio

El estudio se llevó a cabo durante el periodo de junio de 2023 a febrero de 2025, en la localidad Paso de los Carros, municipio de Cotaxtla, Veracruz, México donde el clima es Aw0 y con 750 m de precipitación pluvial. El suelo es franco arcilloso, de pH 6.9, con 2.9% de materia orgánica y con precipitación pluvial

promedio anual de 750 mm. Las plantas de limón Persa, injertadas en patrón limón Volkameriana, fueron establecidas el 30 de marzo de 2023, a 7 m x 4 m (357 árboles ha⁻¹).

Tres factores de estudio

1) Aportación de materia orgánica con dos coberteras vegetales: *Canavalia* sp. y plantas arvenses. La *Canavalia* se sembró en julio de 2023 y julio de 2024 a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, dejando un espacio de 50 cm de la planta de limón y su cobertura se mantuvo en campo 6.5 meses después de cada siembra, 2) Dosis de Ormus. Se aplicó drenado al suelo, en un radio de 30 cm a partir del tronco de la planta, usando 70 y 140 mL por planta y 3) Frecuencia de aplicación de Ormus. Las dosis indicadas se aplicaron a intervalos de 15 y 30 días.

Variables de respuesta

En enero de 2025, cuando los árboles tenían una edad de un año y nueve meses, ocurrió la primera floración de mayor intensidad y homogeneidad y se registraron las variables siguientes: a) Número total de brotes vegetativos por árbol, b) Número total de flores individuales por árbol y c) Frutos con diámetro mayor a 5 cm.

Diseño experimental

Se usó un diseño de tratamientos factorial 2³ (ocho tratamientos) y se tuvieron ocho repeticiones, usando un árbol por unidad experimental (64 árboles en total). Los datos se analizaron con SAS (Programa Statistical Analysis System) versión 9.1, usando el procedimiento GENMOD y la Prueba de Ji-cuadrada para la separación de medias.

Resultados y Discusión

Desarrollo de las coberteras vegetales

La *Canavalia* se sembró en julio de 2023 y en julio de 2024 y su cobertura fue del 100% durante el primer año, mientras que la segunda siembra alcanzó a cubrir entre el 50 y 70% del área sembrada y se mantuvo hasta enero de 2025, cuando ocurrió la brotación incluida en el presente documento. En ambos casos, la *Canavalia* alcanzó una altura de 50-60 cm, cuyo porte se redujo a 10 cm dos veces en cada ciclo de cultivo, usando una desbrozadora y dejando sus residuos en la base de los arbolitos que les correspondían. Con ello, se perseguía conseguir dos cosas: la primera fue aportar nutrimentos en la medida en que dicha materia orgánica se fuera descomponiendo por efecto del agua (riego por aspersión o lluvia) y de la temperatura, lo cual se mediría indirectamente a través de las variables de respuesta registradas; y la segunda era guardar la humedad en el área radical del arbolito. La desmalezada se hizo al mismo tiempo en todos los tratamientos (con *Canavalia* y con Arvenses). Cabe comentar que la *Canavalia* aportó tres veces más materia orgánica que las Arvenses, lo que sugiere que la primera cobertera conservó mejor la humedad del suelo que las segundas (dato no cuantificado).

Brotación vegetativa

En enero de 2025 ocurrió la primera brotación de mayor intensidad, a los 21 meses de edad de los arbolitos. Se contaron los brotes vegetativos de toda la copa del árbol, cuyos resultados se muestran en el cuadro 1. En general, una brotación vegetativa de 50 brotes o más para un árbol joven, puede considerarse como muy aceptable para cubrir su copa y continuar con un buen desarrollo al interceptar una mayor cantidad de luz solar, componente indispensable para el buen metabolismo del árbol.

Con relación a los resultados estadísticos, la Dosis de Ormus (DO) no tuvo efecto significativo para esta variable, pero si la tuvieron las Coberteras Vegetales (CV), quienes tuvieron interacciones significativas tanto con la DO, como con su Frecuencia de aplicación (FA) como se muestra en el cuadro 1. La primera interacción indica que las Arvenses más el Ormus aplicado cada 15 días produjo igual cantidad de brotes vegetativos que la *Canavalia* con Ormus aplicado cada 30 días y supera las dos combinaciones restantes; mientras que la segunda interacción indica que la *Canavalia* con la aplicación de 140 mL de Ormus por árbol produjo mayor cantidad de brotes vegetativos por árbol que con las tres combinaciones restantes. Con estos resultados puede sugerirse que con *Canavalia* es suficiente aplicar Ormus una vez al mes en su dosis más alta (140 mL); mientras que, si se tienen a la Arvenses como cobertura, requeriría aplicaciones de Ormus cada 15 días y que sería suficiente usar su dosis baja. Es claro que las Arvenses aportan menor cantidad de nutrimentos al suelo y a la planta, por lo que parece lógico que la aplicación de Ormus se requiera con mayor frecuencia; sin embargo, sería importante continuar con este estudio para validar si realmente el comportamiento de ambas coberteras es diferente. Una cosa es muy cierta y es que la estadística está indicando diferencias en el efecto que tienen los factores en estudio en el comportamiento

de los árboles jóvenes de limón Persa, por lo que sería conveniente continuar con esta investigación para tener un mejor conocimiento del comportamiento del limón Persa en función de los factores de estudio.

Cuadro 1. Brotación vegetativa de árboles jóvenes de limón Persa desarrollados con dos coberteras vegetales y aplicación de Ormus. Enero 2025².

Cobertera vegetal	Ormus FA (días)	No. brotes por árbol	Cobertera vegetal	Ormus (Dosis)	No. brotes por árbol
Arvenses	15	53.6 a	Arvenses	70	40.2 bc
Arvenses	30	27.0 c	Arvenses	140	36.1 c
Canavalia	15	48.4 b	Canavalia	70	43.7 b
Canavalia	30	50.7 ab	Canavalia	140	56.2 a

² FA = Frecuencia de aplicación; SM = Supermagro. Medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes con acuerdo a la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

Flores por árbol

Generalmente es a la edad de dos años en que los arbolitos de limón Persa inician una floración de intensidad media a alta y en la gran mayoría de los árboles. En esta floración de enero de 2025, fueron muy pocos los brotes exclusivamente florales, lo que no permitió analizarlos estadísticamente. Pero la cantidad de flores individuales si fueron suficientes para ello y más del 90% de los arbolitos produjo flores, aunque con una intensidad variable. Los tres factores en estudio mostraron diferencias estadísticas en forma individual, pero también sus tres interacciones dobles tuvieron diferencias significativas; en el cuadro 2, se muestra que las Arvenses asociadas con el Ormus en su dosis alta (140 mL por planta) produjeron 174 flores por árbol, superando estadísticamente a lo obtenido con Canavalia con las dos dosis de Ormus y con Arvenses con 70 mL de Ormus. En la segunda interacción doble, la Canavalia con el Ormus aplicado cada 30 días, produjo la mayor cantidad de flores por árbol (207.4 flores) superando a las combinaciones restantes; cabe comentar que, con esta misma interacción se obtuvo una gran cantidad de brotes vegetativos totales por árbol (cuadro 1). En la tercera interacción se muestra que la dosis baja de Ormus (70 mL) aplicado cada 30 días logró la mayor cantidad de flores por árbol (222 flores), no solo en esta interacción sino en las tres incluidas en el cuadro 2, es decir, en todo el experimento; cabe comentar que esta es la opción más económica de aplicar el Ormus, sin embargo, estos resultados son preliminares, por lo que sería conveniente validarla en un siguiente estudio.

Cuadro 2. Número de flores en árboles jóvenes de limón Persa desarrollados con dos coberteras vegetales y aplicación de Ormus. Enero 2025².

Cobertera vegetal	Ormus (Dosis)	Flores por árbol	Cobertera vegetal	Ormus (FA)	Flores por árbol	Ormus (Dosis)	Ormus FA	Flores por árbol
Arvenses	70	155.8 b	Arvenses	15	161.9 b	70	15	111.6 d
Arvenses	140	174.0 a	Arvenses	30	167.5 b	70	30	222.0 a
Canavalia	70	159.0 b	Canavalia	15	90.7 c	140	15	131.6 c
Canavalia	140	118.3 c	Canavalia	30	207.4 a	140	30	156.4 b

² Dosis en mL por árbol; FA = Frecuencia de aplicación en días; medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes de acuerdo con la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

Número de frutos de cosecha

Para estos frutos, que tenían un diámetro mayor de 5 cm a principios de enero de 2025 y que correspondieron a la floración de principios de septiembre de 2024, no hubo diferencia para los factores Dosis ni Frecuencia de aplicación del Ormus, pero si con Coberteras vegetales quienes interactuaron significativamente con Dosis y Frecuencia de aplicación de Ormus (cuadro 3). La Canavalia con la Dosis alta de Ormus (140 mL) tuvo mayor cantidad de frutos de cosecha por árbol (7.7 frutos) que el resto de combinaciones; esa misma interacción fue la que logró la mayor cantidad de brotes vegetativos por árbol

(cuadro 1). Mientras que la cantidad de frutos de cosecha obtenidos con la Canavalia y el Ormus, sin importar su frecuencia de aplicación (a los 15 o 30 días) fue mayor que los obtenidos con las Arvenses. De ambas interacciones se desprende una marcada tendencia para lograr una mayor producción de frutos, con la Canavalia usando la Dosis más alta de Ormus (140 mL por planta), sin importar la frecuencia de su aplicación.

Cuadro 3. Número de frutos de cosecha en árboles jóvenes de limón Persa desarrollados con dos coberteras vegetales y aplicación de Ormus. Enero 2025².

Cobertera vegetal	Ormus (Dosis)	Frutos de cosecha por árbol	Cobertera vegetal	Ormus FA	Frutos de cosecha por árbol
Arvenses	70	4.3 b	Arvenses	15	3.8 b
Arvenses	140	1.9 c	Arvenses	30	2.2 c
Canavalia	70	4.9 b	Canavalia	15	5.6 a
Canavalia	140	7.7 a	Canavalia	30	6.7 a

² Dosis = mL de Ormus por árbol; FA = Frecuencia de aplicación en días; medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes de acuerdo con la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

Los resultados obtenidos en este estudio resultan muy interesantes por las siguientes razones: a) Sin importar si existe o no tendencias definidas de los datos analizados, es muy cierto que existen diferencias dentro de cada uno de los tres factores de estudio, así como en las interacciones dobles analizadas, lo que indica que dichos factores si tienen algún efecto en las variables de respuesta registradas en el limón Persa, b) El comportamiento agronómico encontrado parece tener una secuencia lógica dentro de cada cobertera vegetal, pero es diferente entre ellas. Así, el limón Persa asociado a las Arvenses, parecen requerir la aplicación de Ormus cada 15 días y a dosis bajas, para obtener mayor cantidad de brotes vegetativos, pero se requiere la dosis alta de Ormus, sin importar su frecuencia de aplicación, cuando se trata de generar flores por árbol. Mientras que los árboles de limón Persa asociado a Canavalia requieren la dosis alta de Ormus (140 mL) para generar mayor cantidad de brotes vegetativos y frutos, sin importar su frecuencia de aplicación; pero para obtener una mayor cantidad de flores con Canavalia se requirió aplicar el Ormus cada 30 días, c) Por lo tanto, ¿tiene lógica que la dosis baja de Ormus sea más efectiva que la alta, cuando el limón Persa se asocia a las Arvenses? Y que ¿aplicar el Ormus cada 30 días, funcione mejor que aplicarlo cada 15 días? Es obvio que ¿con la dosis más baja de Ormus (70 mL) asociado a la frecuencia más larga de aplicación (30 días) se haya obtenido la mayor cantidad de flores del limón Persa.

Prácticamente no existe información donde se haya medido la respuesta de la aplicación de Ormus en los cultivos, al menos en cítricos, por lo que es difícil hacer una discusión rica en conocimiento. Habrá que generar dicha información, por lo que los resultados del presente estudio, requieren validarse en una nueva investigación y ampliarla con nuevos factores, métodos de aplicación, dosis y frecuencias de aplicación.

Conclusiones

El hecho de haber determinado diferencias estadísticas dentro de cada factor, pero principalmente en las interacciones dobles estudiadas, indica que los factores estudiados tienen efecto en el comportamiento de las variables de respuesta registradas.

Es necesario continuar con este tipo de investigaciones, ahora en árboles mayores de dos años, cuyo comportamiento en la brotación vegetativa, floración y producción de frutos sea más homogéneo, para validar los resultados aquí analizados y conocer si las dosis y frecuencias de aplicación del Ormus modifican de manera diferente a las variables de respuesta de los árboles de limón Persa, en función de las coberteras con que se asocien.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada con recursos fiscales del INIFAP.

Referencias bibliográficas

- Arim, O. J., J. W. Waceke, S. W. Waudu and J. W. Kimenju. 2006. Effects of *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* intercrops on *Pratylenchus zeae* damage and yield of maize in subsistence agriculture. *Plant and Soil*, 284(1), 243-251
- Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy and J. A. Henning. 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nature communications*, 12(1), 1-8.
- Restrepo R., J. and D. Algreto E. 2020. Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Santiago de Cali, Colombia. 482 p.
- Simón-Zamora, J. I. 2019. Microbiótica y remineralización de los suelos en manos campesinas. Uruapan, Michoacán, México, 146 p.
- Curti-Díaz, S. A., R. Zetina-Lezama, L. A. Aguilar-Pérez, J. Rangel-Quintos, S. Martínez-Ortiz, A. Sánchez-Pacheco, N. Benítez-Tejeda y L. J. Gómez-Godínez. 2024. Desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa (*Citrus latifolia* tan.) con coberteras vegetales y ormus. *In: XXXVI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria*, Veracruz. 2024. Pp.:808-821.



COBERTERAS VEGETALES, ÁCIDOS HÚMICOS Y SUPERMAGRO EN EL DESARROLLO VEGETATIVO Y FLORAL DE ÁRBOLES JÓVENES DE LIMÓN PERSA

Sergio Alberto Curti-Díaz^{1*}, Rigoberto Zetina-Lezama¹, Jaime Rangel-Quintos¹, Ángel Ríos-Utrera², Luis Alfonso Aguilar-Pérez²

¹INIFAP, CIRGOC. ² Asesores independientes

*Autor para correspondencia: curti.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Citrus latifolia*, manejo orgánico.

Introducción

El uso excesivo e irracional de fertilizantes (Lekberg *et al.*, 2021), insecticidas, herbicidas, fungicidas, y otros agroquímicos que se ha hecho durante varias décadas, afecta los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo. Con ello se ido degradando el suelo, disminuyendo su fertilidad y se ha reducido la cantidad y diversidad de los microorganismos (Lekberg *et al.*, 2021); los frutos que se producen en estos suelos dañan la salud humana.

La situación del limón Persa no escapa a la tendencia ya citada, pues es un cultivo muy redituable y que se exporta más del 60% de su producción, lo que ha favorecido un crecimiento acelerado en el uso de los agroquímicos, cada vez con mayor diversidad de productos y especificidad para cada plaga y enfermedad en particular. Algunas consecuencias del uso de estos productos son: elevación de sus costos de producción (50-80 mil pesos por hectárea), resistencia de plagas a los agroquímicos (Flores, 2022) y seguramente, la presencia de nuevas plagas y enfermedades, como la *Diaphorina*, vector del HLB, picudo verde azul, o regreso de otras como la mosca prieta.

Para revertir esa situación y producir frutos inocuos para la alimentación humana se requiere abandonar por completo el uso de agroquímicos y regresar o cambiar a un manejo orgánico, dando énfasis a toda práctica o componente que conserve o incremente la materia orgánica, los minerales y los microorganismos del suelo (Restrepo y Algreto, 2020 y Simón-Zamora, 2019).

La agricultura orgánica, aunque incipiente en Veracruz, está creciendo muy rápidamente y ya existen citricultores que han certificado sus huertas con dicho manejo. Sin embargo, poca investigación se ha hecho para medir los beneficios de los componentes orgánicos que se usan actualmente. Evaluar dichos componentes es muy importante para validar aquellos que realmente aportan a lograr un mayor rendimiento y calidad de la fruta producida y, al mismo tiempo identificar aquellos que no lo hacen o, pero aun, que con su costo y aplicación el productor esté perdiendo el recurso invertido. Al respecto, existe información sobre el uso de coberteras vegetales para desplazar la maleza y como fuente de aportación de nitrógeno y algunos estudios han generado información sobre cambios que la Canavalia provoca en la biología del suelo a nivel macro fauna (escarabajos, lombrices y otros) y macro flora (hongos) del suelo, con resultados alentadores, en incremento a la fertilidad del suelo, relativos a microorganismos adversos a los cultivos y al desarrollo y rendimiento de los mismos. Algunos investigadores determinaron que *Canavalia ensiformis* incrementó el rendimiento de tres variedades de maíz en un promedio de 80.3% y disminuyó la pudrición de raíz y la población del nematodo *Pratylenchus zeae*, en 50 y 30%, respectivamente. Con relación a los bioles como el supermagro, ácidos húmicos y otros, está documentada su forma de elaboración (Restrepo y Algreto, 2020; Simón-Zamora, 2019), pero no sobre su eficiencia ni rentabilidad lograda. Es por ello, que el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de las coberteras vegetales, ácidos húmicos y "Supermagro" en el desarrollo de brotes vegetativos y florales durante la primera brotación de mayor intensidad de plantas jóvenes de limón Persa. Cabe comentar que, de noviembre de 2023 a octubre de 2024, se presentaron siete brotaciones muy incipientes y heterogéneas, en no más del 30% de las plantas, sin que hubiera diferencia estadística en la cantidad de brotes vegetativos y, menos aún, en la cantidad de flores producidas (Curti-Díaz *et al.*, 2024).

Materiales y Métodos

Duración y descripción del estudio

El estudio se llevó a cabo durante el periodo de junio de 2023 a febrero de 2025, en la localidad Paso de los Carros, municipio de Cotaxtla, Veracruz, México donde el clima es Aw0 y con 750 m de precipitación pluvial. El suelo es franco arcilloso, de pH 6.9, con 2.9% de materia orgánica y con precipitación pluvial

promedio anual de 750 mm. Las plantas de limón Persa, injertadas en patrón limón Volkameriana, fueron establecidas el 30 de marzo de 2023, a 7 m x 4 m (357 árboles ha⁻¹).

Tres factores de estudio

1) Aportación de materia orgánica con dos coberteras vegetales: *Canavalia* sp. y plantas arvenses. La *Canavalia* se sembró en julio de 2023 y julio de 2024 a una distancia de 30 cm entre plantas y 50 cm entre surcos, dejando un espacio de 50 cm de la planta de limón y su cobertura se mantuvo en campo 6.5 meses después de cada siembra, 2) Ácidos Húmicos (4 L/100 L de agua) + un multimineral (200 mL/100 L de agua) preparados ambos artesanalmente; de dicha solución se aplicaron al suelo 500 mL, junto al tronco de la planta, cada 1.5 y 3.0 meses y 3) Aportación de minerales con “Supermagro”, hecho artesanalmente con agua, estiércol fresco de vaca, leche, melaza, roca fosfatada, ceniza y sulfatos de Zn, Ca, Mg, Mn, Co, Mo, Bo, Cu y Fe (Restrepo y Agredo, 2020), el cual se asperjó al árbol hasta punto de goteo, con las soluciones hechas con 5 L y 10 L de supermagro en 100 L de agua, cada 30 días.

Variables de respuesta

En enero de 2025, cuando los árboles tenían una edad de un año y nueve meses, ocurrió la primera floración de mayor intensidad y homogeneidad y se registraron las variables siguientes: a) Número total de brotes vegetativos por árbol, b) Brotes florales por árbol y c) Número total de flores individuales por árbol.

Diseño experimental

Se usó un diseño de tratamientos factorial 2³ (ocho tratamientos) y se tuvieron ocho repeticiones, usando un árbol por unidad experimental (64 árboles en total). Los datos se analizaron con SAS (Programa Statistical Analysis System) versión 9.1, usando el procedimiento GENMOD y la Prueba de Ji-cuadrada para la separación de medias.

Resultados y Discusión

Desarrollo de las coberteras vegetales

La *Canavalia* se sembró en julio de 2023 y en julio de 2024 y su cobertura fue del 100% durante el primer año, mientras que la segunda siembra sólo alcanzó a cubrir entre el 40 y 50% del área sembrada y se mantuvo hasta enero de 2025, cuando ocurrió la brotación incluida en el presente documento. En ambos casos, la *Canavalia* alcanzó una altura de 50-60 cm, cuyo porte se redujo a 10 cm dos veces en cada ciclo de cultivo, usando una desbrozadora y dejando sus residuos en la base de los arbolitos que les correspondían. Con ello, se perseguía conseguir dos cosas: la primera fue aportar nutrimentos en la medida en que dicha materia orgánica se fuera descomponiendo por efecto del agua (riego por aspersión o lluvia) y de la temperatura, lo cual se mediría indirectamente a través de las variables de respuesta registradas; y la segunda era guardar la humedad en el área radical del arbolito. La desmalezada se hizo al mismo tiempo en todos los tratamientos (con *Canavalia* y con Arvenses). Cabe comentar que la *Canavalia* aportó tres veces más materia orgánica que las Arvenses, lo que sugiere que la primera cobertera conservó mejor la humedad del suelo que las segundas (dato no cuantificado).

Brotación vegetativa

En enero de 2025 ocurrió la primera brotación de mayor intensidad, a los 21 meses de edad de los arbolitos. Se contaron los brotes vegetativos de toda la copa del árbol. Con acuerdo al efecto de los tres factores de estudio por separado, los árboles con Arvenses, con ácidos húmicos (AH) aplicados cada 1.5 meses y con el supermagro (SM) aplicado con su dosis alta, produjeron más brotes que los árboles con *Canavalia*, AH aplicados cada tres meses y SM aplicado con su dosis baja (cuadro 1). Esta respuesta es lógica, pues un árbol estresado por sequía (Arvenses), tiende a producir más brotes vegetativos que uno que no lo esté (*Canavalia*), al igual que un árbol más nutrido, como ocurrió cuando se aplicaron los AH más frecuentemente (1.5 meses) y el SM en su dosis más alta.

Brotes florales

En la misma brotación de enero se cuantificaron los brotes exclusivamente florales; es decir, que tenían flores, pero sin hojas. Se encontró que los árboles cuya cobertura fueron las Arvenses, tuvieron estadísticamente más brotes florales (20.2 brotes por árbol) que aquellos con la *Canavalia* (11.7 brotes por árbol). Es bien sabido que la floración en cítricos es estimulada por un periodo de estrés hídrico; por lo tanto, es muy probable que la respuesta en esta variable se haya debido a un diferencial de humedad en el suelo; pues el residuo de *Canavalia* aportada a la base del árbol fue tres veces mayor que la aportada con los residuos de las Arvenses, siendo más probable que en estos últimos, ocurriera el estrés de humedad necesario para florecer en mayor cantidad. La aportación de nutrimentos por descomposición, tanto de *Canavalia* como de las Arvenses, debió ser poco significativa, debido al corto periodo en que se

desarrolló el estudio y a que sólo se aportó materia orgánica, a la base del pie, en cuatro ocasiones durante todo el estudio.

Cuadro 1. Brotación vegetativa de árboles jóvenes de limón Persa usando coberteras vegetales, ácidos húmicos y supermagro. Enero 2025².

Número total de brotes vegetativos por árbol.							
Cobertera	Brotes		AH (FA en meses)	Brotes		SM (Dosis)	Brotes
Arvenses	82.8	a	1.5	82.6	a	5	63.7 b
Canavalia	65.5	b	3.0	65.7	b	10	85.1 a

² AH = Ácidos húmicos; FA = Frecuencia de aplicación; SM = Supermagro. Medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes con acuerdo a la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

También se encontró diferencia estadística en la interacción ocurrida entre los AH con el SM (cuadro 2), donde se aprecia que con los AH aplicados cada mes y medio se obtuvo mayor cantidad de brotes florales, combinando con SM en su dosis baja o su dosis alta, en comparación con los dos tratamientos donde los AH se aplicaron más espaciados (cada tres meses).

Cuadro 2. Número de brotes florales de limón Persa en respuesta al uso de coberteras, ácidos húmicos y supermagro. Enero 2025².

Ácidos Húmicos FA (Meses)	Supermagro (L/100 L de agua)	Brotes florales (sin hojas)
1.5	5	21.6 a
1.5	10	23.2 a
3.0	5	8.4 c
3.0	10	13.3 b

² FA = Frecuencia de aplicación; medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes de acuerdo con la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

Flores por árbol.

Para esta variable hubo diferencias estadísticas para cada factor de estudio por separado, para las interacciones dobles y para la interacción de los tres factores en estudio, la cual se muestra en el cuadro 3. Si bien los tres factores aportaron para producir mayor cantidad de flores por árbol, fueron los AH aplicados cada mes y medio los que consiguieron los valores más altos, ya sea con las Arvenses y la dosis más alta de SM (130.1 flores por árbol) o con Canavalia y la dosis más baja de SM (127.6 flores por árbol), que fueron estadísticamente iguales a la interacción de Arvenses, AH aplicado cada mes y medio y dosis baja de SM (12.5 flores por árbol) y superaron al resto de las combinaciones estudiadas.

Cuadro 3. Floración de árboles jóvenes de limón Persa usando coberteras vegetales, ácidos húmicos y supermagro. Enero 2025².

Cobertera	AH (FA en meses)	SM (Dosis: L/100 L agua)	Número de flores por árbol	
Arvenses	1.5	5	122.5	ab
Arvenses	1.5	10	130.1	a
Arvenses	3	5	87.4	c
Arvenses	3	10	86.3	cd
Canavalia	1.5	5	127.6	a
Canavalia	1.5	10	114.5	b
Canavalia	3	5	78.1	d
Canavalia	3	10	42.9	c

² AH = Ácidos húmicos; SM = Supermagro. Medias con letra diferente dentro de columnas son estadísticamente diferentes de acuerdo con la Prueba de Ji Cuadrada al 1 % de probabilidad de error.

Mientras que los valores más bajos se obtuvieron en las cuatro interacciones donde los AH se aplicaron cada 3 meses, lo que sugiere la importancia de aplicar los nutrimentos de los AH cada 1.5 meses, en comparación con los nutrimentos del SM, ya sea en su dosis alta o baja y con el efecto que pudieron tener las dos coberteras vegetales, ya sea por su aportación nutrimental o por su posible efecto del estrés hídrico para estimular a la floración.

Es probable que, para encontrar algún efecto de las coberteras vegetales por su aportación nutrimental, se requiera un estudio a más largo plazo.

Conclusiones

Con las Arvenses, como cobertera vegetal y la que aportó menor cantidad de residuos a la base del árbol, se obtuvo la mayor cantidad de brotes vegetativos por árbol.

La mayor cantidad de flores por árbol se obtuvo por efecto de los AH aportados cada 1.5 meses, interactuando con ambas coberteras vegetales y las dos dosis de SM.

El efecto del SM no fue importante para alguna de las variables de respuesta registradas, por lo que es necesario estudiarlo usando otras dosis o métodos de aplicación.

Agradecimientos

La presente investigación fue financiada con recursos fiscales del INIFAP.

Referencias bibliográficas

- Flores D., C. J. 2022. Estado del arte en relación a la resistencia a plaguicidas en plagas agrícolas de importancia económica en Chile. Tesis de licenciatura. Universidad de Chile.
- Lekberg, Y., C. A. Arnillas, E. T. Borer, L. S. Bullington, N. Fierer, P. G. Kennedy and J. A. Henning. 2021. Nitrogen and phosphorus fertilization consistently favor pathogenic over mutualistic fungi in grassland soils. *Nature communications*, 12(1), 1-8.
- Restrepo R., J. and D. Algreto E. 2020. Mierda a la carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica. Santiago de Cali, Colombia. 482 p.
- Simón-Zamora, J. I. 2019. Microbiótica y remineralización de los suelos en manos campesinas. Uruapan, Michoacán, México, 146 p.
- Martínez-Ortiz, S. S. A. Curti-Díaz, R. Zetina-Lezama, L. A. Aguilar-Pérez, J. Rangel-Quintos, A. Sánchez-Pacheco, N. Benítez-Tejeda y L. J. Gómez-Godínez. 2024. Desarrollo vegetativo de plantas juveniles de limón Persa (*Citrus latifolia* tan.) con coberteras vegetales, ácidos húmicos y supermagro. *In: XXXVI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Veracruz. 2024.* 794-807.

EFFECTO DEL POTENCIAL REDOX DE LA FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SORGO

Martín Espinosa-Ramírez^{1*}, Blanca Estela Santiago-Mejía¹, Flor Elena Ortiz-Chaírez¹

¹INIFAP, CIRNE, CE Río Bravo

*Autor para correspondencia: espinosa.martin@inifap.gob.mx

Palabras clave. Redox, lixiviados, sorgo.

Introducción

El potencial redox (ORP) es la medida de la tendencia de un entorno a oxidar o reducir los sustratos. Es la tendencia de una especie química a reducirse al aceptar electrones u oxidarse al donar electrones (Reddy *et al.*, 2000). La oxidación es la donación de electrones a otras sustancias y la reducción es la aceptación de electrones de otras sustancias. Este valor, expresado en milivoltios (mV), refleja el equilibrio entre los procesos de oxidación y reducción en el suelo y está estrechamente relacionado con la aireación y el pH, afectando la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana. A medida que ocurre este proceso, el potencial redox del suelo disminuye y otros compuestos pueden utilizarse como aceptores terminales de electrones.

Por otro lado, se estima que los cultivos absorben entre un 20 a 40% del fertilizante aplicado, el resto se pierde por diversos mecanismos, generando cuantiosas pérdidas económicas y contaminación ambiental, tal como la eutrofización de cuerpos de agua, lluvia ácida, destrucción de la capa de ozono estratosférica e incremento del efecto de invernadero (Duxbury, 2024). A pesar de que en otros países se llevan a cabo trabajos de investigación en el cultivo de maíz para observar la respuesta de rendimiento en función de la aplicación de bioestimulantes (Galindo *et al.*, 2015) en México existe poca información respecto a la fertilización foliar (aminoácidos y extractos de algas marinas) para el cultivo de maíz, que compruebe su eficiencia en las características agronómicas del cultivo. Actualmente, existe una gran variedad de biofertilizantes con diversas funciones y atendiendo al tipo de cultivo. En general, los biofertilizantes más difundidos se componen de hongos micorrícicos y bacterias (All-Taweil *et al.*, 2019).

Objetivo

Evaluar el efecto del potencial redox de la fertilización orgánica y su relación con el rendimiento de sorgo establecido en el norte de Tamaulipas.

Materiales y Métodos

El experimento se realizó en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del INIFAP, en el ciclo O-I-2024-2025 en condiciones de temporal. Los tratamientos fueron: T1=Lixiviado de composta CERIB: 300 L ha⁻¹ pH= 11.2, ORP= -115 mV aplicado al suelo "drench" en etapa de V3. T2=Lixiviado de composta CERIB: 300 L ha⁻¹ pH= 9, ORP=-70 Mv aplicado al suelo "drench" en etapa de V3. T3=Lixiviado de composta CERIB: 300 L ha⁻¹ pH= 7, ORP=-35 mV aplicado al suelo "drench" en etapa de V3. T4=Lixiviado de composta CERIB: 300 L ha⁻¹ pH= 5, ORP= +55 mV aplicado al suelo "drench" en etapa de V3. T5=Fertilización química: 300 L ha⁻¹ pH= 6, ORP= +75 mV aplicado al suelo "drench" en etapa de V3. T6=Sin fertilización (testigo absoluto). El diseño experimental en campo fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela constó de cuatro surcos de 0.80 m de ancho por 10.0 m de largo. El cultivo establecido fue sorgo con el híbrido DKS 40, sembrado el día 18 de febrero de 2025, a una densidad de 175,000 plantas por hectárea. La precipitación acumulada, previo a la siembra fue de 25.2 cm y durante el ciclo vegetativo del cultivo fue de 50.5 cm. Las variables de estudio fueron: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) en V6 e inicio de floración (R1), altura de planta, peso de biomasa total, excursión y tamaño de la panoja rendimiento de grano. El control de malezas y plagas se realizó de acuerdo al paquete tecnológico para sorgo temporal del Campo Experimental Río Bravo, INIFAP. El día 18 de junio el sorgo alcanzó su madurez en campo y en cada tratamiento se cosecharon 3 m de los dos surcos centrales. En seguida, se desgranó y pesó el grano y ajustó al 14 % de humedad. Los datos se analizaron en SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2011) y la comparación de medias por Tukey (p<0.05).

Resultados y Discusión

A los 40 días después de la siembra (DDS), se realizó la toma de datos del NDVI con GreenSeeker en la etapa fenológica V6 (figura 1). Los resultados indican diferencia significativa entre tratamientos, siendo T1 (NDVI = 0.715), diferente a T5. No existió diferencia significativa ($p > 0.05$) entre T1, T2, T3, T4 y T6. El tratamiento T5 registró el valor más bajo con 0.650 NDVI

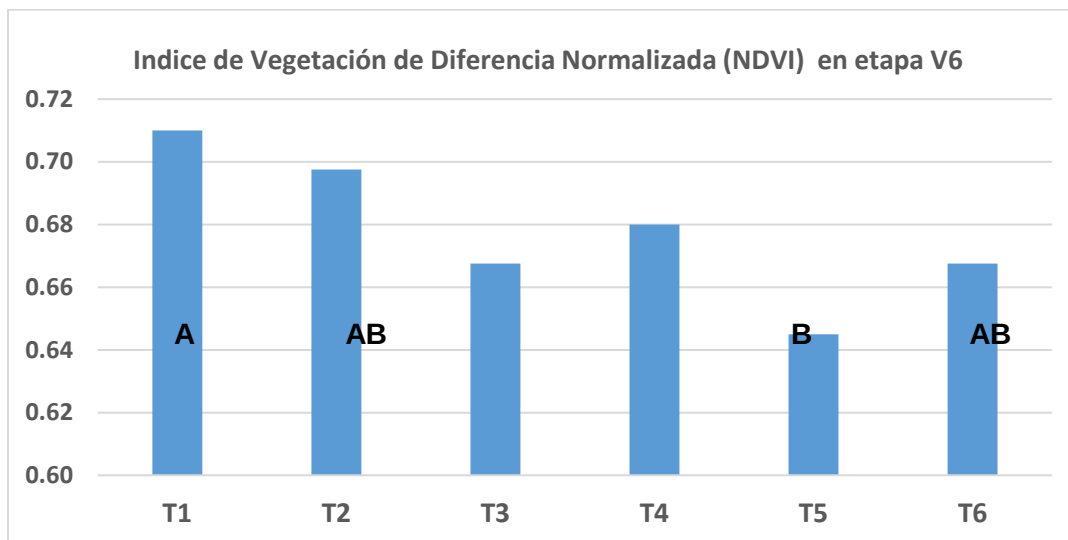


Figura 1. Índice NDVI en etapa fenológica V6 del sorgo bajo diferentes tratamientos.

A los 60 DDS se alcanzó la etapa de hoja bandera y ese día se realizó la toma de datos NDVI (figura 2). Los resultados indican diferencia significativa entre tratamientos, siendo T2 y T3 (NDVI = 0.79), diferentes a T6. No existió diferencia significativa ($p > 0.05$) entre T1, T2, T3, T4 y T5. El tratamiento T6 registró el valor más bajo con 0.74 NDVI.

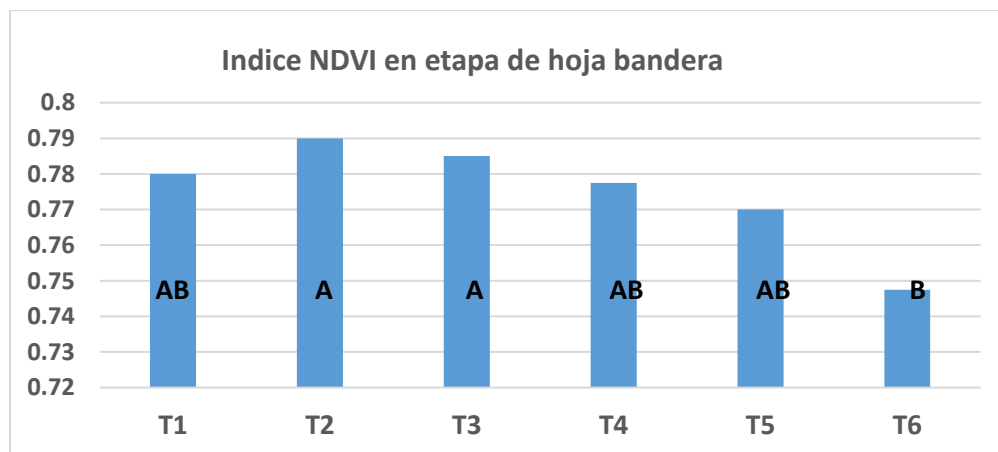


Figura 2. Índice NDVI en etapa fenológica hoja bandera del sorgo bajo diferentes tratamientos.

En cuanto a las variables altura de planta y tamaño de panoja (figura 3a y 3b), para altura de planta se encontró diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$) entre T2, T3 y T5. T5 registró el más bajo valor con 1.01 m. Para tamaño de panoja, no existió diferencia significativa entre tratamientos. T1 registró el más alto valor (0.23 m) y T4 registró el valor más bajo con 0.22 m.

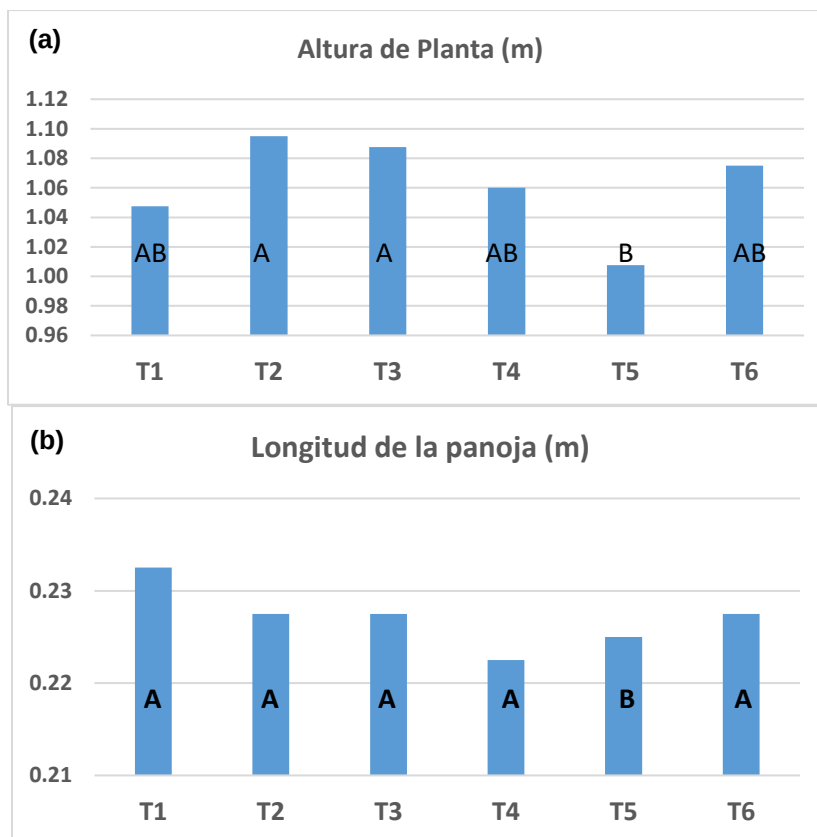


Figura 3. Altura de planta (m) y tamaño de panoja (m) del cultivo de sorgo bajo diferentes tratamientos.

Para rendimiento de grano existió diferencia significativa entre tratamientos ($p < 0.05$). Siendo los tratamientos T1 y T2 diferente a T6, excepto a T3, T4 y T5. Así mismo, no hay diferencia significativa entre T3, T4, T5 y T6. El tratamiento T6 alcanzó el menor rendimientos (figura 4). Al observar los valores de ORP, al respecto, Pezeshki SR. 2004, menciona que las condiciones reducidas del suelo pueden conducir a la inhibición de la absorción y el transporte de nutrientes debido a la disfunción y muerte de las raíces y bloqueos en los sistemas vascular. El suministro de oxígeno a las raíces es crítico para la absorción de nutrientes y el transporte de iones. El estrés inducido por inundaciones incluye una reducción en la absorción de agua debido a la disfunción radicular que resulta de la deficiencia de O_2 en el suelo, incluyendo la concentración alterada de cationes y aniones en la savia de la xilema, así como una disminución de la conductancia hidráulica de las raíces.

Al hacer referencia al valor de ORP, se observa una interacción inversamente directa. Esto es, a medida que el valor pasa de un valor negativo (-115 mV) a un valor positivo (+ 75), baja el rendimiento, esto da a entender que los valores negativos inciden en mejores rendimientos. Además, cuantificar el ORP del suelo es particularmente ventajoso en suelos inundados periódicamente ya que el rango de ORP es mucho más amplio, entre aproximadamente -300 a +700 mV, que en suelos aireados ($ORP > +400$ mV) o permanentemente anegados ($ORP < +350$ mV). Por lo tanto, las mediciones de redox del suelo representan una excelente herramienta de cuantificación para definir la presencia o ausencia de oxígeno y el estado químico del suelo en suelos de humedales (Mortimer CH. 2022). Este proceso conduce al agotamiento del oxígeno y a la reducción del potencial de reducción de oxidación del suelo (ORP) seguido de una cadena de cambios químicos del suelo.

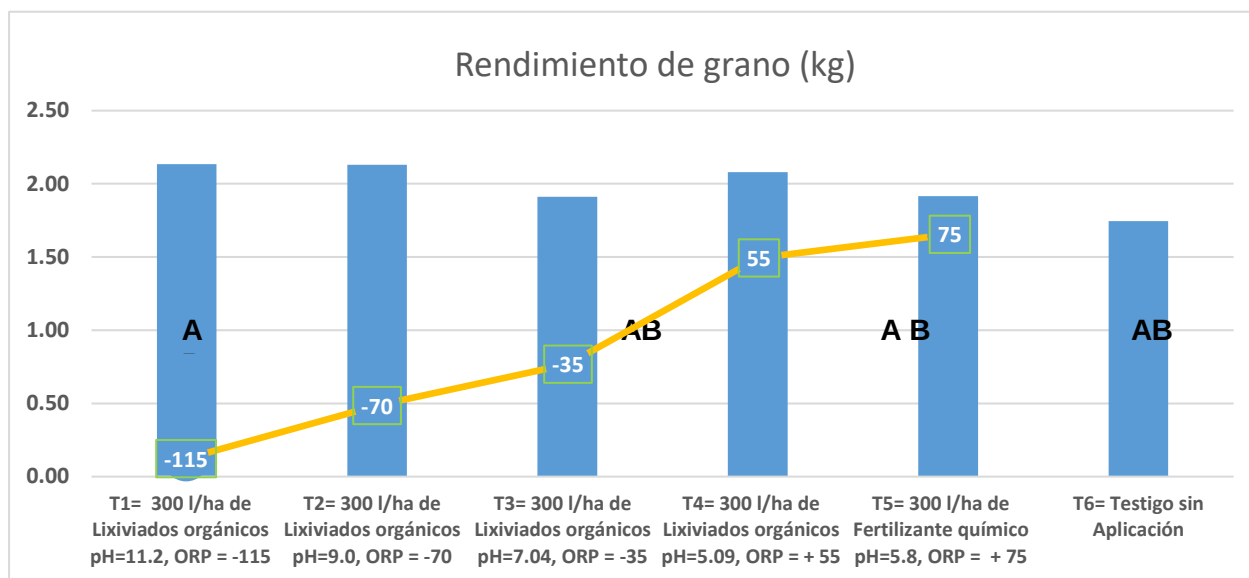


Figura 4. Relación potencial oxido reducción (ORP) y rendimiento de grano del cultivo de sorgo.

Conclusiones

Los mejores rendimientos se obtuvieron con la aplicación de lixiviados orgánicos con un potencial de óxido reducción (ORP) negativo. En la fertilización de cultivos usando soluciones orgánicas con ORP positivos, se limita su nutrición y por consecuencia su rendimiento.

Referencias bibliográficas

- All-Taweil, H. I.; Osman, M. B.; Hamid, A.A. and Yusoff, W. M. W. 2019. Development of microbial inoculants and the impact of soil application on rice seedlings growth. *Am. J. Agric. Biol. Sc.* 4:79-82.
- Duxbury, J. M. 2024. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fert. Res.* 38: 151-163.
- Galindo, S. F.; Nogueira, M. L.; Bellote, J. L. M.; Gazola, R. N.; Alves, C. J. and Teixeira, F. M. C. M. 2015. Desempenho agrônômico de milho em função da aplicação de bioestimulantes à base de extrato de algas. *Tecnol. Ciên. Agropec.* 1(9):13-19.
- Gambrell RP, DeLaune RD, Patrick WH. 2019. Procesos redox en suelos tras el agotamiento del oxígeno. En: Jackson MB, Davies DD, Lambers H., editores. *Vida vegetal bajo privación de oxígeno: Ecología, fisiología y bioquímica*. SPB Academic Publishing BV; La Haya, Países Bajos: Págs. 101-117.
- Gambrell RP, Patrick WH. 2018. Propiedades químicas y microbiológicas de suelos y sedimentos anaeróbicos. En: Hook DD, Crawford RMM, editores. *Vida vegetal en ambientes anaeróbicos*. Ann Arbor Science; Ann Arbor, MI, EE. UU.: págs. 375–423.
- Mortimer CH. 2022. El intercambio de sustancias disueltas entre el lodo y el agua en lagos. *J. Ecol.* ;29:280–329.
- Pezeshki SR: Respuestas de las plantas a las inundaciones. 2004. En: Wilkinson RE, editor. *Interacciones planta-ambiente*. Marcel Dekker, Inc.; Nueva York, NY, EE. UU.: Págs. 289-321.
- SAS Institute. 2011. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 8640 p.
- Turrent, F. A.; Cortés, F.; Espinosa, C. A.; Turrent, T. C. y Mejía, A. H. 2016. Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(7):1727-39.

RIESGO DE EROSIÓN DE UNA CUENCA A TRAVÉS DE ÍNDICES HIDROLÓGICOS EN EL NORESTE DE MÉXICO

Blanca Estela Santiago-Mejía^{1*}, Madaí Sánchez-Galindo², Gerardo Colín-García³, Demetrio S.

Fernández-Reynoso⁴, Adolfo López-Pérez⁴

¹CIRNE – CE Río Bravo, INIFAP; ²CIRGOC – CE Cotaxtla, INIFAP; ³CIRPAS – CE Centro de Chiapas, INIFAP; ⁴Postgrado en Hidrociencias, COLPOS

*Autor para correspondencia: santiago.estela@inifap.gob.mx

Palabras clave. Índice de transporte de sedimentos, índice de topográfico de humedad, índice de potencia de flujo.

Introducción

El suelo es un recurso natural no renovable a corto plazo, que brinda diversos servicios ecosistémicos, como la regulación del clima, la purificación del agua, la regulación de inundaciones, el suministro de alimentos, entre otros; que a su vez puede ser afectado por las actividades antropogénicas y procesos geomorfológicos naturales. En la actualidad, este recurso atraviesa por un problema de degradación, especialmente la física como lo es la erosión, que es la principal causa de pérdida de suelo.

La erosión del suelo tiene impactos perjudiciales tanto *in situ* como fuera del sitio y es uno de los peligros ambientales más críticos, ya que afecta negativamente, tanto al medio ambiente como a la economía (Pandey *et al.*, 2021). Existen características topográficas, hidrológicas y geológicas que contribuyen al proceso de erosión (Sharma y Pandey, 2022), aunado al cambio climático, los patrones de cobertura de la tierra y las propiedades del suelo (Gelagay y Minale, 2016).

Una herramienta útil para el análisis de esta problemática son los índices hidrológicos, como el índice topográfico de humedad (ITH), el índice de potencia de flujo (IPF) y el índice de transporte de sedimentos (ITS) que, de acuerdo con Bannari *et al.* (2017) y Ahmand *et al.* (2019), son indicadores clave para analizar el desprendimiento y el transporte de partículas de suelo, la deposición de los sedimentos y el movimiento y acumulación del agua superficial en el suelo.

Ante lo planteado, el análisis de la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica a la erosión del suelo desempeña un papel fundamental al momento de comprender el proceso, identificar el grado de fragilidad y, la planeación y priorización de actividades a implementar para su conservación (Pandey *et al.*, 2021), así como de la gestión de los recursos naturales (Gelagay y Minale, 2016). El mapeo resulta ser un insumo indispensable que facilita la ubicación de puntos críticos para tomar medidas y acciones pertinentes (Ahmad *et al.*, 2019).

Objetivo

Determinar las áreas susceptibles a la erosión de suelo de la cuenca alta del Río San Carlos en el estado de Tamaulipas, México, mediante índices hidrológicos y Sistemas de Información Geográfica.

Materiales y Métodos

La cuenca alta del Río San Carlos se encuentra ubicada en el municipio de San Carlos en el estado de Tamaulipas, al noreste de México, entre las coordenadas extremas 24°27'36" y 24°44'24" de Latitud Norte y 98°50'24" y 99°06'36" de Longitud Oeste, con una superficie de 482.06 km² (figura 1). Cuenta con tres climas: semicálido subhúmedo con lluvias en verano ((A)C(wo)x'), semicálido subhúmedo con lluvias en verano (A)C(wo) y templado subhúmedo con lluvias en verano (C(wo)x'); con tipos de suelo leptosol (83.08 %), calcisol (13.32%) y kastañozem (3.60%).

La delimitación de la cuenca se realizó con el Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 disponible en la página del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI¹), con resolución de 15 m (corregido hidrológicamente) y el módulo automatizado de delimitación de cuencas del modelo Soil & Water Assessment Tool (SWAT), por medio de un Sistema de Información Geográfico (SIG).

¹ <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>

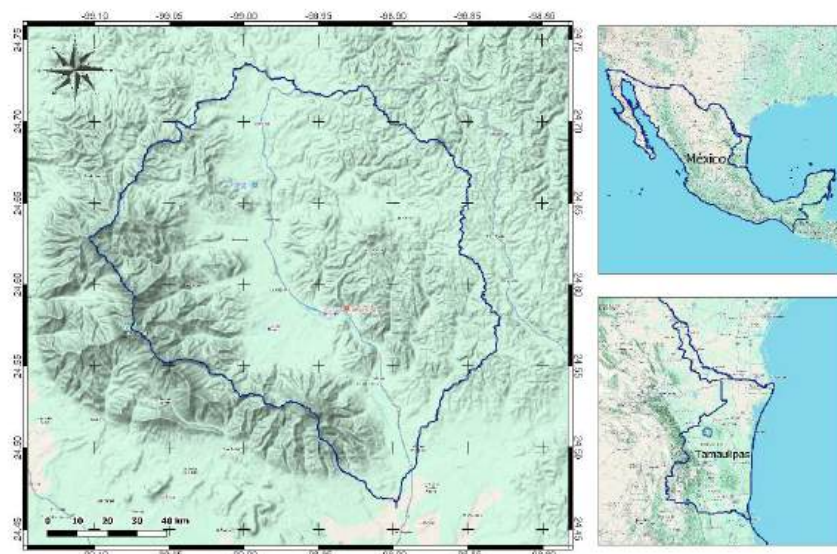


Figura 1. Ubicación de la cuenca alta del Río San Carlos, Tamaulipas, México.

Para la estimación del ITH, el IPF y el ITS se utilizó la pendiente en grados y el área de captación específicos insumos requeridos por la herramienta WhiteboxTools incluida en el programa QGIS versión 3.28. Las ecuaciones que utiliza el software para su estimación se muestran en el cuadro 1:

Cuadro 1. Índices hidrológicos estimados para la cuenca alta del Río San Carlos.

Índice hidrológico	Ecuación
Índice de Transporte de Sedimentos (ITS)	$ITS = (n + 1) * \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^n * \left(\frac{\sin(\beta)}{0.0896} \right)^m \quad (1)$
Índice Topográfico de Humedad (ITH)	$ITH = \ln \left(\frac{A_s}{\tan(\beta)} \right) \quad (2)$
Índice de Potencia de Flujo (IPF)	$IPF = A_s^p * \tan(\beta) \quad (3)$

Donde A_s es el área de captación específica, β es la pendiente en grados, $n = 0.4$ y $m = 1.3$, p es un exponente que controla la relación de la ubicación entre el área contribuyente y la descarga.

Una vez que se obtuvo la pendiente y los índices hidrológicos, se reclasificó cada capa de información en cinco clases por el método *natural breaks*; de acuerdo con su nivel de afectación, el 1 indica el nivel mínimo y el 5 el máximo y se le asignó un peso potencial a cada una. Después se realizó una superposición de capas usando el método de la suma ponderada, para efectuar una combinación lineal de ponderaciones de probabilidad. Los pesos asignados a cada capa fueron: ITS (30%), IPF (30%), ITH (20%), pendiente (20%). Finalmente, se contabilizó la superficie en riesgo de erosión para la cuenca alta del Río San Carlos.

Resultados y Discusión

La pendiente de la cuenca tuvo valores de 0 a 61.35°, que oscila de muy baja a muy alta (figura 2a). De acuerdo con Ahmand *et al.* (2019), las superficies con pendientes pronunciadas son más susceptibles a la erosión que, junto con otros factores, favorece el desprendimiento y arrastre de partículas. Las mayores pendientes propician el aporte de sedimento constante, pues los procesos dominantes en las laderas están asociados con la gravedad, las corrientes de agua y la erosión del suelo.

El ITS indica la capacidad de transporte y acumulación de sedimentos, los valores altos se correlacionan con laderas y crestas empinadas que asociadas a un alto poder erosivo y, los valores bajos reflejan una lenta movilidad, en consecuencia, acumulación de sedimentos y bajo riesgo de erosión. Para el caso de la cuenca alta del Río San Carlos se encontraron valores de 0.00 a 382.93, como se observa en la figura 2b, en general, predominan las áreas con valores bajos.

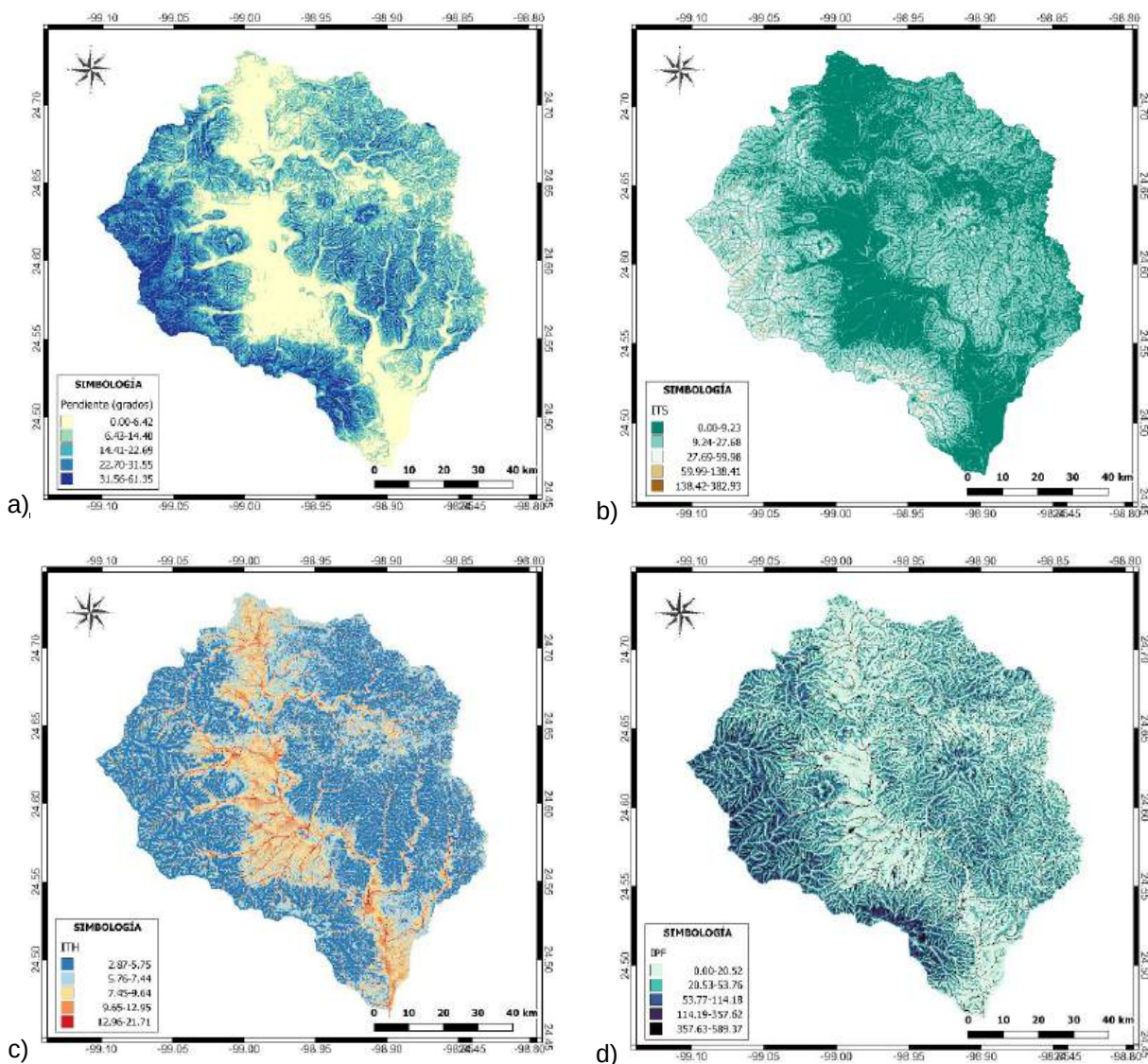


Figura 2. Clasificación de los distintos parámetros de la cuenca alta del Río San Carlos, Tamaulipas, México. a) Pendiente en grados, b) Índice de Transporte de Sedimentos, c) Índice Topográfico de Humedad y d) Índice de Potencia de Flujo.

Por su parte el ITH, permite delimitar áreas que tienen el potencial de saturarse, los valores positivos altos son vulnerables a inundaciones y crecidas repentinas, ya que determina la distribución de la humedad del suelo con base en la topografía. Los valores máximos se ubican en las partes bajas de la cuenca al tener una pendiente baja, que favorece que la acumulación de humedad; los valores más bajos se localizan en las partes altas de la cuenca con pendientes mayores, lo que impide la acumulación de agua (figura 2c). El IPF indica el poder erosivo de las corrientes y expresa el potencial topográfico para la deposición (valores bajos y negativos) y áreas erosivas (valores positivos), es una de las principales fuerzas que recae sobre un canal y determina la capacidad de un río para transportar sedimentos, debido a que la erosión se da cuando la velocidad de la corriente y la turbulencia son más poderosas que el peso de las partículas del suelo y su fuerza cohesiva. Los valores más altos se observaron en las partes donde existen las mayores pendientes y el agua acelera su movimiento, por otra parte, los valores más bajos se ubican en lugares con poca pendiente y se dificulta el movimiento de las corrientes de agua (figura 2d).

En el cuadro 2 se observan los porcentajes de cada uno de los intervalos para cada parámetro dentro de la cuenca, se observa que el peso potencial 1 es el que tiene mayor área en tres de los cuatro parámetros bajo estudio (pendiente, ITS e IPF).

Cuadro 2. Resumen de parámetros, intervalos, peso potencial área y porcentaje.

Índice	Intervalos	Peso potencial	Área (km ²)	%
Pendiente	0.00-6.42	1	148.37	30.78
	6.43-14.40	2	104.47	21.67
	14.41-22.69	3	95.68	19.85
	22.70-31.55	4	85.56	17.75
	31.56-61.35	5	47.98	9.95
ITS	0.00-9.23	1	234.57	48.66
	9.24-27.68	2	191.12	39.65
	27.69-59.98	3	50.63	10.50
	59.99-138.41	4	5.20	1.08
	138.42-382.93	5	0.54	0.11
ITH	2.87-5.75	5	208.13	43.18
	5.76-7.44	4	147.23	30.54
	7.45-9.64	3	83.76	17.38
	9.65-12.95	2	32.93	6.83
	12.96-21.71	1	10.01	2.08
IPF	0.00-20.52	1	201.14	41.73
	20.53-53.76	2	146.46	30.38
	53.77-114.18	3	69.08	14.33
	114.19-357.62	4	34.10	7.07
	357.63-589.37	5	31.28	6.49

La figura 3 muestra el mapa de riesgo de erosión para la cuenca alta del Río San Carlos, clasificada en cinco niveles, esto de acuerdo al análisis realizado con los índices hidrológicos estimados. El porcentaje para cada nivel queda de la siguiente manera: muy bajo (11.02%), bajo (38.84%), moderado (39.32%), alto (10.68%) y muy alto (0.14%). Las zonas con mayor riesgo de erosión se localizan en las partes con pendientes más pronunciadas, representando una superficie del 50.14%.

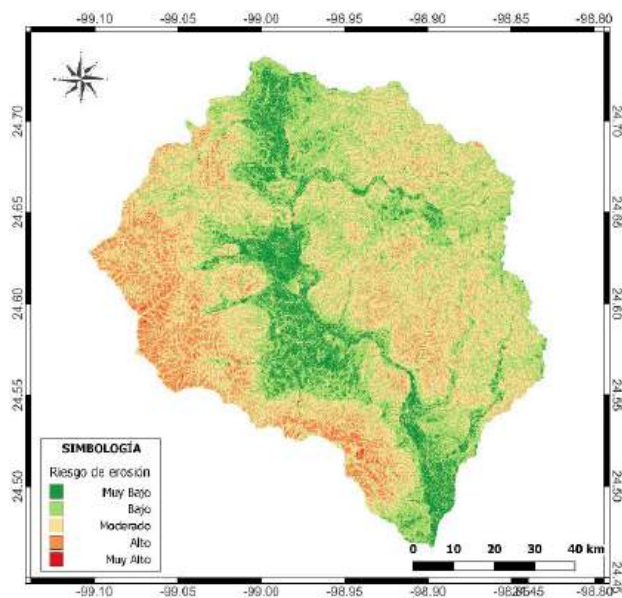


Figura 3. Mapa de riesgo de erosión de la cuenca alta del Río San Carlos, Tamaulipas.

Las superficies con riesgo alto y muy alto se encuentran influenciadas por las partes altas de la Sierra de San Carlos, donde es necesario un monitoreo constante de las condiciones para evaluar los puntos donde es necesaria la implementación de obras de conservación.

Conclusiones

En la cuenca alta del Río San Carlos, predomina un riesgo moderado de erosión de suelo (39.32%), aunque no se debe dejar de lado la superficie con riesgo alto y muy alto (10.84%) ubicada en las partes altas de Sierra de San Carlos, donde es necesaria la implementación de acciones que coadyuven con esta problemática por las instituciones correspondientes. Los índices hidrológicos, como el índice de transporte de sedimentos, el índice de potencia de flujo y el índice topográfico de humedad, resultan ser una alternativa útil para el mapeo de riesgo de erosión, lo que permite hacer una gestión adecuada del recurso suelo, a través de las acciones oportunas; además del monitoreo constante del área de estudio.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, I., Dar, M. A., Teka, A. H., Gebre, T., Gadissa, E. & Tolosa, A. T. (2019). Application of hydrological indices for erosion hazard mapping using Spatial Analyst tool. *Environ Monit Assess*, 191, 482. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7614-x>.
- Bannari, A., Ghadeer, A. El-Battay, A., Hameed, N. A. & Rouai, M. (2017). Detection of areas associated with flash floods and erosion caused by rainfall storm using topographic attributes, hydrologic indices, and GIS. *Global Changes and Natural Disaster Management: Geo-information Technologies*, 155-174. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51844-2_13.
- Gelagay, H. S. & Minale, A. S. (2016). Soil loss estimation using GIS and remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2), 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.01.002>.
- Pandey, S., Kumar, P., Zlatic, M., Nautiyal, R., Panwar, V. (2021). Recent advances in assessment of soil erosion vulnerability in a watershed. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), 305-318. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.03.001>.
- Sharma, B. y Pandey, A. (2022, 28 may). Mapping of erosion hazard in and around Kharagpur Hills, Bihar using hydrological indices (Conferencia), in *Proceedings of the MOL2NET'22, Conference on Molecular, Biomed., Comput. & Network Science and Engineering*, 8th ed., 1–15 January 2023, MDPI: Basel, Switzerland. <https://doi.org/10.3390/mol2net-08-12638>

CALIDAD DE LOS SUELOS CULTIVADOS CON MAÍZ NATIVO EN CUAPIAXTLA, TLAXCALA

Dolores Briones-Reyes^{1*}, María Guzmán-Martínez², Efraín Flores-Juárez³

¹INIFAP, ²Universidad Autónoma de Guerrero, ³Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Tlaxcala

*Autor para correspondencia: briones.dolores@inifap.gob.mx

Palabras clave. Materia orgánica, densidad aparente, macronutrientes.

Introducción

El suelo, esa capa superficial de la tierra compuesta por materia orgánica, minerales y microorganismos, desde el punto de vista agrícola está relacionado con la productividad al ser fuente de nutrimentos, agua y sostén para el desarrollo de los cultivos. Doran y Parkin (1994) además de la productividad relacionan al suelo con la calidad ambiental, la salud humana y animal.

En México, de acuerdo con SEMARNAT (2008), el 44.9% de los suelos están afectados por algún proceso de degradación (química, hídrica, eólica, física), tanto en zonas de ecosistemas naturales como manejados; las causas son las actividades antropogénicas como el cambio de uso de suelo, la agricultura, el sobrepastoreo entre otras.

En el municipio de Cuapixtla en Tlaxcala, el 90% de uso de suelo corresponde a la agricultura (INEGI, 2010), en 2023 se sembraron 4,808 hectáreas con maíz, de las cuales el 65% se cultivó en temporal, donde se obtienen rendimientos de 2.0 ton ha⁻¹ (SIAP, 2023). El bajo rendimiento es atribuible a diversos factores de manejo, tecnología, entre estos las variedades. No obstante, la calidad del suelo es otro factor determinante, de ahí que el análisis de suelo se ha vuelto una práctica agrícola indispensable para lograr mayor rendimiento en los cultivos y reducir el impacto ambiental.

Objetivo

Conocer la calidad del suelo de lotes destinados a la producción de maíz nativo en el municipio de Cuapixtla, Tlaxcala, mediante el análisis de sus propiedades físicas y químicas.

Materiales y Métodos

El municipio de Cuapixtla, Tlaxcala, se sitúa entre los paralelos 19° 17' y 19° 24' latitud norte; los meridianos 97° 41' y 97° 52' longitud oeste, a una altitud entre 2,400 y 2,700 m s.n.m. Colinda con el estado de Puebla y los municipios de Alzayanca, El Carmen Tequexquiltla y Huamantla.

Las 21 muestras procedentes de tres localidades (Plan de Ayala, Colonia El Valle y Colonia Ignacio Allende) fueron tomadas en 2024 de lotes de productores beneficiarios del Proyecto estratégico desarrollo de territorios rurales con productores que custodian maíces nativos en México. La muestra fue tomada a una profundidad de 0-30 cm tomando en cuenta la metodología descrita por Salgado *et al.* (2006). Los análisis de la propiedades físicas y químicas se llevaron a cabo a través del servicio de un laboratorio comercial.

Las variables seleccionadas como indicadores de calidad fueron: densidad aparente (DA), materia orgánica (MO), Potencial de hidrógeno (pH) y Macronutrientes (N, P, K) esto de acuerdo con Nuñez-Peñaloza *et al.* (2023) y Castillo-Valdez *et al.* (2021). Los datos se sometieron a un análisis de correlación espacial con el índice de Moran para estudiar la relación espacial de las variables de interés en los 21 sitios de muestreo. El análisis se realizó con ayuda del software estadístico R (R Core Team, 2024).

Resultados y Discusión

Desde el punto de vista agronómico, conocer la calidad de suelo es primordial no solo para obtener mejores rendimientos, si no para lograr una agricultura sostenible. La calidad de los suelos muestreados fue considerada a través de los valores de sus propiedades físicas y químicas.

El principal tipo de suelo fue franco-arenoso en 19 muestras, y en dos fue franco-arcillo-arenoso. Los valores de densidad aparente rondaron entre 1.24 y 1.54, que, de acuerdo con el tipo de suelo, no indican alto grado de compactación, lo cual puede ser atribuido a la porción de arena, que los hace menos susceptibles a la compactación (figura 1).

El índice de Moran indica que existe segregación espacial en los valores observados de la DA ($IM=0.46077$, $p\text{-valor} = 0.001$) esto significa que unidades de suelo con valores altos de DA son vecinos de unidades de suelo con valores altos similares, y unidades de suelo con valores bajos de DA son vecinos de unidades de suelo con valores bajos, lo anterior permite identificar patrones en el área de estudio.

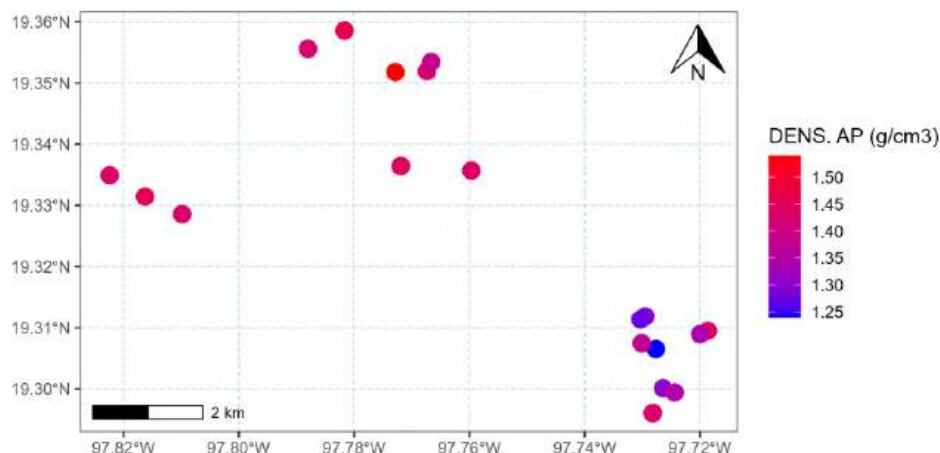


Figura 1. Densidad aparente en muestras de suelo del Municipio de Cuapiaxtla, Tlax.

Respecto a la materia orgánica contenida en los suelos muestreados, se encontraron porcentajes de 0.32% a 1.42%, los cuales se consideran como de bajo contenido, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 (figura 2). El índice de Moran con valor negativo para la MO indica que sus valores presentan un patrón aleatorio ($IM= -0.10948$, $p\text{-valor} = 0.63$), por lo tanto, no se esperan encontrar condiciones similares entre lotes vecinos, de tal manera que sitios con valores altos en MO tienen como vecinos sitios con valores bajos en MO, e inversamente. Lo cual es atribuible al manejo agronómico propio de cada productor.

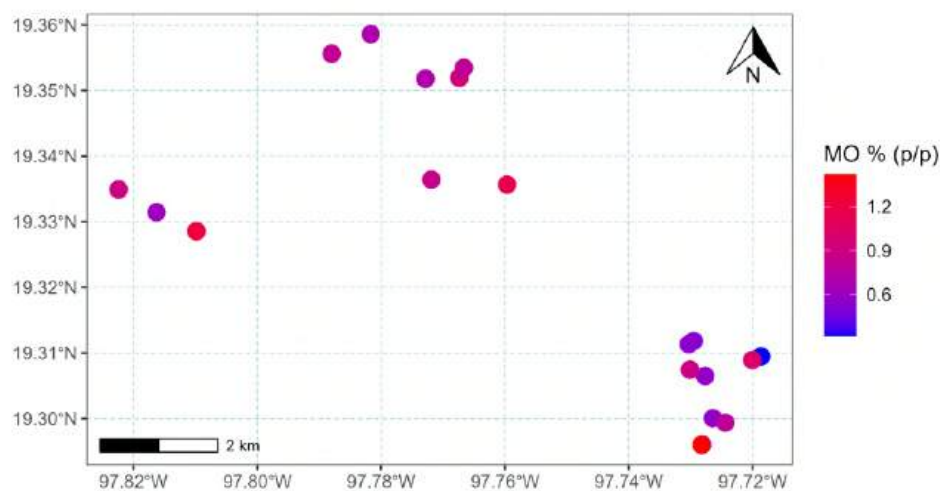


Figura 2. Materia orgánica muestras de suelo del Municipio de Cuapiaxtla, Tlax.

Respecto al grado de acidez o alcalinidad, los valores de pH rondaron de 5.37 moderadamente ácido a 7.19 neutro, de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000. El 90% de los sitios muestreados resulto moderadamente ácido (figura 3). A un nivel de significancia del $\alpha = 0.1$, el índice de Morán indica una agrupación de los valores observados del pH ($IM=0.11831$, $p\text{-valor}=0.091$), es decir, que sitios con valores altos del pH tienen como vecinos a sitios con valores altos de pH. Si bien el maíz puede desarrollarse en pH de 5.5 a 8.0, es importante tomar en cuenta que los suelos ácidos presentan toxicidad por aluminio

(Montaldo, 1982), por lo que es conveniente regular el pH entre 6.0 y 7.0 a través de enmiendas, lo que favorecerá la salud del suelo y la productividad del cultivo.

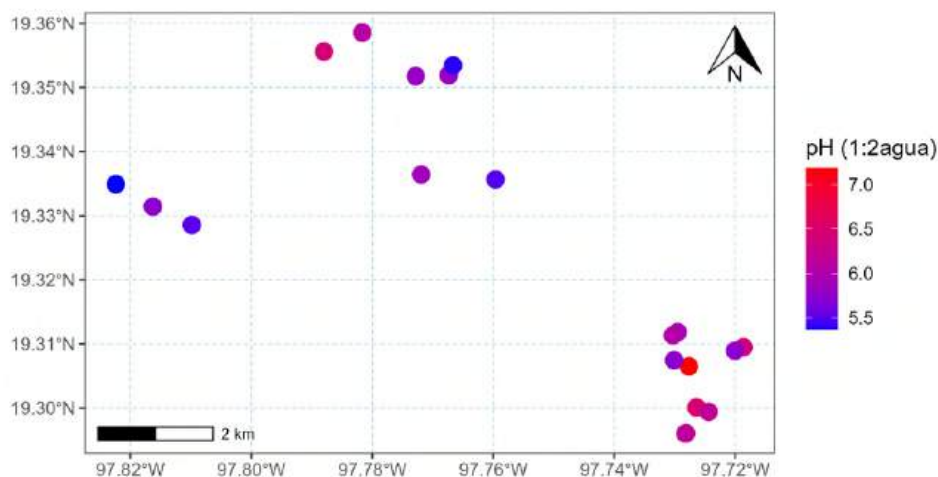


Figura 3. Acidez de muestras de suelo del Municipio de Cuapixtla, Tlax.

En relación al contenido de macronutrientes, los valores de fósforo resultaron de bajo (2.22 mg kg^{-1}) a alto (37.82 mg kg^{-1}), en el caso de nitrógeno de muy bajo (4.56 mg kg^{-1}) hasta muy alto (81.20 mg kg^{-1}) de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000, en el caso de potasio los valores fueron de muy bajo (87.1 mg kg^{-1}) a alto ($618.28 \text{ mg kg}^{-1}$) (figura 4). Los valores negativos del índice de moran para los macronutrientes: N ($IM=-0.15071$, $p\text{-valor} = 0.779$); P ($IM=-0.038297$, $p\text{-valor} = 0.436$) y K ($IM=-0.021405$, $p\text{-valor} = 0.36$), indica un patrón aleatorio en los valores observados, por lo que no se espera encontrar una condición similar en lotes vecinos.

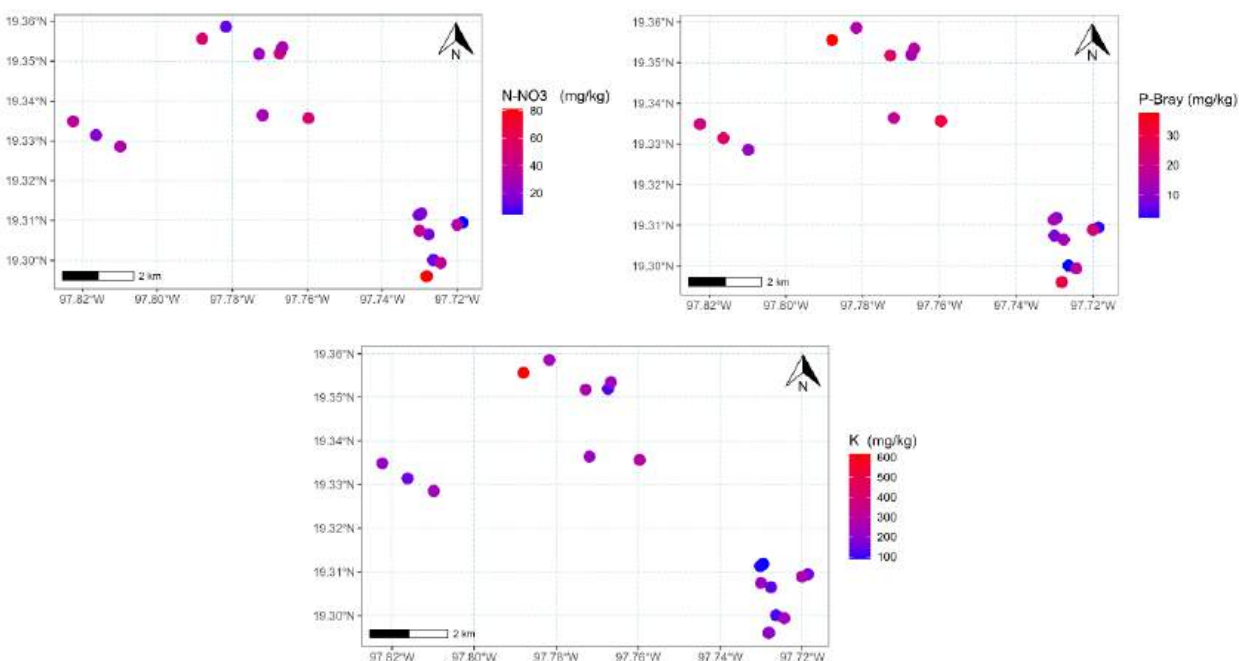


Figura 4. Contenido de macronutrientes de muestras de suelo del Municipio de Cuapixtla, Tlax.

Los resultados de este estudio indican que la calidad de los suelos analizados ha sido afectada al mostrar valores bajos de materia orgánica, atribuida en gran parte al monocultivo de maíz, donde los residuos de

cosecha son aprovechados al 100% para la alimentación de ganado, por lo que difícilmente se deja rastrojo en el terreno para su incorporación. A lo largo de los años esta práctica también impacta en la fertilidad, por lo que es necesario proporcionar al suelo los nutrientes necesarios para obtener y mejorar la producción.

Es necesario proveer al suelo de residuos orgánicos, de tal manera que gradualmente se incremente el nivel de materia orgánica hasta un 5% o más, esto por la mejora que ofrece a las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del suelo; lo cual se verá reflejado en un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas. Diversos estudios coinciden en que el contenido de materia orgánica del suelo es el mejor indicador de la calidad y su productividad (Bünemann *et al.*, 2018; Doran y Parking 1994).

Conclusiones

Los niveles bajos a muy bajos de materia orgánica, así como la acidez, son indicativo de la degradación que han sufrido los suelos agrícolas en el área de estudio, lo cual se refleja en un bajo contenido de macronutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno. Lo anterior destaca la necesidad de migrar hacia una agricultura regenerativa mediante prácticas agrícolas sustentables.

Agradecimientos y Fuente financiadora

A los productores y a Agricultura-INIFAP por el financiamiento al proyecto SIGI:1632196906 Proyecto estratégico desarrollo de territorios rurales con productores que custodian maíces nativos en México.

Referencias bibliográficas

Castillo-Valdez, Ximena, Etchevers, J. D., Hidalgo-Moreno, Claudia Ma. I., & Aguirre-Gómez, Arturo. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Terra Latinoamericana*, 39, e698.

Doran, J.W. and T.B. & Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D. C. Coleman, D.F. Bezdicsek and B.A. Stewart, eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA

Núñez-Peñaloza, Jorge Luis, Pérez-Nieto, Joel, & Prado-Hernández, Jorge Víctor. (2023). Análisis de indicadores e índices de calidad de suelos en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 14(6), e3148.

Salgado-García S, D. J. Palma-López, J. Lagunes Espinoza y M. Castelán-Estrada. 2006. Manual para el muestreo de suelos plantas y aguas e interpretación de análisis. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco-ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 90 p.

SEMARNAT. 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México. 2013.

EVALUACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO SELECTIVOS PARA EL CRECIMIENTO DE HONGOS NEMATÓFAGOS

Blanca Moreno-Gómez^{*1}, Gabriela Vázquez-Ramírez², Ricardo Escamilla-Rodríguez²
¹INIFAP Campo Experimental Bajío. ²Instituto Tecnológico Nacional de México, Campus Roque

*Autor para correspondencia: moreno.blanca@inifap.gob.mx

Palabras clave. Biocontrol, hongos nematofagos, *Arthrobotrys* sp.

Introducción

Diversas investigaciones han reportado el uso de hongos nematofagos como control biológico, estos hongos tienen la capacidad de parasitar, atrapar o inhibir el crecimiento de nematodos y/o huevos de nematodos que afectan los cultivos agrícolas. Los hongos del género *Arthrobotrys* son hongos conocidos como atrapadores de nematodos con alto potencial de biocontrol contra los nematodos que forman nódulos en raíces. Estos hongos producen anillos de constricción a través de sus hifas para capturar y matar nematodos y con frecuencia forman trampas de conidios (Barron, 1981; Persmark y Nordbring-Hertz, 1997). En un estudio realizado en tomate se demostró que el hongo *Arthrobotrys dactyloides* fue más eficaz que otros hongos en la reducción de la población de nematodos juveniles de *Meloidogyne javanica* en el suelo (Galper *et al.*, 1995). En otro estudio en tomate en campo abierto se demostró que la aplicación de *Arthrobotrys dactyloides* redujo con éxito los nudos radiculares (Stirling y Smith, 1998). También se demostró que *Arthrobotrys* sp. presentó actividad biocontroladora contra *Meloidogyne javanica* en cultivo de crisantemo en invernadero (Dávila-Clímaco, 2005). A pesar de su alta depredación, efectividad y gran potencial de biocontrol de cepas de hongos del género *Arthrobotrys*, su cultivo presenta una dificultad ya que se requiere una fuerte esporulación en el medio de cultivo o en el sustrato de crecimiento para llegar a ser altamente efectivos (Kumar y Singh, 2005).

Objetivo

El objetivo de este trabajo consistió en formular y evaluar diferentes medios de cultivo para el crecimiento y esporulación de tres cepas de hongos de *Arthrobotrys* sp.

Materiales y Métodos

Aislamiento, purificación y mantenimiento de los cultivos

Se aislaron tres cepas de *Arthrobotrys* sp. de nematodos presentes en raíces de plantas de tomate en siembra en campo en el estado de Guanajuato. El aislamiento se llevó a cabo por el método descrito por Duddington (1955) con algunas modificaciones. Los cultivos puros de todos los aislamientos se realizaron recogiendo esporas de los conidios de las cepas aisladas con una aguja fina e inoculados en medio agar-harina de maíz (agar 20 g. l⁻¹ y harina maíz 20 g. l⁻¹) y los cultivos se mantuvieron en este medio a 28 °C por 15 días.

Evaluación del crecimiento y esporulación de *Arthrobotrys* sp. en diferentes medios de cultivo.

Se evaluaron cinco formulaciones de medios de cultivo de acuerdo al cuadro 1.

Cuadro 1. Formulación de medios de cultivo para evaluar el crecimiento y esporulación de cepas de *Arthrobotrys* sp.

Medio de cultivo	Formulación
M1	PDA (Papa 20 g. l ⁻¹ Dextrosa 20 g. l ⁻¹ . Agar 20 g. l ⁻¹)
M2	YGA (Extracto levadura 4 g. l ⁻¹ . Glucosa 20 g. l ⁻¹ . K ₂ HPO ₄ 20 g. l ⁻¹ . MgSO ₄ .7H ₂ O 0.5 g. l ⁻¹ . Agar 20 g. l ⁻¹ .)
M3	CA (NaNO ₃ 3 g. l ⁻¹ . K ₂ HPO ₄ 1 g. l ⁻¹ . MgSO ₄ .7H ₂ O 0.5 g. l ⁻¹ . KCl 0.5 g. l ⁻¹ . FeSO ₄ .7H ₂ O 0.01 g. l ⁻¹ . Sacarosa 30 g. l ⁻¹ . Agar 20 g. l ⁻¹ .)
M4	YPSSA (Extracto de levadura 4 g. l ⁻¹ . Almidón soluble 15 g. l ⁻¹ . MgSO ₄ 0.5 g. l ⁻¹ . Agar 20 g. l ⁻¹ .)
M5	SDA (Peptona 10 g. l ⁻¹ . Dextrosa 40 g. l ⁻¹ . Agar 20 g. l ⁻¹ .)

Estos medios se prepararon en placas Petri (20 ml por placa), se inoculó un disco fúngico de 5 mm de diámetro de un cultivo de 15 días de crecimiento y se inoculó en cada placa Petri, se inocularon cinco placas Petri por cada cepa y por cada medio de cultivo como repeticiones por tratamiento. Las placas Petri previamente inoculadas se incubaron a 28 °C y el crecimiento radial del hongo se midió cada tercer día durante 21 días. Para evaluar la esporulación del hongo en cada medio de cultivo, se agregaron 5 ml de agua estéril a cada placa Petri, posteriormente se agitó la placa para separar las esporas y se recogieron las esporas con una pipeta con punta recortada, finalmente se realizó un conteo de esporas usando un hematocitómetro y se calculó el número de esporas mL^{-1} .

Resultados y Discusión

Crecimiento y esporulación de *Arthrobotrys sp.* en diferentes medios de cultivo.

En la figura 1 y cuadro 2 se presenta el crecimiento radial y la esporulación de los tres aislados de *Arthrobotrys sp.* en los cinco diferentes medios usados. De los cinco medios probados, el medio SDA fue el de mejor crecimiento en dos aislamientos (A y B). El medio PDA fue el mejor para el crecimiento del aislado C. Mientras que los medios YGA, CA y YPSS no fueron útiles en cuanto a estimulación de crecimiento radial, ya que en estos medios se presentaron los menores crecimientos (figura 1).

Respecto a la estimulación de la esporulación, los resultados muestran datos diferentes en cuanto a selección de medios de cultivo. De los cinco medios utilizados, solo los medios CA y YGA favorecieron una excelente esporulación, sin embargo, el grado de esporulación varió dependiendo de cada cepa. De los tres aislamientos, el aislado C mostró la máxima esporulación en CA, seguido por YGA, mientras que los aislados A y B mostraron la máxima esporulación en medio YGA, seguido por CA (cuadro 2).

La variabilidad en el crecimiento radial y la esporulación de estos diferentes aislamientos de *Arthrobotrys sp.* en los cinco diferentes medios de cultivo puede atribuirse a las diferencias en el estado nutricional de los medios y a sus respectivos requerimientos nutricionales de cada cepa.

Cuadro 2. Efecto de diferentes medios en la esporulación de tres cepas de *Arthrobotrys sp.*

Cepas	Esporas mL^{-1}				
	M1 (PDA)	M2 (YGA)	M3 (CA)	M4 (YPSSA)	M5 (SDA)
A	1.0×10^3	1.2×10^5	2.2×10^4	1.0×10^3	1.1×10^4
B	1.5×10^3	2.1×10^5	2.0×10^4	2.0×10^3	1.0×10^4
C	1.8×10^3	2.0×10^4	3.0×10^5	2.0×10^3	1.0×10^4

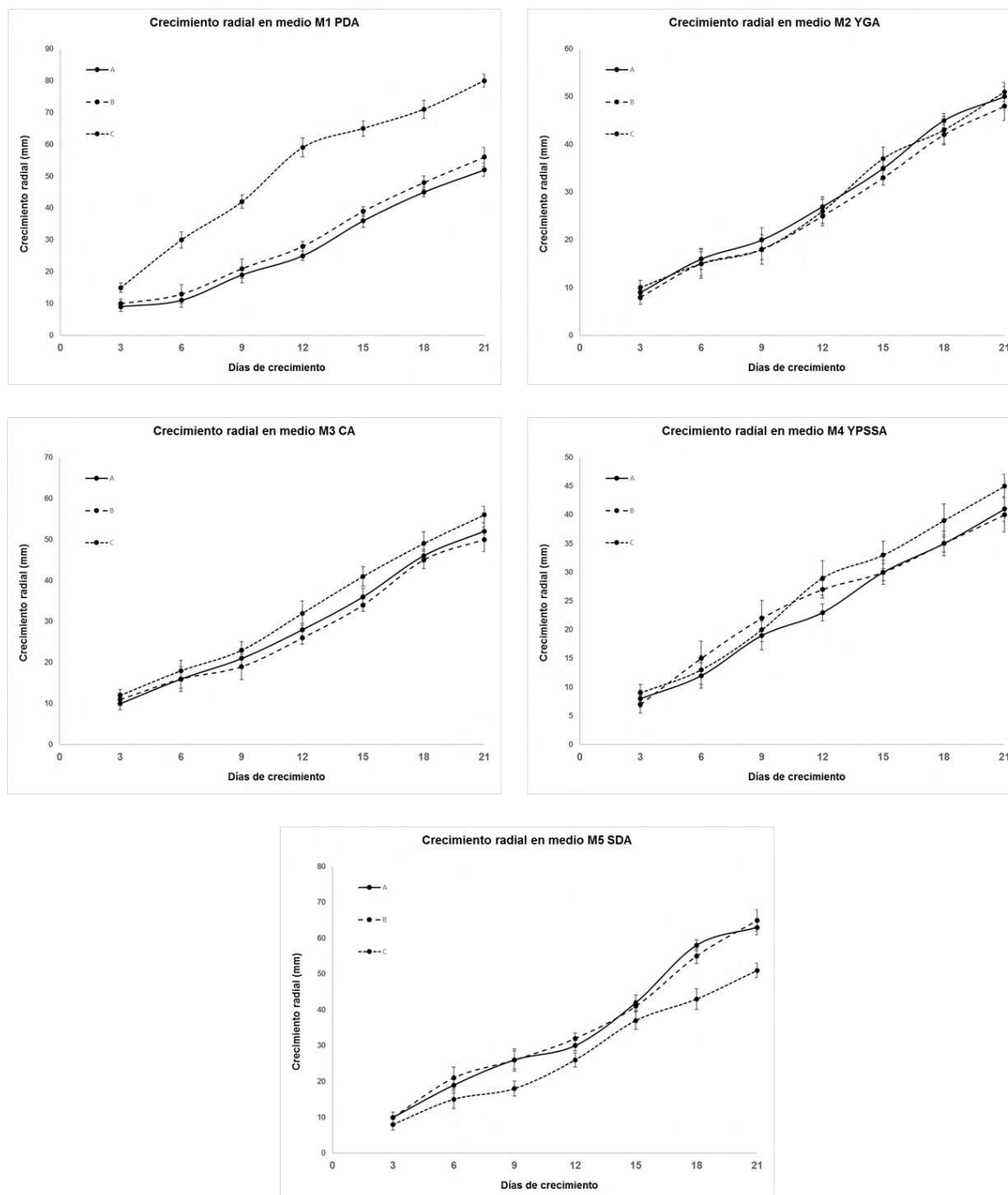


Figura 1. Efecto de cinco medios de cultivo sobre el crecimiento radial de tres cepas de *Arthrobotrys* sp.

Conclusiones

Se estudió la variabilidad en el crecimiento y esporulación de tres aislamientos de *Arthrobotrys* sp. en cinco medios de cultivo. El medio M5 (SDA) permitió el máximo crecimiento radial de los aislados A y B, mientras que el crecimiento radial del aislado C fue menor en el medio PDA. Por otro lado, de los cinco medios probados, los medios CA y YGA favorecieron una excelente esporulación en los tres aislados, lo que indica que los medios que estimularon el crecimiento radial difieren de los medios que estimularon de la

esporulación. En un trabajo de continuación se buscarán aquellos medios que estimulen crecimiento radial y al mismo tiempo una mejor esporulación.

Agradecimientos

Agradecimiento especial al INIFAP CIRCE Bajío por el apoyo otorgado en instalaciones y recursos para el desarrollo de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Barron, G.L. 1977. The nematode destroying fungi. Canadian biological publication Ltd., Guelph, Ontario.
- Dávila, L. and Clímaco H.J. 2005. Evaluación de la actividad biocontroladora de *Arthrobotrys* sp. y *Paecilomyces* sp. sobre *Meloidogyne javanica* in vitro y bajo condiciones de invernadero en crisantemo (*Dendranthema grandiflora* Anderson) Agronomía Colombiana, 23 (1): 91-101.
- Galper, S.L., Stirling, G.R. and Smith, J.L. 1995. Simple screening methods for assessing the predaceous activity of nematode trapping fungi. Nematologica 41: 130-140.
- Kumar, D. and Singh, K.P. 2005. Assessment of predacity and efficacy of *Arthrobotrys dactyloides* for biological control of root knot disease of tomato. J. Phytopathology. 154(1): 1-5.
- Persmark, L. and Nordbring-Hertz, B. 1997. Conidial trap formation of nematode-trapping fungi in soil and soil extracts. FEMS-Microbiol. Ecol. 22: 313-323.
- Stirling, G.R., Smith, L.J., Licastro, K.A. and Eden, L.M. 1998. Control of root knot nematode with formulation of nematode trapping fungus *Arthrobotrys dactyloides*. Biological Control 11: 224-230.



DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE MAÍZ Y CANAVALIA APLICADOS BAJO LABRANZA DE CONSERVACIÓN EN LA FRAILESCA, CHIAPAS, MÉXICO

Jaime López-Martínez^{1*}, Bernardo Villar-Sánchez¹, Andrés López-Ovando²

¹Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP; ²PSP

*Autor para correspondencia: lopez.jaime@inifap.gob.mx

Palabras clave. Tasas, desintegración, tiempo, productividad.

Introducción

En Chiapas se encuentran 15 regiones en donde se cultivan más de 650 mil hectáreas de maíz bajo condiciones de temporal. En La Frailesca, una de las regiones productoras de maíz más importante en Chiapas, en primavera-verano 2022 se reportó la siembra de 68,010 hectáreas y producción de 163,224 toneladas. (SIAP, 2022). El rendimiento (2.4 ton ha^{-1}) es el mayor en la entidad, se atribuye las altas dosis de fertilizante que aplica el productor, invirtiendo hasta el 50% del costo de producción del cultivo. (López *et al.*, 2018). Sin embargo, los suelos presentan una baja fertilidad condicionada por la acidez y bajo contenido de materia orgánica (MO). La quema de residuos de cosecha después del pastoreo extensivo de los esquilmos de maíz es una práctica común en la región; esta actividad está asociada al proceso de erosión y a la pérdida de fertilidad del suelo. Específicamente, López *et al.* (2019) señalan que el 94% de los suelos tiene un bajo contenido de MO y que la capacidad de almacenamiento de nutrientes depende del contenido de arcilla. Además, que el 79% de parcelas tienen menos de 25% de arcilla, bajo contenido de MO, la CIC es crítica ($<10 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$) y también está afectada por el pH ácido del suelo; que 59 y 58% de las parcelas requieren Ca y K, respectivamente. En La Frailesca, una de las regiones productoras de maíz más importante en Chiapas, el rendimiento promedio es de 2.4 ton ha^{-1} (SIAP, 2022) y es considerado el mejor en la entidad debido a la alta cantidad de fertilizante (especialmente nitrogenados) que aplica el productor, quien invierte en la aplicación de ese insumo hasta el 50% de los costos de producción. (López *et al.*, 2018). La quema de residuos de cosecha después del pastoreo extensivo de los esquilmos de maíz es una práctica que todavía hacen los productores; esta actividad está ligada al proceso de erosión y a la pérdida de fertilidad del suelo. López *et al.* (2019) mencionan que el 94% de los suelos tiene un bajo contenido de MO, pH ácido y que requieren tratamientos de Ca y K para elevar la CIC. Ante este panorama y aunado al incremento global del precio de los insumos agrícolas convencionales, es necesario implementar estrategias tecnológicas que contribuyan a hacer más eficiente la aplicación de fertilizantes, a restaurar la MO y a proteger el suelo de la erosión. El uso y manejo adecuados de rastrojo tiene muchas ventajas, como cobertera protege al suelo contra la erosión y puede aumentar el contenido de materia orgánica e incrementar la fertilidad de los suelos agrícolas (FAO, 2006). Por tanto, el manejo residuos de cosecha tiene un alto potencial en la producción sostenida de cultivos y su efecto en el mediano plazo podrá favorecer la conservación y restauración de las propiedades que se relacionan con la fertilidad y calidad del suelo. Conocer el tiempo que tardan los residuos en descomponerse es importante para entender los procesos de protección del suelo contra la erosión y las ventajas que pueden tener en el aporte y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Durante los ciclos 2022 y 2023 se estableció un experimento donde se evaluaron dosis de rastrojo de maíz y de canavalia, en el último año se registraron datos de descomposición de dichos residuos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la desintegración de residuos incorporados al suelo durante el ciclo del cultivo de maíz.

Materiales y Métodos

El ensayo se inició en verano de 2022 y se volvió a establecer en 2023 en la parcela de un productor cooperante que se localiza en la microcuenca Cuauhtémoc de la región Frailesca, Villaflores, Chiapas. La Frailesca tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media anual es de 24°C y la precipitación media anual de 1,200 mm. El tipo de suelo corresponde a un Cambisol ubicado en una terraza intermedia a una altura de 650 msnm. Resultados del análisis de laboratorio de una muestra compuesta tomada a 20 cm de profundidad indican que la textura es franca areno arcillosa, pH ácido (4.64), moderadamente alto en MO (2.87%), muy alto el contenido de P Bray (149 ppm), mediano el contenido de N-N03 (12.5 ppm), moderadamente alto en Al intercambiable (31.9%) y baja CIC ($5.21 \text{ me } 100 \text{ g}^{-1}$). Se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones y el arreglo de tratamientos

parcelas divididas; las parcelas grandes (PG) alojaron tres tipos de residuos (maíz, canavalia y la mezcla de ambos) y en las parcelas chicas (PCh) las dosis de residuos (0, 5 y 10 ton ha⁻¹). El tamaño de parcela experimental fue de 4 surcos de 6 m de largo separados 0.8 m, de parcela útil se tomaron los dos surcos centrales.

La siembra de maíz híbrido Pioneer 4082 se realizó el 27 de junio; la fertilización (140-46-00) se efectuó en dos aplicaciones: todo el P y la mitad del N a la siembra y el resto del N a los 45 días. Las fuentes de fertilizante, para el caso del Nitrógeno la Urea (46% N) y para Fósforo el DAP (18% N y 46% P₂O₅). Los residuos se aplicaron sobre la superficie del suelo, esto es, el experimento se manejó bajo el sistema de labranza de conservación. Por otra parte, durante el ciclo 2023 se tomaron datos de la variable descomposición de los residuos evaluados. El procedimiento de monitoreo de residuos consistió en medir por tratamiento cada 30 días (después de la siembra) el peso de campo de residuos en un tamaño de muestra de 1.0 por 0.8 metros (0.8 m²). Con el fin de llevar el peso de campo a peso de materia seca, se tomó una muestra de aproximadamente 200 g y se llevó al horno de secado (Lab-Line Model 3511 L-C Oven) durante 24 horas a 70 °C.

Resultados y Discusión

Los datos de campo de los residuos se transformaron a kg de materia seca (MS) por hectárea, dichos valores se ajustaron a un modelo exponencial con el fin de obtener la dinámica de la descomposición en el tiempo. En la figura 1 se pueden observar las líneas de tendencia de la descomposición de los tratamientos que incluyeron 10 y 5 ton ha⁻¹ de residuos de maíz. También se presentan las ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación (0.97 y 0.98) que resultaron del análisis estadístico de datos de las variables independiente (residuos) y dependiente (tiempo).

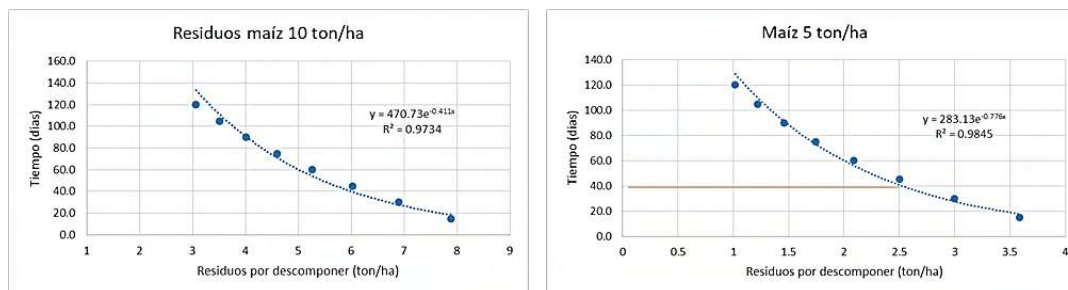


Figura 1. Línea de tendencia: descomposición de dosis de residuos de maíz en el tiempo. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2023.

La vida media es un parámetro que puede servir para estimar la tasa de descomposición de los residuos vegetales. Se entiende que la vida media es el tiempo que tarda la mitad del residuo en descomponerse. De esta manera, para que se descomponga el 50% de los residuos en el tratamiento de 10 ton ha⁻¹ de rastrojo se requieren 60 días; mientras que en el tratamiento de 5 ton ha⁻¹ deberán pasar 40 días para la descomposición de 2.5 ton ha⁻¹ de residuos.

Los resultados del análisis de correlación de los datos de descomposición de tratamientos de residuos de canavalia se pueden ver en la figura 2. De acuerdo con la línea de tendencia de la regresión, los periodos de tiempo estimados para que se descomponga la mitad de los residuos de canavalia son de 25 y de 31 días para los tratamientos de 10 y 5 ton ha⁻¹, respectivamente.

Al igual que en los casos anteriores, en la figura 3 se presentan las líneas de tendencia para los tratamientos de residuos de maíz-canavalia. En este caso, los periodos de tiempo estimados para que se descomponga la mitad de los residuos de maíz-canavalia son de 48 y de 51 días para los tratamientos de 10 y 5 ton ha⁻¹, respectivamente.

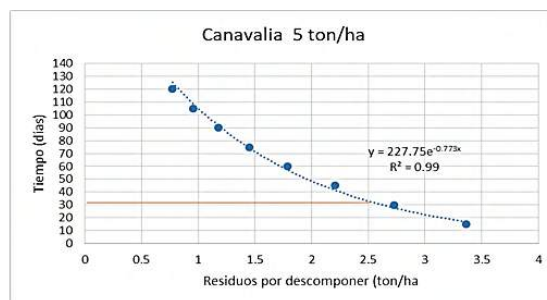
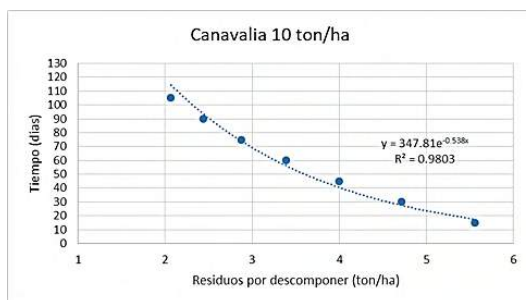


Figura 2. Línea de tendencia: descomposición de dosis de residuos de canavalia en el tiempo. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2023.

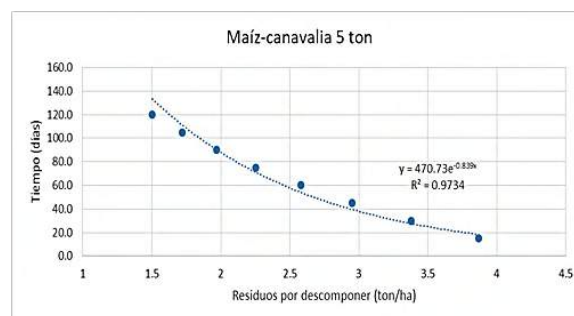
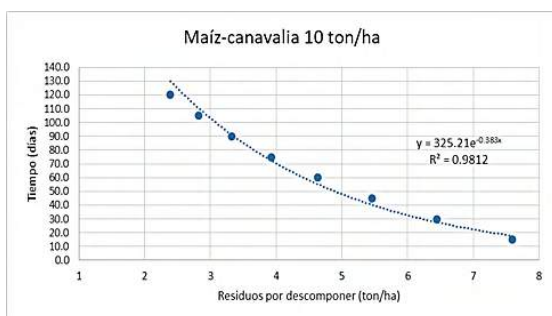


Figura 3. Línea de tendencia: descomposición de dosis de residuos de maíz-canavalia en el tiempo. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2023.

Finalmente, los valores de tasas de descomposición estimados para los tipos y dosis de residuos evaluados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tasa de descomposición de tipo y dosis de residuos. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2023.

Tratamiento		Tiempo (días)	Tasa de descomposición (kg día ⁻¹)
Tipo de residuos	Dosis (ton ha ⁻¹)		
Maíz	10	60	83.33
Maíz	5	40	62.50
Canavalia	10	25	200.00
Canavalia	5	31	80.65
Maíz-canavalia	10	48	104.17
Maíz-canavalia	5	51	49.02

Los residuos de 10 ton ha⁻¹ de canavalia tienen una tasa de 200 kg día⁻¹, lo cual significa que esta leguminosa se desintegra a mayor velocidad debido probablemente a la proliferación de meso y microorganismos estimulada por su baja relación C/N. Mientras que la menor tasa de descomposición (49 kg día⁻¹) se obtuvo con el tratamiento maíz-canavalia a una dosis de 5 ton ha⁻¹. La tasa de descomposición es un indicador que puede servir para explicar la respuesta del cultivo a los residuos vegetales aplicados, en este caso sobre la superficie del suelo. La velocidad con que se descomponen los residuos pudiera estar asociada con una mayor reserva de nutrientes disponibles en las etapas en que el cultivo tiene mayor demanda. Desde luego, es importante señalar que mantener la cobertura del suelo es esencial para proteger al suelo de la erosión hídrica mientras crecen las plantas y la cubierta del follaje alcanza al menos el 50%. Por esta razón, es esencial que los rastrojos aplicados se descompongan paulatinamente para que liberen nutrientes y formen materia orgánica. Se requiere, sobre todo en condiciones tropicales con suelos degradados y pobres en materia orgánica, entender que la relación C/N de los rastrojos de los

cultivos es fundamental como estrategia tecnológica para mitigar la erosión y el reciclado de nutrientes. Son necesarios estudios más completos y detallados sobre los procesos de desintegración de residuos en función de la cantidad y calidad de la macro, meso y micro biota del suelo en los diversos sistemas productivos y de usos de residuos de cosecha que manejan los productores.

Conclusiones

Se generaron los valores de tasa de descomposición de residuos mediante análisis de regresión lineal y tomando como criterio el parámetro vida útil de la materia vegetal; los residuos de 10 ton ha⁻¹ canavalia tienen una tasa de 200 kg día⁻¹, lo cual significa que esta leguminosa se desintegra a mayor velocidad debido probablemente a la proliferación de meso y microorganismos estimulada por su baja relación C/N. Fortalecer las líneas de investigación que en el mediano plazo generen tecnologías sobre el manejo combinado de rastrojos o residuos de cosecha que proporcionen a los microorganismos un ambiente idóneo para que realicen su labor y, así, brindar a los productores alternativas que coadyuven a regenerar la calidad y salud de sus suelos.

Agradecimiento y fuente financiadora

Se agradece al INIFAP por la aportación de los recursos financieros para realizar el proyecto a través de fondos fiscales 2021.

Referencias bibliográficas

FAO, 2006. Manejo de Rastrojos y Labranza Conservacionista. Organización de las Naciones Unidas para agricultura y la alimentación. FAO. Disponible en: <http://teca.fao.org/es/read/3785> Ingreso: Oct 15 2017.

López B. W., Reynoso S. R., López M. J., Camas G. R., Tasistro A. 2018. Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la región Frailesca, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol 9 (1). Pp. 65-79.

López Báez, Walter, Roberto Reynoso Santos, Jaime López Martínez, Bernardo Villar Sánchez, Robertony Camas Gómez, y Jorge Octavio García Santiago. 2019. Caracterización fisicoquímica de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 10 (4).

SIAP. 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola Consultado en: <https://www.gob.mx/siap/>

MICRONUTRIMENTOS EN SUELOS AGRÍCOLAS DE ZACUALPAN, ESTADO DE MÉXICO

Martín Solís-Martínez^{1*}, Daniel Damián-López¹, Juan Antonio Chamú-Baranda¹, Rogelio Carrillo-González², Norma Ávila-Alistac³, Lidia Velasco-Velasco⁴

¹Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero; ²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo; ³Departamento de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad Autónoma de Occidente;

⁴INIFAP, CE. Iguala, Guerrero

*Autor para correspondencia: martin.solis@csaegro.edu.mx

Palabras clave. Cobre, hierro, manganeso.

Introducción

El término 210ontaminación210os se utiliza para denominar específicamente a aquellos nutrientes que son esenciales para todos los cultivos, cumplen funciones específicas en los procesos bioquímicos celulares y no son reemplazados en sus funciones por otros elementos. Los 210ontaminación210os son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 $\mu\text{g g}^{-1}$ de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol, las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin embargo, otros elementos minerales, son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones. Las concentraciones de estos elementos son más bajas, en comparación con los macronutrientes en los tejidos de las plantas, pero con implicaciones importantes en el crecimiento y metabolismo de las plantas (Kyrkby y Römheld, 2007). No obstante, el uso excesivo de fertilizantes químicos como macro y micro, puede generar repercusiones en la salud de los suelos agrícolas, ocasionando un desgaste irreversible. Por ello, es pertinente hacer estudios pertinentes de 210ontaminación210os para una nutrición sustentable. En Zacualpan, Estado de México, no se cuenta con estudios sobre el contenido de 210ontaminación210os disponibles en suelo agrícolas, aplicando excesivamente fertilizantes químicos ocasionando 210ontaminación al suelo y gastos innecesarios a los productores.

Objetivo

Evaluar el contenido de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn) en suelos agrícolas de Zacualpan, Estado de México, y determinar la relación de estos elementos con algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

Materiales y Métodos

En Zacualpan, Estado de México (18° 43' 17" y 18° 51' 07" latitud norte; 99° 49' 30" y 99° 56' 56" longitud oeste) se colectaron 33 muestras compuestas de suelo de 2 kg aproximadamente (figura 1) en los meses de enero y febrero de 2020, utilizando el método del zig-zag, a una profundidad de 20 cm (Damián, 2020). Una muestra compuesta se formó con ocho muestras simples, considerando características de los suelos como color, pendiente, textura al tacto, tipo y manejo del cultivo. Los principales cultivos establecidos en los suelos muestreados fueron maíz, frijol, avena, papa y cebada. Las muestras se etiquetaron y trasladaron al Laboratorio de Química de Suelos y Ambiental del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México para el análisis de Micronutrientes.



<https://congresosuelo.inifap.gob.mx>

también está muy influenciada por el valor de Ph, al aumentar el Ph, aumenta la adsorción del Cu en la fracción arcilla (Rolón *et al.*, 2022), sin embargo, en el presente estudio no se presentó este efecto.

Los valores de Fe extractable en los suelos en estudio variaron de 8.8 a 153.2 mg kg⁻¹. De acuerdo con la clasificación que se muestra en la NOM-021-RECNAT-2000 (2002), las concentraciones de este elemento se consideran adecuadas, sin problemas de toxicidad para los cultivos. Estos niveles pueden ser originados por el Ph moderadamente ácido de los suelos (5.11 – 6.58). Librado-De la Cruz (2018), en suelos de Coatepec Harinas, Estado de México, reportó que el 79.5% de éstos presentaron niveles adecuados de Fe, 17.2% fueron deficientes y 6.9% marginales; el contenido de hierro en el estudio varió de 0.84 ppm (deficiente) hasta 107.4 ppm (adecuado).

La concentración de manganeso resultó adecuada en el 100% de las muestras de suelo analizadas. Los valores variaron de 11.6 a 117.0 mg kg⁻¹. El efecto tóxico del Mn generalmente ocurre a Ph del suelo inferior a 5.5; sin embargo, a pesar de tener Ph's con este valor en el presente estudio, no se presentaron concentraciones que se clasificaran como tóxicas. Godinillo (2021), en un estudio desarrollado en tres municipios de Guerrero (Apango, Tixtla y Zumpango del Río) reportó el 100% de las muestras de suelo con niveles adecuados de manganeso, el valor más alto fue de 67.72 mg kg⁻¹ y el más bajo de 2.09 mg kg⁻¹, valores muy similares a los reportados en el presente estudio.

Respecto al micronutriento zinc, el valor más alto fue de 229.0 mg kg⁻¹ y el valor más bajo de 1.40 mg kg⁻¹. De acuerdo con la clasificación que presenta la NOM-021-RECNAC-2000 (2002), todas las muestras de suelo se clasificaron como adecuadas en el contenido de este elemento. Librado-De la Cruz (2018), detectó deficiencia de Zn en los suelos de Coatepec Harinas, Estado de México, 17.2% de las muestras resultaron marginales y 20.7% deficientes; el contenido varió de 0.090 ppm (deficiente) hasta 2.340 ppm (adecuado). La disponibilidad de Zn se reduce al incrementar el Ph, esto es muy notorio en particular después de un Ph>7.4, debido a un incremento en la capacidad de adsorción, presencia de formas hidrolizadas de Zn y una posible adsorción por el carbonato de calcio. Por esta razón, los suelos alcalinos y calcáreos tienden a presentar con mayor frecuencia deficiencias de Zn. La textura y materia orgánica son otros de los factores que afectan la biodisponibilidad del Zn, al permanecer inmovilizado en la fase sólida del suelo, tanto en las partículas minerales como en las orgánicas. De acuerdo con estas afirmaciones, los suelos estudiados pueden tener problemas de solubilidad y biodisponibilidad de este elemento ya que, aunque la mayoría de los suelos están clasificados como moderadamente ácidos, existe un 24.24% con Ph neutro, además, la mayoría de los suelos son ricos en materia orgánica y en cuanto a textura 15.2% son suelos arcillosos (Damián, 2020).

El análisis de correlación lineal simple entre el pH y el contenido de Fe fue negativo y altamente significativo (-0.642**), lo cual indica que al incrementar el Ph del suelo la disponibilidad de este elemento disminuye. La solubilidad del Fe inorgánico es altamente dependiente del Ph del suelo. El Fe³⁺ es insoluble en un Ph neutro y en un Ph alto, y por lo tanto no es disponible para las plantas en los suelos alcalinos y en los suelos calcáreos.

De forma general, todos los suelos analizados presentan concentraciones adecuadas de 21 micronutrientos. Incluso, con valores muy superiores a los que indica la Norma Oficial Mexicana. Lo anterior puede ser ocasionado por el tipo de minerales presente en los suelos, los fertilizantes aplicados y el Ph que contribuye en la solubilidad de los elementos.

Conclusiones

Todos los suelos analizados presentaron niveles adecuados de micronutrientos. Con excepción del pH, que presentó una relación inversamente proporcional con el contenido de Fe, los contenidos de arcilla y materia orgánica fueron factores que no influyeron en el contenido de los elementos.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Química de Suelos y Ambiental del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, y al Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero.

Referencias bibliográficas

- Damián, L. A. (2020). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos agrícolas de Zacualpan, Estado de México. Tesis de licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero, México.
- Godinillo, V. D. J. (2021). Micronutrientes y metales pesados en suelos cultivados con agave mezcalero (*Agave cupreata* Trel. & Berger) Tesis de licenciatura. Centro de Estudios Profesionales. Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. Cocula, Guerrero, México.
- Kyrkby, E. A. y V. Römhed, (2007). Micronutrients in plant physiology; functions, uptake and mobility. Proceedings 543. The International Fertilizer Society. United Kingdom.
- Lindsay, W.L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. Soil Science. Soil Science Society of America Journal.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 (2002), Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.



EROSIÓN POTENCIAL DEL SUELO Y PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN EN LA MICROCUENCA GUAXCAMÁ, VILLA JUÁREZ, S.L.P

Ximena Guadalupe Garza-Martínez¹, Catarina Loredó-Osti^{1*}, Sergio Beltrán-López², Mauricio Jesús Romero-Méndez¹, Marcos Casiano-Domínguez¹

¹Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

²INIFAP, CE San Luis

*Autor para correspondencia: catarina.loredo@uaslp.mx

Palabras clave. Riesgo a la erosión, uso potencial, suelo.

Introducción

El suelo es un cuerpo natural que consiste en capas (horizontes) compuestas de material mineral meteorizado, materia orgánica, aire y agua. Es el producto final de la influencia del tiempo, el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), sobre el material parental (rocas y minerales originarios); como resultado de lo anterior, el suelo difiere del material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (FAO, 2024). Uno de los principales procesos de degradación del suelo es la erosión hídrica la cual está ligada al escurrimiento superficial (Loredó *et al.*, 2007); el escurrimiento se refiere a la porción de lluvia que llega a la superficie de la tierra y que, al no infiltrarse, fluye sobre terrenos con pendiente. La erosión hídrica se puede estimar con modelos empíricos de predicción, como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) la cual fue desarrollada para predecir pérdidas de suelo promedio anual por hectárea, debidas a erosión laminar y en canalillos, en áreas agrícolas (Wischmeier y Smith, 1978) y se encuentra descrita en Figueroa *et al.* (1991) de acuerdo con los siguientes factores: A = Pérdida de suelo (ton/ha/año); R=Erosividad de la lluvia (Mega Joules mm/ha hr año); K=Erosionabilidad del suelo (ton/hr/MJ mm); L=Factor por longitud de pendiente; S=Factor por grado de pendiente; C=Factor por cubierta vegetal; y, P=Factor por prácticas de manejo (adimensional). El objetivo de este estudio fue caracterizar la hidrología y riesgo a la erosión de la microcuenca Guaxcamá, Villa Juárez y realizar recomendaciones para la conservación del suelo.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se realizó en la microcuenca de Guaxcamá, localizada en el municipio de Villa de Juárez, del estado de San Luis Potosí. La microcuenca se ubicó y delimitó usando la carta topográfica de INEGI escala 1:50000.

Hidrología. Para la caracterización de los rasgos hidrológicos, se usó la aplicación web de SIATL v4 (Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrológicas). Las coordenadas del punto de salida de la corriente principal de la microcuenca son de 22° 26' 39" LN y 100° 19' 63" LW, con una elevación de 1095 m.

Vegetación, uso actual y uso potencial. Se caracterizaron los recursos naturales de la microcuenca mediante la digitalización de la cartografía de INEGI, escala 1:50000 sobre edafología, uso actual del suelo y vegetación, así como uso potencial.

Evaluación de la erosión potencial. Con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo y utilizando un sistema de información geográfica, se estimó el riesgo de la erosión potencial en la microcuenca. Una vez estimada la pérdida potencial del suelo, se identificaron prácticas de conservación, con el propósito de conocer cuáles son las adecuadas para reducir la pérdida del suelo.

Resultados y Discusión

La microcuenca tiene una superficie de 8,593 ha y cuenta con 777 habitantes. De acuerdo a Medina *et al.*, 2005, la temperatura y precipitación media anual son 19.7 °C y 566.2 mm respectivamente.

Hidrología. La microcuenca de Guaxcamá pertenece a la Región hidrológica 26 (RH-26) "El Pánuco". Para este trabajo en específico se caracterizó solamente una de las dos corrientes que se localizan en la microcuenca, la cual corresponde a la corriente principal, denominada Arroyo el Pedregoso, la cual cuenta con un área de drenaje de 41.74 km² y sus características hidrológicas son las siguientes: índice de forma: 0.1366; coeficiente de compacidad: 1.7; relación de elongación: 0.417; relación de bifurcación: 3.412 y

densidad de corriente: 3.57; es una cuenca asimétrica, poco torrencial; el tipo de drenaje es dendrítico. La relación de bifurcación promedio es de 3.41 lo cual significa que se requieren en promedio 3.41 corrientes de un orden para formar una corriente del orden inmediato siguiente. Es una cuenca de 5° orden.

Edafología, Uso Actual y Uso Potencial. El tipo de suelo que ocupa la mayor parte de la superficie es el tipo Vertisol pélico, le siguen los tipos Leptosol asociado a Rendzina, Solonchak y Faeozem (cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución de unidades de suelo en la microcuenca Guaxcamá.

Unidad de suelo	Descripción	Área (hectáreas)	%
Hc	Faeozem calcárico	694.26	8.08
I+E	Leptosol asociado a Rendzina	2,487.17	28.96
I+Hh	Leptosol asociado a Faeozem háplico	351.32	4.09
Vp	Vertisol pélico	3,228.36	37.59
Zg-n	Solonchak gléyico natrico	741.44	8.65
Zo-n	Solonchak ortico natrico	1,085.94	12.63
Superficie total		8,588.49	100.00

Con relación al uso del suelo y vegetación, la agricultura de temporal-riego anual ocupa 23.26% seguida de vegetación del tipo matorral subinerme y en tercer lugar el mezquital. Al considerar el uso potencial del suelo se observa que 60% tiene potencial para uso agrícola, de los cuales 10% corresponden a clase II limitada por profundidad de suelo, 24% son clase III y 26% son suelos clase IV, en ambas clases los principales factores limitantes son la presencia de sales y sodio en el suelo, así como el clima (figura 1).

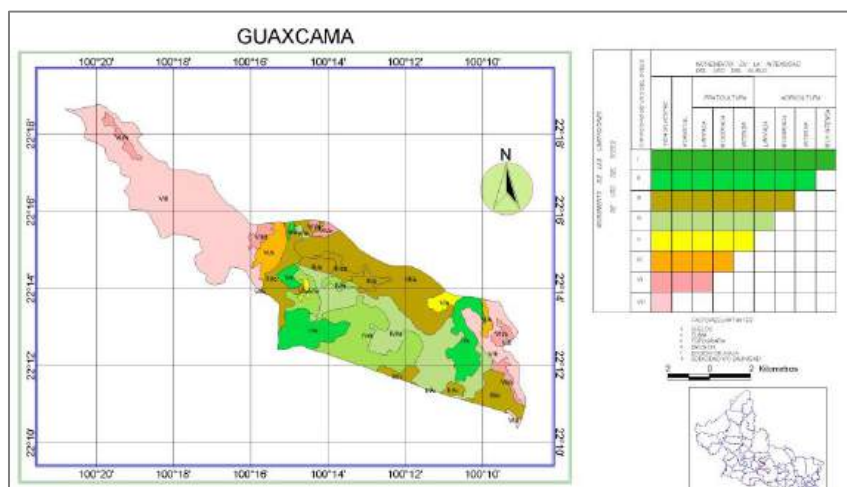


Figura 1. Uso potencial del suelo en la microcuenca Guaxcamá (Adaptado de la digitalización de la carta F14A76 de uso potencial del suelo, escala 1:50000 de INEGI).

Erosión Potencial. La erosión potencial representa el máximo riesgo de pérdida de suelo, que ocurriría solo en ausencia total de cobertura vegetal y cuando no existiesen prácticas de manejo y conservación. La erosión potencial predominante en la microcuenca es la clase ligera con una posible pérdida de suelo anual menor de 10 ton ha⁻¹; en segundo lugar, se encuentra la erosión muy alta con una pérdida potencial mayor de 200 ton ha⁻¹ año⁻¹ (cuadro 2; figura 2).

Recomendación de Prácticas de Conservación. En la microcuenca Guaxcamá se revisaron las condiciones predominantes para realizar la propuesta de manejo. Como se mencionó, la erosión actual predominante es de clase ligera (0-10 ton/ha) afectando una superficie de 6,220 ha, donde el uso potencial va de las clases II a la IV apropiadas para uso agrícola. El uso actual indica que se destinan para la agricultura de temporal y riego una superficie de 1997.65 ha donde el tipo de suelo dominante es Vertisol pélico y la pendiente media de 2.8%. Por lo cual las prácticas recomendables son: labranza de conservación, adición de materia orgánica, cultivo en fajas, rotación de cultivos y cultivos de cobertera. Las prácticas mecánicas

como las terrazas de formación sucesiva no son recomendables. También la agroforestería ha sido probada con éxito en esa zona; incluye todos los métodos de uso de la tierra con la combinación de árboles y arbustos, pastos y cultivos integrando actividades ganaderas. El objetivo básico de estos sistemas de producción es proporcionar estabilidad ecológica y beneficios sostenibles a los productores. El INIFAP desarrolló varios métodos para el manejo integrado de los bosques de mezquite que incluyen el manejo silvopastoril con el establecimiento de cultivos forrajeros (forraje introducido) entre el dosel del mezquite, incluido el pasto buffel (*Pennisetum ciliare*) y costilla de vaca (*Atriplex canescens*), aprovechando las vainas de mezquite y pasto nativo (Arredondo *et al.*, 2002). Otro componente es la abeja (*Apis mellifera*) que utiliza miel de flores de mezquite y arbustos nativos. En las tierras no agrícolas es recomendable su aprovechamiento sostenible; en las zonas de matorral y mezquital establecer pastoreo controlado, así como el aprovechamiento del mezquite, ya que la zona tiene organizaciones rurales que trabajan este recurso y lo aprovechan para la fabricación de muebles y la obtención de carbón.

Cuadro 2. Distribución de la erosión potencial en la microcuenca Guaxcamá.

Grado de erosión/pérdida	Superficie (ha)	%
Ligera (menos de 10 ton/ha/año)	5408.8	62.9
Moderada (10 - 50 ton/ha/año)	639.0	7.4
Alta (50 - 200 ton/ha/año)	806.8	9.4
Muy alta (> 200 ton/ha/año)	1738.8	20.2
Superficie Total	8593.3	100.0

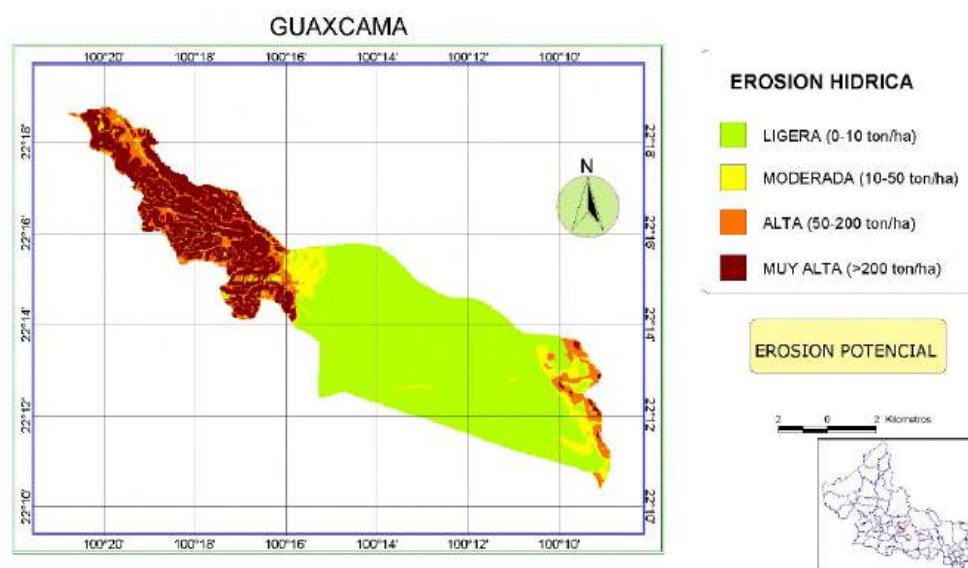


Figura 2. Distribución de la erosión potencial en la microcuenca Guaxcamá.

Conclusiones

El uso potencial del suelo en la mayor parte de la microcuenca Guaxcamá es para actividades agrícolas, donde la pendiente es menor a 3%; limitado en algunos casos por profundidad de suelo o salinidad y/o sodicidad. La erosión potencial predominante es la de clase ligera por lo cual se recomienda realizar acciones para el manejo sostenible del suelo. En esas zonas, las prácticas mecánicas, como las terrazas de formación sucesiva no son recomendables, dada la pendiente del terreno menor al 3%. En las tierras con pendiente y un riesgo potencial de erosión de moderado a alto, es recomendable la aplicación de

técnicas agroforestales para el manejo del mezquite que es uno de los recursos que actualmente aprovechan los productores.

Referencias bibliográficas

Arredondo Gómez, A., Gámez Vázquez, H.G., Beltrán López, S., Luna Vázquez, J. y Hernández Alatorre, J.A. 2002. Aprovechamiento de bosque de mezquite con sistema silvopastoril -apícola en la llanura de Rioverde, S. L. San Luis Potosí: INIFAP. Campo Experimental San Luis. Folleto Técnico # 15.

FAO. 2024. Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo. Consultado en: FAO: <https://www.fao.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/>

Figuerola S. B., Amante O. A., Cortés T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E., Rodríguez O. J. M., Morales F. F. J. 1991. Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. SARH. México. 150 p.

Loredo Osti, C., Beltrán López, S., Moreno Sánchez, F. y Casiano Domínguez, M. 2007. Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí. San Luis Potosí, S.L.P. México: Libro Técnico No. 3. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis.

Medina G.G., Díaz P.G., Loredo O. C., Serrano A. V., Cano G. M., 2005. Estadísticas climatológicas básicas del Estado de San Luis Potosí. Periodo 1961-2001. Libro Técnico No 2. INIFAP-CIRNE-Campo Exp. San Luis. San Luis Potosí, S.L.P. México. 265 - 266 p.





Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

CP Colegio de
Postgraduados



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tema

agrobiodiversidad



4to Congreso
INTERAMERICANO
DE AGUA SUELO Y
AGROBIODIVERSIDAD
Cd. de México, México | 6-10 de agosto 2023

VALORACIÓN DE PROGENIES F₁ DE JITOMATE NATIVO Y SUS PROGENITORES

Jaime Canul-Ku^{1*}, Edwin Javier Barrios-Gómez¹, Enrique González-Pérez², Sandra Eloísa Rangel-Estrada¹, Eleodoro Hernández-Meneses³

¹INIFAP, CIRPAS, CE Zacatepec. ²CIRCE, CE Bajío. ³Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: canul.jaime@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Solanum lycopersicum*, heterosis, rendimiento.

Introducción

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una hortaliza muy popular en el mundo. Su cultivo y consumo, solamente es superado por la papa. La producción mundial de jitomate en 2022 alcanzó 192 millones de toneladas en 5.4 millones de hectáreas. Los principales países productores son China y la India. China es el principal productor y consumidor de jitomate con 67 millones de toneladas; mientras que, India en una superficie de 848,560 hectáreas la producción fue de 2 millones de toneladas en 2022-2023. La participación de México en 2022 fue la cosecha de fruto en 49,196 ha, con una producción de 3.46 millones de toneladas, rendimiento promedio de 69 t ha⁻¹ y un consumo nacional de 13.4 kg/año por persona.

México es considerado como centro de domesticación y de diversificación del jitomate. El jitomate nativo de nuestro país posee propiedades únicas de sabor, forma, color y contenido nutricional. Se encuentra ampliamente distribuido en todo el territorio nacional, pero principalmente en el centro y sur del país (Canul-Ku *et al.*, 2022). El jitomate mexicano fue domesticando a partir de su llegada proveniente de la Región Andina, que ahora abarca parte de Chile, Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú. Se considera como una gran aportación para la alimentación de la población mundial. Es apreciado en la gastronomía local y nacional por poseer propiedades organolépticas y nutricionales únicas para la alimentación humana. El fruto tiene múltiples usos tanto en consumo directo (salsas, ingrediente de comidas típicas, ensaladas, entre otras) como procesado (condimento, puré). Contiene múltiples compuestos nutricionales como licopeno, vitamina A, vitamina C, fibras, azúcares, minerales, entre otros, que se han utilizado con fines medicinales para padecimientos infecciosos y degenerativos, por ejemplo, obesidad, hipertensión, diabetes, cáncer, por citar algunos; así como, un envejecimiento acelerado de la población.

El material nativo de México presenta abundante variación genética, la cual se refleja en sus distintos colores, formas y tamaños de fruto, esto representa la materia base para generar nuevas combinaciones alélicas las cuales se traducirán en variedades modernas cuyas características serán únicas, con cierta tolerancia a enfermedades emergentes y más virulentas, aumentar los compuestos volátiles, el contenido de sólidos solubles, la firmeza, el rendimiento y sus componentes. Sin embargo, en la actualidad México a pesar de su riqueza genética tiene carencia de variedades e híbridos de origen nacional; las que se siembran han sido generadas en el extranjero.

Para contribuir a la reducción de la carencia de variedades mexicanas de jitomate el Programa de Hortalizas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) está desarrollando la mejora genética, empleando como base genética el germoplasma nativo nacional, que estén adaptados a las condiciones ambientales de producción en las distintas regiones (González-Pérez *et al.*, 2021). Las dos principales estrategias de mejoramiento genético son la selección y la hibridación. Después de obtener la progenie híbrida producto de la cruce manual será importante su evaluación con fines de identificar los genotipos superiores, aquellos que reúnen lo que se busca, y eliminar en fases tempranas los individuos inferiores con fenotipo indeseable. Es importante considerar que la heterosis se refiere al fenómeno en el que los híbridos muestran mayor vigor y adaptabilidad en comparación con sus progenitores (Tagiakas *et al.*, 2025). Además, de que el mejoramiento genético del jitomate inició del tamaño pequeño de fruto hasta llegar al que actualmente conocemos, el cual se consideró como criterio base para el incremento del rendimiento.

Objetivo

El objetivo de esta investigación fue valorar el comportamiento agronómico de características de fruto y rendimiento entre híbridos y progenitores de jitomates nativos en condiciones ambientales de Zacatepec, Morelos.

Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se realizó en el Campo Experimental Zacatepec del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) bajo condiciones protegidas. Se utilizó un invernadero modificado con techo plástico y paredes laterales cubiertas por malla antiáfidos. El material genético consistió de un progenitor masculino y tres progenitores femeninos, así como sus respectivas generaciones F_1 . Los progenitores se seleccionaron por su procedencia geográfica distante y por las características fenotípicas del fruto, principalmente. El progenitor masculino fue una población con fruto tipo cherry (P1) recolectada en Zozocolco de Hidalgo, Veracruz. Los progenitores femeninos fueron: población recolectada en Altepexi, Puebla con forma de fruto tipo chino criollo (P2); tomate con fruto tipo medio riñón obtenido en Dzitbalché, Campeche (P3) y población con fruto tipo medio saladette recolectada en Tlacolula, Oaxaca (P4). Los híbridos se formaron en 2019 mediante cruzas manuales (Canul-Ku *et al.*, 2023), las cuales se realizaron en los primeros días de noviembre.

La valoración se llevó a cabo bajo un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, la unidad experimental constó de ocho plantas establecidas en macetas de plástico de 30.48 cm de diámetro y 24 cm de altura. La siembra de semillas se realizó el 11 de agosto de 2021 en charolas de poliestireno de 50 cavidades con sustrato comercial Sunshine Mix® No. 3. El trasplante se realizó en la etapa de cuarta hoja verdadera. El manejo del cultivo fue en base al paquete tecnológico generado por el INIFAP.

Las variables evaluadas fueron tomadas de cinco plantas con competencia completa por repetición. En el primero y segundo racimo se midieron el diámetro polar (DP, cm) y ecuatorial (DE, cm) de dos frutos por planta y se registró el peso (PF, g). También se documentó el número de frutos (NF) por racimo. El rendimiento por planta (g) se consideró como el peso total de frutos en el primero y segundo racimo. Con esta información se realizó análisis de varianza y comparación de medias a través de Tukey ($P \leq 0.05$); además, se estimó heterosis con respecto al promedio de los progenitores.

Resultados y Discusión

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.01$) en todos los caracteres evaluados. Esto es indicativo de que existió variabilidad entre progenitores y sus progenies híbridas, por lo tanto, se deduce que el cruzamiento manual realizado entre los progenitores nativos de jitomate dio origen a genotipos con características contrastantes. Este resultado representa una oportunidad para la generación de híbridos y variedades con fines de contribuir con material de origen mexicano. Valencia-Juárez *et al.* (2024) mencionan que la variación morfológica encontrada en el jitomate mexicano y las características con mayores valores de selección identificadas en el mismo trabajo pueden ser valiosas para optimizar el proceso de mejoramiento genético.

El mayor número de frutos producidos en el primer racimo fue en la progenie P2XP1, P3XP1 y el progenitor P1. Mientras que, en el segundo racimo en las tres progenies junto con el P1 tuvieron la mayor cantidad de frutos. En el primer racimo los parentales P2 y P3 exhibieron frutos con el mayor diámetro ecuatorial y en el segundo racimo fue el parental P3. El mayor diámetro polar lo presentó el parental P2 en ambos racimos. Las tres progenies produjeron frutos de tamaño intermedio; mientras que, el parental P1 y P4XP1 mostraron el menor tamaño. En peso de fruto, los parentales P2 y P3 mostraron superioridad en ambos racimos. En cambio, los otros dos parentales P1 y P4 tuvieron el menor peso, pero estadísticamente similar a los tres híbridos. El mayor rendimiento de fruto se presentó en los híbridos de los cruzamientos P2XP1 y P3XP1, pero estadísticamente similar al parental P3. El menor rendimiento lo tuvo el parental P4 (cuadro 1).

La heterosis con respecto al progenitor medio en las características evaluadas varió de -78.68 a 141.71 %. En número de frutos y rendimiento de frutos se determinó heterosis positiva y en peso de frutos, diámetro ecuatorial y diámetro polar del fruto heterosis negativa. En la progenie P2XP1 se presentó alta heterosis en número de frutos y rendimiento de frutos. Estos resultados infieren que el menor tamaño y peso de los frutos en los híbridos con respecto al progenitor medio probablemente hubo efecto dominante del parental masculino P1 con frutos de tamaño pequeño. Con el uso de estos progenitores evaluados, es factible mejorar el carácter número de frutos por planta, pero se tiene dificultad para incrementar el tamaño y peso de dichos frutos.

Cuadro 1. Comparación de medias de caracteres evaluados en cuatro progenitores de jitomate y sus tres progenies F₁.

Variables	P1	P2	P3	P4	P2XP1	P3XP1	P4XP1
NF1	8.88 ab	2.33 c	4.5 c	2.88 c	11.40 a	9.7 a	5.22 bc
NF2	12.70 a	2.40 c	4.40 bc	2.90 c	11.40 ab	12.30 a	11.50 ab
DE1	17.51 c	57.95 a	59.54 a	22.77 bc	23.34 bc	24.36 b	19.81 bc
DE2	16.70 e	56.06 b	60.73 a	24.41 cd	25.51 cd	27.68 c	21.02 de
DP1	16.64 e	62.20 a	39.43 b	22.08 d	27.64 c	22.01 d	19.70 de
DP2	18.54 f	63.98 a	39.30 b	23.01 de	28.20 c	25.04 d	20.70 ef
PF1	4.59 b	110.25 a	98.98 a	9.58 b	14.85 b	11.04 b	6.30 b
PF2	5.17 b	106.98 a	95.68 a	11.01 b	15.07 b	12.51 b	6.50 b
Rendimiento	304.53 cd	270.19 cd	545.35 abc	206.51 d	694.59 a	630.14 ab	393.31 bcd

*Valores con la misma letra dentro de cada fila son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

Conclusiones

La valoración efectuada determinó amplia variación genética entre los progenitores evaluados para caracteres de importancia agronómica como rendimiento, peso, número y tamaño de frutos. Mientras que, los híbridos F₁ producto de cruce manual exhibieron efectos de heterosis positivos para rendimiento y número de frutos, así como una respuesta intermedia respecto a sus progenitores. Esto demuestra la factibilidad para explotar dicha variación y vigor híbrido con la finalidad de incrementar la producción de jitomate nativo mediante el mejoramiento genético clásico, contribuyendo de esta forma a satisfacer la demanda nacional con variedades adaptadas a las condiciones ambientales donde los productores de nuestro país cultivan esta hortaliza.

Agradecimientos

Los autores agradecen ampliamente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la aportación económica mediante fondos fiscales para llevar a cabo el mejoramiento genético del jitomate nativo.

Fuente financiadora

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

Referencias bibliográficas

- Canul-Ku J, González-Pérez E, Barrios-Gómez EJ, Pons-Hernández JL, Rangel-Estrada SE (2022) Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnía Mexicana* 45(1): 23-23.
- Canul-Ku J, Morán-Girón D, Barrios-Gómez EJ, Hernández-Meneses E, Rangel-Estrada SE (2023) Cruza manual en tomate nativo (*Solanum lycopersicum* L.) de México como base para su mejora genética. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research* 6(3): 2261-2272.
- González-Pérez E, Ramírez-Meraz M, Canul-Ku J, Flores-López R, Macías-Valdez LM (2021) Aportaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias al mejoramiento genético de hortalizas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 25(esp35): 1-13. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i25.2802>.
- Tagiakas, R., Vardaki, E., Katsanoulas, E., Kostoula, S., Mavromatis, A., Xynias, I., Avdikos, I.D. 2025. Exploring the benefits of Greek tomato landraces for development of high yield and quality hybrids in organic farming systems. *Horticulturae* 11, 296. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11030296>
- Valencia-Juárez, M.C., González-Pérez, E., Villalobos-Reyes, S., Núñez-Colín, C.A., Canul-Ku, J., Anaya-López, J.L., Chiquito-Almanza, E., Yáñez-López, R. 2024. Agromorphological evaluation of elite lines of native tomato (*Solanum lycopersicum* L.) from central and southern Mexico. *Agronomy* 14,2829. <https://doi.org/10.3390/agronomy14122829>

CONSERVACIÓN *IN VIVO* DE ACCESIONES DE NOCHEBUENA POR EL INIFAP

Jaime Canul-Ku^{1*}, Edwin Javier Barrios-Gómez¹, Faustino García-Pérez¹, Sandra Eloísa Rangel-Estrada¹,
Alejandro Pérez-Rosales¹

¹INIFAP, CIRPAS. CE Zacatepec

*Autor para correspondencia: canul.jaime@inifap.gob.mx

Palabras clave. Germoplasma, descriptor, variación.

Introducción

El cambio climático ya es una realidad. Existen varias evidencias que muestran sus efectos. Estos pueden ser tan drásticos como son: sequías, inundaciones, altas temperaturas, heladas tempranas, entre otros estreses abióticos y bióticos. Ante esta situación, la actividad agrícola es cada vez más sensible y vulnerable a los efectos del cambio climático. Se pueden presentar pérdida de las cosechas y reducción de la producción animal, forestal y acuícola, presencia de nuevas plagas y enfermedades más virulentas y mayores dificultades para su control.

México es considerado uno de los países megadiversos del planeta, por consiguiente, también es uno de los países más amenazados, en pérdida de biodiversidad y degradación de sus recursos naturales. El país aloja un número elevado de especies nativas, endémicas y silvestres tanto de especies comestibles y no comestibles. Antes que ocurra la pérdida de biodiversidad es fundamental su resguardo en lugares apropiados como son los bancos de germoplasma. Estos resguardan material genético de interés para la humanidad. Un banco de germoplasma se define como un sitio, espacio o depósito de recursos fitogenéticos. Su principal función es resguardar durante periodos largos el germoplasma. Los cuales representan la materia prima para la generación de nueva variación genética. Será primordial retomar los apoyos para la conformación, mantenimiento y conservación de estos espacios

Bajo esta situación existe la necesidad de conservar la diversidad de especies que posee México. Una de las alternativas es albergar las plantas en bancos de germoplasma. Este lugar o espacio debe tener determinadas condiciones para conservar y mantener el germoplasma en forma sexual o asexual. No obstante, existen otras formas de cómo conservar el recurso vegetal, por ejemplo, en forma de planta viva. Tal como es el caso de la nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch), también como flor de pascua o la Cueltaxochitl (Canul *et al.*, 2023). Las plantas ornamentales no son especies que producen estructuras comestibles, pero tienen alta importancia en México en el sector agrícola. Esto radica en el aspecto cultural, estético, ambiental, social y sobre todo en lo económico. El estado de Morelos se distingue por su producción de diferentes especies ornamentales. Entre los cultivos principales sobresale la nochebuena.

El centro de origen de *Euphorbia pulcherrima* son los estados de Guerrero y Morelos (Canul *et al.*, 2013). Su principal uso es como planta de ornato. Se emplea en la decoración de espacios de interior y exterior durante la temporada de navidad. En México, la demanda anual varía entre 20 y 30 millones de plantas, en tamaños de contenedores que varían desde tres pulgadas hasta doce. En el periodo comprendido de noviembre hasta mediados de diciembre se comercializa todo el producto, el cual genera alrededor de 718 millones 372 mil pesos.

Es importante señalar que en los bancos de germoplasma también se almacenan especies emparentadas, productos del mejoramiento genético y variedades fuera de uso. Su fundamento radica en que los genes pueden ser empleados en cualquier etapa del mejoramiento genético, dependiendo de las necesidades como ocurre actualmente con el cambio climático, el avance demográfico hacia las grandes urbes y la presencia de desastres naturales

En México no existe un programa de rescate y conservación de la nochebuena, los pocos apoyos no alcanzan. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha destinado recursos mínimos para mantener esta amplia diversidad genética de la especie *Euphorbia pulcherrima*. El recurso fitogenético nochebuena podría desaparecer, ya que el número de individuos que se encuentran de forma natural es pequeño y el avance demográfico, sobre todo en vivienda, orilla a que las plantas sean eliminadas del traspatio (Canul *et al.*, 2013). Es importante considerar que en cualquier lugar del mundo la biodiversidad se encuentra vulnerable y expuesta a su pérdida por la presión de factores ambientales, físicos, biológicos y principalmente por la actividad del hombre.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es conservar a largo plazo de manera *ex situ* la diversidad genética de *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch.

Materiales y Métodos

El banco de germoplasma de nochebuena se encuentra ubicado en el Campo Experimental Zacatepec perteneciente al Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPAS) del INIFAP. Está situado en el Km. 0.5 de la carretera Zacatepec-Galeana, municipio de Zacatepec, estado de Morelos. Sus coordenadas son 18° 39' 16" LN y 99° 11' 54.7" LO con altitud de 912 metros sobre el nivel del mar (msnm). Presenta clima cálido subhúmedo Aw0 con lluvias en verano, precipitación promedio anual de 800 mm y temperatura promedio anual de 24 °C.

El germoplasma de nochebuena tiene su origen en 2010. Con una revisión bibliográfica y cuestionamientos por comunicación personal sobre la especie se trazaron rutas de colecta, así también cuando se tuvo conocimiento de ejemplares de importancia y de atributos diferentes, distribuidas en zonas apartadas o de difícil acceso, se realizaron salidas ex profeso para conseguir dichos materiales. Se recolectó material propagativo de nochebuena como son muestras de varetas y semillas. Posteriormente, se obtuvo una muestra de Chiapas. Al momento de realizar esta actividad, se levantó las coordenadas de los lugares de recolecta, información sobresaliente para la identificación de cada una de las accesiones y otros datos de interés como son los principales atributos fenotípicos. La información se encuentra almacenada en una base de datos (Canul *et al.*, 2013).

La caracterización morfológica del germoplasma se llevó a cabo ese mismo año 2010 aplicando Directrices para la ejecución del examen de la distinción, la homogeneidad y la estabilidad de la Unión Internacional para la Obtención de las Protecciones Vegetales (UPOV, 2008). La caracterización se realizó en cinco plantas por cada accesión en etapa fenológica de tercer ciatio abierto. La información obtenida se analizó mediante técnicas estadísticas univariadas y multivariadas, como producto se logró definir una colección núcleo, lo que dio origen al banco de germoplasma de nochebuena (Canul *et al.*, 2014). En el 2011, se establecieron las accesiones en campo, son diversas y contrastantes en características de planta, tallo, hoja y bráctea.

Las actividades de mantenimiento se llevan a cabo año tras año. Estas consisten en renovación de plantas, control de malezas, podas de formación y sanidad, aplicación de pesticidas y solución nutritiva, cosecha de frutos, y riegos frecuentes.

Resultados y Discusión

Actualmente el banco de germoplasma de nochebuena tiene 15 años de haberse establecido. A partir del inicio del presente siglo el Consejo Estatal de Productores de Morelos Asociación Civil (CEPOMAC) enfatizó la carencia de variedades mexicanas de nochebuena y solicitó al INIFAP emprender el mejoramiento genético. Es importante considerar que el éxito de cualquier programa de mejoramiento genético está basado en una amplia base genética.

El banco de germoplasma de nochebuena surgió como producto de la caracterización en base a morfología (Canul *et al.*, 2014) de accesiones recolectadas en los estados de México, Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Guerrero, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Ciudad de México y Morelos (Canul *et al.*, 2013). Los resultados mostraron una amplia variación genética en el germoplasma de nochebuena de México, ya que se lograron recolectar 133 muestras de vareta (porción del tallo) y 43 de semilla más vareta, de las cuales el 18.2 % ocupaba áreas de distribución natural, 3.4 % lotes comerciales y la mayor proporción en traspatio, 78.4 %. El número de plantas por lugar de colecta fueron pocas, en 58.5 % sólo se encontró una planta, en 7.38 % había dos plantas y en 23.29 % más de 11 plantas. Es preciso indicar que muestras de semilla solamente fueron obtenidas en los estados de Morelos, Guerrero y Nayarit (Canul *et al.*, 2013). Lo integran las accesiones más diversas y contrastantes en características de planta, tallo, hoja y bráctea. Es un lugar con plantas vivas de nochebuena en donde se conserva la diversidad biológica genética de nochebuena. En México es única, la más diversa y con riqueza alélica (Canul-Ku *et al.*, 2018). Es el banco más grande de la especie en el país.



Figura 1. Muestra de la diversidad de brácteas de nochebuena.

Las plantas de nochebuena que integran el banco de germoplasma se encuentran en piso definitivo y algunas en maceta de 12 pulgadas. Una de las actividades principales que se desarrollan año con año es la renovación de plantas debido a que por la edad o por problemas de sanidad se van eliminando.

Por lo general, existen dos tipos de plantas, aquellas que producen fruto y semilla, y aquellas que presentan deformación de la inflorescencia y no logran formar flores ni frutos. Los frutos son dehiscentes, es decir, las suturas del fruto abren al llegar a la madurez. Cuando el fruto cambia de color verde a café es el momento preciso para realizar la cosecha, por lo general se lleva a cabo en los meses de febrero y marzo. En gabinete se beneficia la semilla. Finalmente, se colocan en sobres coin con su respectiva identificación. La poda en nochebuena es de dos tipos: de rejuvenecimiento y de formación. El primero consiste en eliminar ramas muertas, dañadas y débiles. El segundo se realiza para darle forma y arquitectura a la planta. Se lleva a cabo de una a dos podas durante el periodo de crecimiento.

En esta colección, existen plantas silvestres y semicultivadas que contienen genes valiosos y únicos, factibles de ser incorporados a nuevos individuos mediante técnicas convencionales de mejoramiento como la hibridación y la selección, y modernas (asistido por marcadores moleculares, secuenciación y genómico). Ejemplo de ello, son las 11 variedades con título de obtentor liberadas ante el SNICS (Canul *et al.*, 2023), sin contar la amplia gama de genotipos avanzados que en un corto tiempo, pueden ser liberados como nuevas variedades y que representan alternativas a las variedades predominantes extranjeras en las zonas productoras de esta especie ornamental (Canul-Ku *et al.*, 2024). También el banco de germoplasma funciona como lugar de capacitación para estudiantes, productores y público en general. Además, se contribuyó en la recolección de frutos de nochebuena de sol para el Área Natural Protegida Parque Estatal El Texcal, situado en la localidad de Tejalpa, municipio de Jiutepec, estado de Morelos.

Conclusiones

Conservar la amplia diversidad genética de nochebuena a largo plazo permitirá disponer de un acervo genético para la generación de nuevas variantes con características sobresalientes y útiles para el mercado. Además, las accesiones del banco de germoplasma son la materia prima disponible para

desarrollar investigación en temas relacionados a la resistencia de enfermedades de la raíz, estudios de filogenia, protocolos de propagación *in vitro* y herencia de tipo mendeliano.

El banco de germoplasma de nochebuena es el reservorio más grande conteniendo genes útiles para el uso de las generaciones futuras y permitirá disponer de un pool génico para la creación de nuevas variantes con características útiles para el mercado.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la aportación de recursos financieros provenientes de fondos fiscales para la conservación del germoplasma de nochebuena.

Fuente financiadora

Fondos Fiscales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Referencias bibliográficas

Canul K. J., García P. F., Osuna C. F., Ramírez R. S., Barrios G. E. 2013. Recursos genéticos de nochebuena en México, Colecta de germoplasma para mejoramiento genético. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México* 1:20-26.

Canul K. J.; García P. F.; Barrios G. E.; Osuna C. F.; Ramírez R. S.; Alia T. I. y Montoya C. E. 2014. Caracterización morfológica de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México* 2: 16-23.

Canul-Ku J., F. García-Pérez, E. J. Barrios-Gómez y S. E. Rangel-Estrada. 2018. Formación de híbridos clonales en nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch). *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(3):311-316.

Canul K. J., F. García P., E. Barrios G. y S. Estrada R. 2023. Mejoramiento genético de nochebuena en México: logros y contribuciones por el INIFAP. *Brazilian Journal of Development* 9(8):23575-23594.

Canul-Ku J., F. García-Pérez, E. J. Barrios-Gómez y S. E. Rangel-Estrada. 2024. Guillermina, variedad de nochebuena para embellecer espacios de interior. *Revista Fitotecnia Mexicana* 47(4):425-427.

USO DE *Trichoderma* Y HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN EL CONTROL DE *Fusarium oxysporum* EN *Capsicum chinense*

Carolina Basto-Pool^{1*}, Elizabeth Herrera-Parra¹

¹INIFAP

*Autor para correspondencia: carolinabasto93@gmail.com

Palabras clave. Marchitez vascular, incidencia, *Fusarium*.

Introducción

El chile habanero (*Capsicum chinense* L.), la hortaliza de mayor importancia en Yucatán, es atacada por diversas enfermedades, entre ellas la marchitez vascular causada por el hongo del género *Fusarium*. La enfermedad causa clorosis en el follaje, marchitez y pudrición radical en consecuencia, se produce una necrosis en la base del tallo y las plantas generalmente mueren al inicio de la maduración de los frutos, lo cual ocasiona pérdidas significativas (Herrera-Parra *et al.*, 2024). El principal método de control es el uso de fungicidas sintéticos, sin embargo, aunque son efectivos estos afectan la salud y el ambiente, además de presentar problemas de resistencia a los patógenos. Por lo cual, es necesario la búsqueda de alternativas de bajo impacto ambiental. Entre las alternativas de control se encuentran los inoculantes biológicos del hongo del género *Trichoderma* que suprimen enfermedades de raíz, mediante antibiosis, micoparasitismo y competencia por espacios, además de estimular el crecimiento de las plantas. También se encuentran los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que establecen asociaciones mutualistas con las plantas y favorecen la translocación de agua y nutrientes (Herrera-Parra *et al.*, 2023).

Objetivo

En este contexto, el objetivo, fue evaluar el efecto de las cepas de *Trichoderma* y un consorcio de HMA para el control de *Fusarium oxysporum* en *C. chinense*.

Materiales y Métodos

Producción de plántulas inoculadas con *Trichoderma* y HMA

Las semillas de chile habanero se sembraron en charolas de 200 cavidades con sustrato Cosmopeat® seguidamente se inoculó sobre la semilla con 1 mL de esporas a concentración 1×10^{-3} de cada cepa de *Trichoderma*. Posteriormente se taparon las semillas y las charolas se cubrieron con un plástico negro hasta la germinación. Adicionalmente, se realizaron tres inoculaciones con la dilución de esporas de *Trichoderma* a los 10, 20 y 30 días después de la germinación (ddg) dirigido al cuello de las plántulas. También el consorcio de HMA se inoculó al momento de la siembra con 5 g de suelo que contenía 269 esporas en promedio, más 100 secciones de raíces de henequén (*Agave fourcroydes*) que presentaron 100 % de colonización por micelio y 87 % de colonización por esporas.

Establecimiento del experimento

Las plántulas de chile habanero se trasplantaron en vasos de unicel de 1 L de capacidad con suelo estéril. Dos semanas después del trasplante cada planta se inoculó realizando una hendidura en la base del tallo y colocando un disco de papa dextrosa y agar (PDA) de 5 mm de diámetro que contenía el crecimiento micelial de *F. oxysporum*. Se evaluaron 6 tratamientos distribuidos en un diseño completamente al azar, cada tratamiento constó de 15 plantas como unidad experimental, mismas que constituyeron las repeticiones. Los tratamientos fueron: YUC5+*F. oxysporum*, YUC18+*F. oxysporum*, CAM43+*F. oxysporum* HMA+*F. oxysporum* y dos testigos con plantas sin colonizar por *Trichoderma* y HMA, pero inoculadas con *F. oxysporum* (Testigo+) y plantas inoculadas con discos de PDA sin micelio de *F. oxysporum* (Testigo -). Las plantas se mantuvieron en un invernadero bajo condiciones controladas y riego diario hasta observar los síntomas característicos de marchitez, clorosis y necrosis del tallo.

Variables estimadas y análisis estadístico

Se seleccionaron 10 plantas al azar por cada tratamiento y se estimó la incidencia (% de plantas enfermas por tratamiento) y la severidad de la enfermedad mediante una escala de cinco clases: 1= 0%, 3=10%, 5=25%, 7=50% y 9=75% (CIAT, 1987). También, se estimaron variables agronómicas: altura de la planta, diámetro de tallo, biomasa aérea seca, volumen, largo y peso seco de raíz. Los datos en porcentaje se

transformaron con la raíz cuadrada de arcoseno luego se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y donde hubo diferencias se realizó la comparación de medias con el método de Scott & Knott ($P \leq 0.05$). Se utilizó el software estadístico Statistica 7.

Resultados y Discusión

Las plantas sin colonizar por *Trichoderma* y HMA, pero con *F. oxysporum* (Testigo+) presentaron los primeros síntomas de marchitez a los siete días después de la inoculación (ddi) de *F. oxysporum* y a los 10 ddi las plantas presentaron clorosis y marchitez total. A los 12 ddi las plantas se extrajeron de las macetas para su evaluación y se observó síntomas característicos de necrosis y pudrición de raíz confirmando la susceptibilidad del material de chile y la virulencia de la cepa de *F. oxysporum*.

Respecto, a los tratamientos que incluyeron las cepas de *Trichoderma* y HMA su respuesta a la inoculación con *F. oxysporum* fue variable. Las plantas inoculadas con la cepa YUC18 y PDA (Testigo-) no mostraron ningún síntoma, sin embargo, las plantas inoculadas con YUC5, CAM43 y HMA presentaron de 10 a 20 % de incidencia, en las plantas con *F. oxysporum* (Testigo+) la incidencia fue del 100 %, es decir todas se enfermaron y presentaron síntomas característicos de la enfermedad. Por lo tanto, en los tratamientos inoculados con YUC18 y PDA (Testigo-) al estar las plantas sanas no existió severidad o daño en la planta. Con los tratamientos colonizados con YUC5, CAM43 y HMA la severidad fue estadísticamente igual entre estos, las raíces presentaron daño de 8.33 hasta 20.83 % pero con reducciones de daño de las raíces desde 61.54 hasta 84.7 % en relación a las plantas inoculadas con *F. oxysporum* (Testigo+) donde las raíces presentaron hasta un 54.17 % de severidad (cuadro 1) de lo cual se infiere que la baja incidencia de *F. oxysporum* se presenta por la penetración de estos inoculantes microbianos, que estimulan el sistema de defensa en las plantas al producir enzimas que rompen las paredes celulares del hongo inhibiendo la germinación de esporas y el crecimiento (Herrera-Parra *et al.*, 2023). Estos resultados confirman la presencia y agresividad de *F. oxysporum* en chile habanero y el efecto de estos inoculantes como organismos biocontrolador, protegiendo y minimizando el ataque causado por el hongo.

Cuadro 1. Plantas de chile habanero inoculadas con *Trichoderma* y HMA y su efecto en la incidencia y severidad de la enfermedad a los 12 días posteriores a la inoculación de *F. oxysporum*.

Tratamiento	Incidencia (%)	Severidad (%)
YUC5+ <i>F. oxysporum</i>	10	8.33 b
YUC18+ <i>F. oxysporum</i>	0	0.00 c
CAM43+ <i>F. oxysporum</i>	10	12.53 b
HMA+ <i>F. oxysporum</i>	20	20.83 b
<i>F. oxysporum</i> (Testigo+)	100	54.17 a
PDA (Testigo-)	0	0.00 c
CV	--	138.99
P-valor	--	0.0021

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Scott & Knott, $P \leq 0.05$) CV: Coeficiente de variación. n=10.

Las plantas con mayor altura, diámetro de tallo y biomasa aérea seca se obtuvieron con los tratamientos que incluyeron las cepas YUC18, CAM43 y HMA registrándose plantas con alturas de hasta 34.50 cm, diámetros de 3.99 mm y biomasa de 2.43 g, lo que significa mayor absorción de nutrientes atribuido al empleo de los inoculantes, debido a que *Trichoderma* tiene la capacidad de favorecer a las plantas por medio de la solubilización de nutrientes (Celis-Perera y Gamboa-Angulo, 2025). En contraste las plantas con el menor crecimiento se registraron en las inoculadas con YUC5, *F. oxysporum* (T5) y PDA sin la presencia del patógeno T6) con 15.17 cm, 2.51 mm y 0.39 mg, respectivamente. Respecto al largo, volumen y biomasa seca de la raíz no se obtuvo efecto de promoción de crecimiento por parte de los tratamientos que incluyeron la inoculación de las cepas *Trichoderma* y los HMA ya que los promedios de estas variables fueron estadísticamente iguales a los obtenidos en las plantas donde solo se inoculó con el medio de cultivo PDA (T6). Aun así, se obtuvo un efecto protector en la planta, por parte de las cepas de *Trichoderma* y los HMA, ya que en la mayoría de los tratamientos las raíces estuvieron sanas, sin necrosis

o lesiones que señalen presencia de la enfermedad en relación a las raíces inoculadas solo con *F. oxysporum* (T5), que fueron de menor tamaño, presentaron pudrición y necrosis de raíz de raíz y tallo (cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de tratamientos en el crecimiento de plantas de chile habanero inoculadas con *F. oxysporum*.

Tratamiento	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Biomasa aérea seca (g)	Largo de raíz (cm)	Volumen de raíz (cm³)	Peso seco de raíz (mg)
YUC5+ <i>F. oxysporum</i>	23.17 b	3.22 b	1.43 b	36.22 a	32.00 a	0.28 a
YUC18+ <i>F. oxysporum</i>	34.50 a	3.99 a	2.43 a	40.83 a	33.00 a	0.47 a
CAM43+ <i>F. oxysporum</i>	29.00 a	3.47 a	1.28 a	38.58 a	32.00 a	0.34 a
HMA+ <i>F. oxysporum</i>	28.83 a	3.93 a	2.32 a	33.97 a	32.50 a	0.43 a
<i>F. oxysporum</i> (Testigo+)	15.17 b	2.51 c	0.39 b	21.85 b	31.00 a	0.07 b
PDA (Testigo-)	19.50 b	2.85 c	1.02 b	43.92 a	32.50 a	0.30 a
CV	25.85	11.32	46.48	29.38	3.11	58.05
P-valor	0.0003	0.0001	0.0003	0.0227	0.0385	0.0123

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (Scott & Knott, $P \leq 0.05$) CV: Coeficiente de variación. $n=10$.

Conclusiones

La inoculación de las cepas de *Trichoderma* y del consorcio de HMA mostraron propiedades en el control de marchitez ocasionado por *F. oxysporum* al reducir el daño en chile habanero, asimismo mejoraron el crecimiento agronómico de las plantas.

Referencias bibliográficas

- Celis-Perera, S. E., & Gamboa-Angulo, M. 2025. *Trichoderma*: hongos microscópicos aliados de los cultivos agrícolas. *Revista de divulgación científica iBIO*, 7(1), 198-198.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Aart van Schoonhoven y Marcial. A. Pastor-Corrales (Comps.). Cali, Colombia. 56 p.
- Herrera-Parra E, Basto-Pool C, Caamal-Eb L, Reyes-Estébanez M. 2024. Avances en el uso del hongo *Trichoderma* para el control del hongo patógeno *Fusarium* spp. en Yucatán. *Bioagrociencias* 17 (1): 15-21. <http://doi.org/10.56369/BAC.5336>
- Herrera-Parra, E., Cristóbal-Alejo, J., Zavala-León, M.J., Basto-Pool, C.I. 2023. Hongos micorrízicos arbusculares y *Trichoderma* en *Capsicum annuum* disminuyen el daño inducido por *Meloidogyne incognita*. *Temas Agrarios* 28(1): 37-45. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3158>

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ACCESIONES E HÍBRIDOS DE MAÍZ DE TEMPORAL EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Israel Rojas-Martínez^{1*}, Rogelio Fernández-Sosa¹, Juan Antonio Tecpa-Díaz²

¹Sitio Experimental Tlaxcala, INIFAP. ²Residente del TecNM-ITAT

*Autor para correspondencia: rojas.israel@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Zea mays*, rendimiento, criollos.

Introducción

El maíz es uno de los tres cultivos más importantes y una de las mejores aportaciones de América para el mundo Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2022). El maíz es la especie con mayor grado alimenticio de México y cultivado en todas partes del país bajo condiciones edafoclimáticas diferentes. La siembra y desarrollo es durante la temporada de lluvias, donde se le aprecia creciendo en regiones al nivel del mar hasta 3000 m de altitud como en laderas montañosas. Este cultivo se siembra en zonas de condiciones adversas de baja precipitación pluvial (30-40 cm anuales), temperaturas extremas, heladas tempranas y suelos degradados, hasta regiones con abundantes lluvias (250 cm al año). La superficie de maíz sembrada en Tlaxcala fue de 120 mil hectáreas de las cuales 102, 216 ha son de temporal con un rendimiento de 2.54 ton/ha con una producción de 260,512.41 ton de grano. Por lo anterior es necesario determinar la interacción genotipo-ambiente para conocer su estabilidad de rendimiento, tanto en materiales criollos como en aquellos híbridos y variedades sintéticas. La interacción genotipo-ambiente (IGA) sucede cuando los genotipos responden diferente a las variantes del ambiente, lo que limita el proceso de selección. Los maíces criollos de temporal mitigan los efectos del cambio climático, debido a que poseen genes que favorecen un mejor desarrollo en condiciones de déficit hídrico (sequía), por lo que es fundamental su evaluación, conservación, caracterización, producción y mejoramiento (Turrent *et al.*, 2016). El reto del mejorador es identificar genotipos que presenten alto rendimiento y calidad de grano, así como también, mayor comportamiento estable en ambientes contrastantes (Bazingar *et al.*, 2012).

Objetivo

Determinar la interacción-genotipo ambiente y estabilidad de rendimiento en accesiones e híbridos de maíz en condiciones de temporal crítico en el estado de Tlaxcala.

Materiales y Métodos

- Material genético

En el ciclo PV 2024 se evaluaron 15 accesiones (ACC) sobresalientes 3, 21, 25, 28, 36, 37, 42, 48, 52, 82, 85, 86, 99, 108 y 113 de maíz blanco, además de híbridos promisorios del INIFAP como son: Gacela H-72, Venado H-74, HX-76, H-76 G, H-77 G, H-78, H-50 y H-24 M y los testigos Z-60 y criollo local.

- Sitios de evaluación

La evaluación se realizó en las localidades (LOC) de Felipe Carrillo Puerto municipio de Alzayanca con coordenadas 19°23'40.87"N, 97°51'33.05"O y altitud 2490 msnm, Muñoz municipio de Muñoz de Domingo Arenas en las coordenadas 19°28'53.38"N, 98°11'31.26"O y 2509 msnm, y San Agustín municipio de Españita ubicado en las coordenadas 19°27'50.14"N, 98°29'37.84"O y 2706 msnm. Los suelos presentan una textura arenoso-franco en FCP y en MDA y RHSA franco arcilloso arenoso, con un pH en las tres localidades de 5.2, 5.3 y 5.9 denominado como moderadamente ácido y presentan bajo contenido de materia orgánica con un promedio de 0.5% catalogado como muy bajo.

- Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques completos al azar con 3 repeticiones. La parcela experimental fue de 4 surcos de 5 m con separación de 0.80 m y 0.50 m entre matas con dos plantas, para lograr una densidad de población fue de 50 mil pl/ha, la parcela útil consto de dos surcos centrales.

- Manejo agronómico

Las fechas de siembra fueron el 23 de mayo en Felipe Carrillo Puerto, 29 de mayo en San Agustín y 18 de junio en Muñoz, debido al establecimiento tardío del temporal. La dosis de fertilización para las localidades fue la fórmula 140-60-30 (N-P-K), la cual se logra aplicando 253 kg de urea, 130 kg de fosfato diamónico

(DAP) y 50 kg de cloruro de potasio, aplicando el 17% de nitrógeno y todo el fósforo y potación al momento de la siembra, la segunda fertilización a los 40 días después de la siembra con 41.5% de urea (N) y la tercera fertilización de urea en la etapa de hoja bandera con 41.5%. La fertilización foliar se aplicó en la etapa vegetativa (V6) y en jiloteo, la mezcla de Maxi-Grow Excel más Bayfolan Forte a razón de 0.5 y 2.0 L/ha, además al inicio agregando adherente a razón de 1.0 ml por litro de agua. El control de la maleza fue con la aplicación de 1.0 kg de Gesaprim Calibre 90 después de la segunda escarda.

- Variables agronómicas evaluadas

Las variables evaluadas fueron: variables de la planta, densidad de población en miles de pl/ha (DP), días a floración femenina (DFF), días a floración masculina (DFM), altura de planta (AP) y mazorca en cm (AM), porcentaje de hijos (PHIJ), porcentaje de esterilidad (PEST), porcentaje de cuateo (PCU), porcentaje de acame de raíz (PAR) y de tallo (PAT), porcentaje de cobertura (PCOB), las componentes del rendimiento como: longitud (LM) y diámetro de mazorca en cm (DM), hileras de granos por mazorca (HM), granos por hilera (GH), diámetro de olote en mm (DO), peso volumétrico en g/L (PV), peso de cien semillas en g (PCS) y rendimiento de grano al 14% de humedad en kg/ha (RENG).

- Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante análisis de varianza combinado que comprende Localidad (LOC), Genotipo (GEN) y la interacción (LOC*GEN), además una comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) y una correlación de variables en estudio. Se utilizó el programa SAS Versión 9.3 (SAS, 2014).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza combinado para la fuente de variación Localidad (LOC), mostro significancia ($P < 0.01$) para todas las variables. Para genotipo (GEN) se tuvo significancia ($P < 0.01$) para todas las variables registradas con excepción de LM que fue no significativa. Con relación a la interacción LOC*GEN todas las variables tuvieron significancia estadística ($P < 0.01$), excepto DM y DOL con significancia ($P < 0.05$) y las variables PHIJ, PCU, PAT, LM, NHM y GH que fueron no significativas. El CV osciló de 1.4 hasta 134.6% para DFM y PCU, respectivamente. La significancia observada en las variables evaluadas para el factor LOC indica que el análisis de varianza debe realizarse para cada localidad, según lo recomendado por Balzarini *et al.* (2015). Esto se debe a la influencia del ambiente en la expresión de las variables agronómicas, como lo han señalado (Moreno *et al.*, 2002).

- Localidad: Felipe Carrillo Puerto

El resumen del análisis de varianza, mostro significancia ($P < 0.01$) para todas las variables, excepto LM y DM con significancia ($P < 0.05$). El CV osciló de 0.32 hasta 24.36% para PV y PCU, respectivamente.

El RENG osciló de 1818.0 para el Criollo Local a 4328.6 kg/ha para la accesión 52. Los genotipos con mayor rendimiento fueron ACC 52, ACC 86, ACC 28, ACC 3 y ACC 108 con 4328.6, 4169.3, 3975.0, 3736.3 y 3630.3 kg/ha, y con DFM 113, 111, 115, 113 y 112 días, AP 174.3, 187.0, 183.6, 202.0 y 170.0 cm, PAR 5.9, 1.7, 0.0, 5.3 y 4.8 %, PAT 20.6, 17.0, 17.0, 7.4 y 31.1%; y PV con 712.0, 690.7, 689.3, 726.7 y 672.0 g/L, respectivamente.

- Localidad: Muñoz de Domingo Arenas

El resumen del análisis de varianza, indico que todas las variables presentaron significancia ($P < 0.01$), con excepción de DFM que fue no significativa. El CV osciló de 0.57 hasta 35.34% para REN y PAT, respectivamente.

El RENG tuvo un rango de 2263.6 a 5154.6 kg/ha. Los genotipos con mayor expresión de rendimiento fueron: Z-60, ACC 86, H-77 G, HX-76 y ACC 108 con 5154.6, 4732.6, 4694.3, 4664.6 y 4525.0 kg/ha, y con 89 días a floración masculina para los genotipos rendidores; 226.6, 241.6, 239.3, 208.3 y 231.6 cm de porte de planta; PAR 0.0, 0.0, 63.6, 9.4, 0.0, 1.6, 2.7, 0.0 y 49.3 % y PAT 0.0, 0.0, 63.6, 9.4, 0.0, 1.6, 2.7, 0.0 y 9.6%, lo anterior indica que las accesiones en esta localidad presentaron susceptibilidad al acame; estas mismas accesiones tuvieron un PV de 724.0, 669.3, 684.0, 669.3 y 653.3 g/L y PCS de 27.5, 38.4, 23.8, 25.3 y 36.0 g, en ese orden.

- Localidad: San Agustín

El resumen del ANOVA indico significancia ($P < 0.01$) en todas las variables de estudio, excepto LM y GH que fueron no significativas. El CV osciló de 0.64 hasta 29.64% para REN y PAR, respectivamente.

El RENG tuvo un rango de 3877.3 a 8179.0 kg/ha, que corresponden a las accesiones ACC 36 y ACC 99, en ese orden. Los genotipos con mayor rendimiento fueron ACC 99, Criollo Local, ACC 3, ACC 21 y ACC 25 con 8179.0, 7052.0, 6783.3, 6724.6 y 6525.3 kg/ha, con DFM: 95, 88, 105, 91 y 97 días; AP: 258.3,

253.3, 246.6, 256.6 y 222.6 cm; PAR 10.4, 5.5, 0.0, 27.1 y 26.4 %; PAT 16.6, 17.7, 35.1, 38.1 y 4.4%; PCS: 56.1, 57.3, 47.6, 53.0 y 45.4 g y PV: 672.0, 686.0, 710.6, 126.6 y 689.3 g/L, respectivamente.

- Correlación del rendimiento con variables agronómicas

La correlación cuantifica el grado de relación entre las variables y se utiliza para determinar los cambios de las variables entre sí. El coeficiente de correlación (r) oscila de +1 a -1 que indican una relación positiva completa donde ambas variables se mueven en la misma dirección y la relación negativa se presenta al aumento de una variable mientras disminuye la otra, cuando los valores de la relación se aproximan a 0 se reduce la relación entre ellas. El análisis de correlación permite determinar cómo los cambios en las variables de sitio interactúan con las variaciones en el rendimiento, por ejemplo, una fuerte correlación positiva entre la precipitación (inicio de lluvias, distribución y cantidad) y el rendimiento de maíz en una región determinada indica que a mejores características de precipitación se obtienen mayores rendimientos. Por lo anterior los productores pueden realizar una selección de cultivos y variedades más apropiadas.

Localidad: Felipe Carrillo Puerto

El RENG mostro correlación positiva y significativa con las variables AP ($r = 0.51^{**}$), AM ($r = 0.31^{**}$), PCU ($r = 0.43^{**}$), PAR ($r = 0.30^{**}$), PAT ($r = 0.33^{**}$), DM ($r = 0.38^{**}$) y PCS ($r = 0.58^{**}$), lo que indica que presentan una correlación directa con el rendimiento como se aprecia en la figura 1. Se tuvo correlación negativa y significativa con DFF ($r = -0.38^{**}$), DFM ($r = -0.24^{*}$), DOL ($r = -0.37^{**}$) y PCOB ($r = -0.38^{**}$), lo que indica que el rendimiento se ve afectado por estas variables debido a la incidencia de la helada. El resto de las variables con correlación positiva y negativa fueron no significativas.

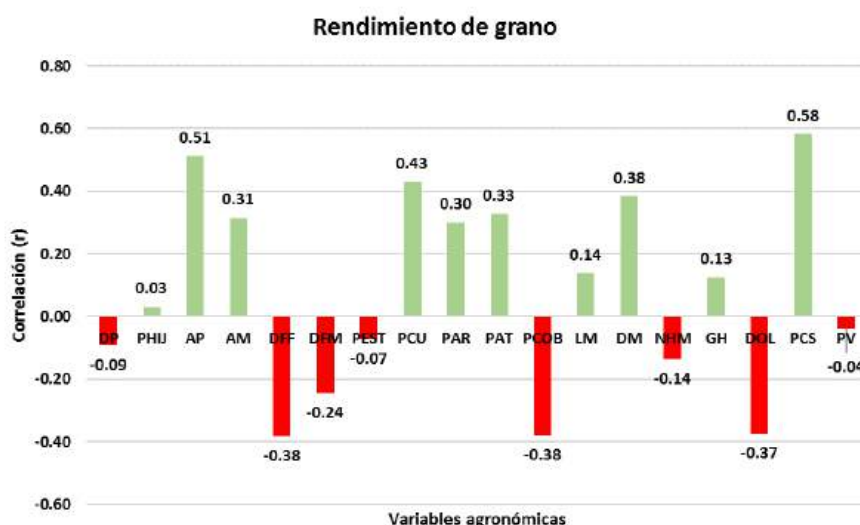


Figura 1. Correlación positiva y negativa de variables agronómicas registradas en ensayo de maíz en Felipe Carrillo Puerto, Altzayanca, Tlaxcala, 2024.

Localidad: Muñoz de Domingo Arenas

En la figura 2 se presenta la correlación positiva y significativa del RENG con las variables GH ($r = 0.29^{**}$) y PV (0.34^{**}) y además una correlación negativa y significativa con AM ($r = -0.40^{**}$), DFF ($r = -0.52^{**}$), PEST ($r = -0.41^{**}$), PAR ($r = -0.57^{**}$) y PCS ($r = -0.34^{**}$), debido a la alta correlación negativa que presentan las variables PAR y PEST por la incidencia de lluvias con vientos fuertes afectando el RENG. El resto de variables fueron no significativas.

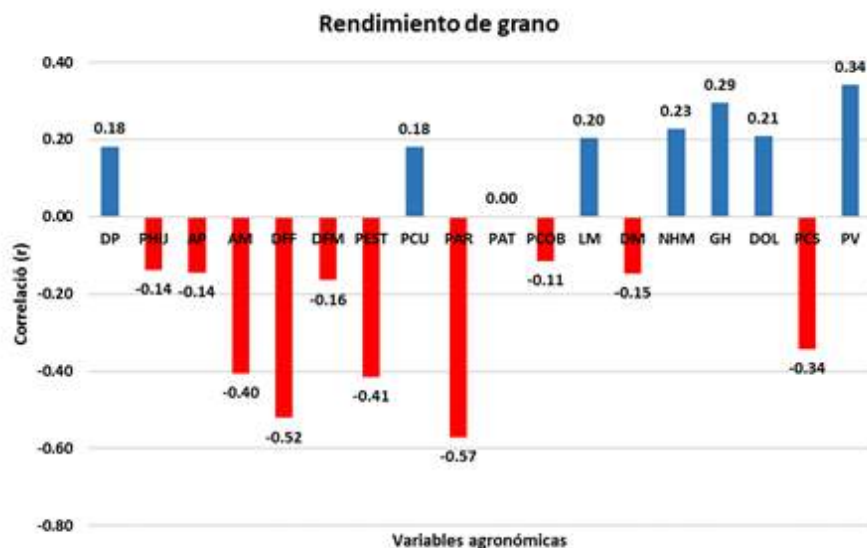


Figura 2. Correlación positiva y negativa de variables agronómicas registradas en ensayo de maíz en Muñoz, Muñoz de Domingo Arenas, Tlaxcala, 2024.

Localidad: San Agustín

En esta localidad el RENG muestra correlación positiva y significativamente con las variables LM ($r = 0.35^{**}$), DM ($r = 0.34^{**}$), GH ($r = 0.34^{**}$) y PCS ($r = 0.32^{**}$) como se muestra en la figura 3, mientras que se tuvo correlación negativa y significativa con la variable PCOB ($r = -0.22^{*}$) debido al llenado de la mazorca propiciado por las buenas condiciones de sitio.

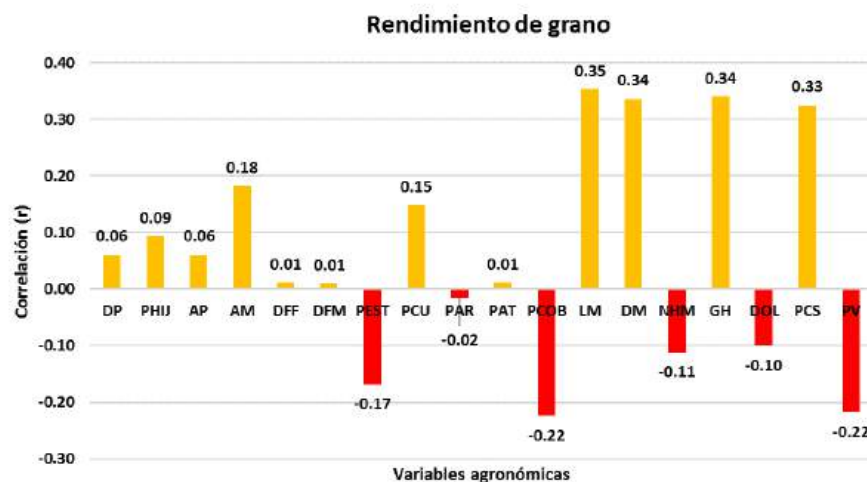


Figura 3. Correlación positiva y negativa de variables agronómicas registradas en ensayo de maíz en San Agustín, España, Tlaxcala, 2024.

Conclusiones

Las accesiones de maíces blancos presentaron competitividad con los maíces mejorados, debido a la adaptabilidad en los ambientes de origen, donde la mejor localidad fue San Agustín por el retraso de las heladas y mejor distribución de lluvia.

La evaluación de accesiones de maíz, indicaron correlación positiva y significativa principalmente en altura de planta y mazorca, porcentaje de cuateo, longitud y diámetro de mazorca, granos por hilera y peso de cien semillas. Con relación a la correlación negativa se tuvo en las variables de días a floración, porcentaje de esterilidad, porcentaje de cobertura, debido a la presencia de helada en siembras tardías de junio por el retraso del temporal.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Los resultados son parte del proyecto: “Fortalecimiento del programa de mejoramiento genético del cultivo de maíz para Valles Altos y Zonas de Transición, donde está contenido el subproyecto 4: “Colección y evaluación *in situ* de accesiones nativas de maíz en condiciones agroclimáticas extremas en el estado de Tlaxcala”. Fuente financiera: INIFAP, recursos propios.

Referencias bibliográficas

- Balzarini, M.; Bruno, C. y Arroyo, A. 2015. Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales: Ejemplos con Info-Gen. Estadística y Biometría. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. pp 141.
- Bazinger, M.; Edmeades, G. O.; Beck, D. y Bellon, M. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México. D. F.; CIMMYT. 61p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2022. La conservación y fomento del cultivo de los maíces nativos contribuye a la seguridad alimentaria y fomento de la agrobiodiversidad. Obtenido de iica.int: <https://iica.int/es/press/noticias/la-conservacion-y-fomento-del-cultivo-de-los-maices-nativos-contribuye-la-seguridad/>
- Moreno, M. M.; Peñal, L. A.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Mora, A. R. 2002. Varianza aditiva, heredabilidad y correlaciones en la variedad M1-Fitotecnia de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Fitotecnia Mexicana 25(3): 231-237.
- Turrent, F. A.; Espinosa, C. A.; Turrent, T. C. y Mejía, A. H. 2016. Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7(7), ME:1717-39. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.165>

PLANTAS ALIMENTICIAS SUBUTILIZADAS Y SU APORTACIÓN A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Lorena Casanova-Pérez¹, Patricia Cruz-Bautista², Alberta San Juan-Martínez¹, Florencia García-Alonso¹,
Fernando Barrios³

¹Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense. ²BUAP, Ingeniería en Agronomía y Zootecnia. ³
Political Economy Department, The College of Idaho, USA

*Autor para correspondencia: lorena.casanova@uthh.edu.mx

Palabras clave. Conservación, cambio climático, pobreza alimentaria.

Introducción

La incorporación o el abandono de especies alimenticias por los agricultores siempre ha sucedido como parte del proceso de domesticación dinámica, el grado de abandono actual es mayor, por tanto, esta pérdida de agrobiodiversidad se vuelve un asunto importante en un contexto de cambio climático y pobreza alimentaria, el cual exige revalorar dichas especies ahora catalogadas como subutilizadas, como un recurso fitogenético potencial para lidiar con contingencias socioambientales emergentes. En México, esto debería ser un asunto toral, ya que los estudios sobre las especies alimenticias que se desarrollan en la milpa, el huerto familiar y áreas de recolección son escasos. Asunto importante, puesto que las especies alimenticias subutilizadas están desapareciendo de sus hábitats naturales y/o de las áreas marginales donde se fomentan, toleran o cultivan esporádicamente.

Especies que debido a sus características como: tolerancia al estrés hídrico y la adaptación a suelos pobres representan un recurso fitogenético valioso para diseñar agroecosistemas resilientes capaces de lidiar con los efectos del cambio climático, además de proporcionar un sinnúmero de nutrientes poco explorados pero que se consideran esenciales para una dieta saludable, además de abastecer los mercados de proximidad, favorezcan el ingreso familiar de los pequeños agricultores y que su consumo sea una oportunidad para que consumidores, particularmente aquellos de bajos recursos, puedan adquirir alimentos frescos y saludables, por lo menos, en el contexto local.

Objetivo

Identificar aquellas especies de plantas alimenticias nativas subutilizadas, su manejo y uso en localidades nahuatl de la Huasteca Hidalguense y Veracruzana.

Materiales y Métodos

La presente investigación fue de carácter descriptivo y se llevó a cabo en cuatro localidades pertenecientes a dos municipios en la Huasteca (Chicontepec, Veracruz y Tlachinol, Hidalgo). Se utilizó una muestra guiada entrevistando con base en un cuestionario a un total de 45 participantes, con enfoque etnobotánico debido a su utilidad para conocer las especies vegetales alimenticias, su forma de manejo en sus diferentes áreas productivas/ reserva y su forma de consumo por parte de los entrevistados.

El área de estudio es habitada mayormente por hablantes de la etnia náhuatl y forman parte de la Huasteca, una región considerada de alta riqueza biológica. Un área reconocida por su alta diversidad biológica que debería ser conservada como un recurso estratégico en el mediano y largo plazo. Las especies se clasificaron como cultivadas, fomentadas, toleradas y recolectadas. La evaluación de la significancia cultural de las especies se realizó utilizando como referencia el índice de Importancia Cultural (IC).

Adicionalmente, la recolección de información también incluyó la realización de caminatas por diferentes ambientes: milpa, áreas de descanso, áreas de reserva y los patios familiares. Las especies fueron identificadas en inventarios botánicos resultado de investigaciones previas Veracruz e Hidalgo, particularmente, en la región cultural de la Huasteca; especies que además de ser consideradas como plantas medicinales, son también comestibles. Asimismo, se comparó con las etiquetas de ejemplares resguardados en el herbario de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

Resultados y Discusión

Caracterización botánica de las plantas alimenticias subutilizadas encontradas en el área de estudio

De las 93 especies identificadas por los entrevistados, 73 se encontraron en las localidades tanto de Chicontepec, como de Tlanchinol. Del total de especies y con base en la caracterización botánica, se señala que estas pertenecen a 28 familias y 77 géneros. Las familias con mayor número de especies fueron *Fabacea* (14%), *Sapotaceae* (5%), *Amaranthaceae* (4%), *Asteraceae* (4%), *Malvaceae* (4%) y *Solanaceae* (4%), siendo la primera de ellas la que ocupa un papel preponderante como sucede en otras regiones del mundo. La mayoría de estas especies son herbáceas (44%) y arbóreas (31%). Con respecto al ciclo de vida, predominan las especies perennes (63%), seguidas de las anuales (32%) y las bianuales (5%). Estas especies se diferencian en su grado de manejo, es así como, 56% son especies cultivadas, 51% son fomentadas, 35% son toleradas y 32% son especies sujetas a recolección. Este porcentaje suma más de 100%, ya que una especie puede ser sujeta a varios tipos de manejo. En cuanto a la parte de la planta utilizada esta varía desde aquellas de las cuales se aprovecha un solo órgano (por ejemplo, el fruto), hasta las que pueden proveer alimento en diferente época del año o en época de sequía (como sus raíces).

En cuanto al CI, las especies que resultaron más significativas desde el punto de vista dietético fueron el chayote (3.55), el melón criollo (3.91) y el aguacate liso (1.56). Estas plantas, además de tener un alto valor comercial en los mercados locales, poseen varias partes de la planta que pueden ser utilizadas y forman parte de la dieta diaria de los entrevistados. En consecuencia, estas especies son objeto de una mayor gestión. En contraste, especies como el guaxe (*Leucaena leucocephala*) (0.17) y coyol (*Sabal mexicana*) (0.28), con el IC bajo, son especies cuyo consumo debería fomentarse, sobre todo, considerando la potencial aportación nutrimental a la dieta de la población en el área de estudio y, que estas únicamente son sujetas a recolección. En el caso del guaxe (*Leucaena leucocephala*) sus semillas tienen mayor contenido de fibra cruda que los reportados en frijol, sorgo, haba y frijol de soya, además de que sus semillas tienen un importante contenido de componentes antioxidantes y el coyol cuyo consumo de semilla representa una fuente de aceite con ácidos grasos de cadena corta que permiten una digestibilidad mayor, además de que el fruto puede ser consumido después de un proceso de almibarado como se hace en el norte del país.

Asimismo, otras especies que reportaron un IC importante como el jacube (*Acanthocereus tetragonus*) (0.77), deben ser promovidas como parte esencial en el patio familiar. Esta especie, además de ser nutritiva, tiene efectos positivos en el sistema digestivo por su contenido de fibra soluble e insoluble, siendo dicho contenido parecido al encontrado en la guayaba y el nopal, considerándose un alimento funcional auxiliar en trastornos digestivos. Sin embargo, especies como el tequelite (*Peperomia peltimbba*) al ser sujeta únicamente a recolección, su propagación depende de los ciclos de la naturaleza y por lo tanto susceptible ante contingencias ambientales como sequías, o periodos de estiaje prolongados como los sucedidos en los últimos años. Es importante señalar, que al igual que en otras regiones de México, en el área de estudio, es en la milpa y el patio familiar donde se resguarda mejor estas especies comestibles, ya que el productor y su familia las protegen, cultivan y continúan con su domesticación (Linares y Bye, 2015). Del listado de especies encontradas, 61% son consumidas frescas, pero las formas de su preparación son diversas, y les subyace un bagaje de conocimiento tradicional que indica cuales de estas pueden ser desfleamadas en agua, hervidas, asadas; procesos necesarios para eliminar anti nutrientes y tóxicos como alcaloides y saponinas. Sus formas de incorporación al patrón culinario son diversas y deben recuperarse e incluso innovarse. Desde esta dimensión, es importante tener como eje sinérgico el papel de la mujer, quienes además de cultivarlas/recolectarlas son las encargadas de incorporarlas a los diferentes platillos, a través de varias formas de cocción o consumo en fresco, es decir, cualquier estrategia también debe considerar la perspectiva de género.

Introducción y fomento de plantas alimenticias subutilizadas en los agroecosistemas

En el área de estudio, ante el incremento del número de meses con sequía severa y sequía extrema, las especies subutilizadas pueden ser elementos importantes en las estrategias de seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático. Esto es porque su fisiología está adaptada mayormente a condiciones límite, pudiendo ser una fuente de alimento ante una sequía extrema y de largo plazo (Rudebjer *et al.*, 2019). De hecho, productores del área de estudio han comenzado a aumentar la superficie dedicada al cultivo de nopales (*Opuntia ficus-indica*) y jacubes (*Acanthocereus tetragonus*), incluso especies toleradas como la pitahaya (*Hylocereus undatus*) están siendo fomentadas y las especies fomentadas están teniendo un cultivo más deliberado como el jobo (*Spondias mombin*) y la yuca (*Manihot esculenta*).

De las especies subutilizadas identificadas se calcula que al menos el 31% podrían ser fundamentales como fuente de alimento en condiciones agroclimáticas críticas, por lo cual deberían ser sujetas a evaluación agronómica y de mejoramiento genético, así como, el análisis de su distribución y consumo.

Ribeiro *et al.* (2013), indica que el rescate de estas especies debería ser parte de una estrategia ante alimentos escasos debido a eventos climáticos adversos, cultivados en suelos cada vez marginales.

En el grupo de estas especies se encuentran cactáceas, agaváceas y leguminosas; especies con tolerancia mayor a sequías, suelos ácidos y pobres, condiciones edafoclimáticas que caracterizan a la Huasteca y que están siendo exacerbadas por el cambio climático. Por ejemplo, las leguminosas tienen un gran sistema radicular útil para encontrar humedad y conducir nutrientes de perfiles de suelo profundos a la superficie, además, de establecer relaciones interespecíficas que le permiten allegarse de nitrógeno atmosférico y otros nutrientes importantes como el fósforo y potasio, además, de su poca o nula afectación por plagas y enfermedades. Sin embargo, no deben olvidarse especies como el ojite (*Brosimum alicastrum*), el mante (*Pouteria campechiana*) y las especies del género Inga, cuya propagación depende fundamentalmente de la temporada de lluvias.

Plantas subutilizadas y seguridad alimenticia y nutricional

Especies subutilizadas como estas tienen un valor nutricional mayor que verduras tradicionalmente consumidas como el tomate y repollo. En este sentido, estudios muestran que parte de estas plantas contienen minerales y vitaminas, además de ácidos grasos omega 3 y omega 6, siendo importantes para una dieta diversa capaz de combatir la desnutrición, el hambre oculta (deficiencia de yodo y zinc), el sobrepeso y la obesidad. Estas razones son esenciales para argüir que estas especies deben seguir siendo parte del patrimonio biocultural alimenticio, requiriéndose condiciones para que su producción/recolección y consumo suceda y/o se fortalezca. Ya que su conservación no solo depende de su introducción a los agroecosistemas, si no también, de la promoción de su consumo, particularmente en la población joven, para que acceden a alimentos nutritivos y una dieta variada en micronutrientes cuya carencia ha sido asociada a enfermedades crónico degenerativas (Barda, 2015). En el área de estudio, se infiere que la introducción/reintroducción de estas especies a los agroecosistemas no implicaría cambios radicales en las prácticas de manejo de los agroecosistemas, puesto que son especies que requieren de un manejo mínimo, el cual de darse, podría ayudar al productor a optimizar su producción (Linares y Bye, 2015). Tal es el caso del coyol (*Sabal mexicana*), especie que puede ocupar espacios productivos marginales, y que no requiere un manejo fitosanitario, fertilización o poda.

El fomento a estas especies en la Huasteca, podría hacerse a través del establecimiento de módulos demostrativos en instituciones de salud, educación/investigación, y por supuesto, con productores cooperantes. Otra acción adicional, es que especies sean introducidas a los circuitos cortos de comercialización, los cuales expresan la persistencia de espacios que aún permiten la interacción entre productores y consumidores en el contexto local. En estos circuitos se encuentran especies como yuca, camote, pápalo, sin embargo, los hallazgos indican que 61% de las especies identificadas no participan en los mismos, y si acaso, solo forman parte del sistema de intercambio entre vecinos como sucede en otras regiones del mundo. Algunas de estas son especies sujetas únicamente a recolección silvestre y su acceso como alimento es solamente en cierta época del año, aun así, contribuyen a la seguridad alimenticia y nutricional de la familia (Halimi *et al.*, 2018).

Incorporación de las especies subutilizadas en la dieta actual e innovaciones desde el enfoque de procesos alimentarios

En la Huasteca, el rescate de estas especies y su inclusión en la dieta actual implicaría la identificación de las formas de preparación y consumo ancestral de hojas, frutas, semillas, etc. Estas formas de preparación de las especies deberán ser caracterizadas e innovadas con ayuda de expertos en procesos alimentarios. Se requiere también de la realización de estudios para verificar si este proceso es el más adecuado para eliminar cualquier efecto de sustancias anti nutrientes y por supuesto, realizar su innovación correspondiente, lo mismo sucede con especies como el guaxe (*Leucaena leucophaea*), cuya presencia de sustancias antinutricionales (taninos, lectinas, inhibidores de tripsina y ácido fítico) leguminosas limitan la aceptabilidad de su consumo en fresco (Román-Cortés *et al.*, 2014).

En este punto, resulta importante la participación de expertos en procesos alimentarios, que establezcan procedimiento que permiten un aprovechamiento óptimo de la calidad nutricional de especies como las leguminosas arbóreas, creando condiciones para que estas especies puedan reincorporarse al patrón culinario, puesto que la mayor parte de la especies identificadas ya no forman parte de la dieta habitual de la familia, ya que la cultura sobre su consumo no existe en las generaciones más jóvenes, quienes ahora prefieren el consumo de alimentos procesados y ultraprocesados (con mayor cantidad de sales, azúcares y saborizantes artificiales) y sin calidad nutricional proveídos a través de las cadenas largas de comercialización. Esta condición, puede permitir incluso, que algunas especies sean la base para el diseño

de productos alimenticios nuevos cuya comercialización podría ser generadora de ingresos en contextos locales.

Conclusiones

El rescate y fomento de especies subutilizadas como las encontradas en el área de estudio deberá considerar su uso y manejo diferenciado, a los cuales subyacen saberes tradicionales milenarios que van desde su propagación hasta formas de preparación culinaria. Esta agenda debe ejecutarse en el contexto local, y atender las diferencias existentes entre localidades/municipios, ya que se ha observado un conocimiento desigual sobre usos y manejos de las especies. Esta estrategia deberá contar con la participación de los productores y su familia, brindando un papel preponderante a las mujeres, debiendo ser valoradas por el resto de la sociedad por su papel como guardianas de esa invaluable riqueza fitogenética. Adicionalmente, deben realizarse estudios que orienten la conservación y la innovación del manejo de las especies haciendo uso racional de insumos y el menor impacto ambiental posible; todo ello para potenciar sus características de adaptación ante condiciones cada vez marginales, en un contexto de incertidumbre generado por el comportamiento de las principales variables agroclimáticas. Además, la inclusión de estas especies en los agroecosistemas está ligado a su inclusión en patrón culinario y, por tanto, en la dieta de las familias que las recolectan, toleran, fomentan o cultivan. A este propósito deberán aportar genetistas, agrónomos, agroecólogos, especialistas en procesos alimentarios y gastrónomos, para que dichas especies reduzcan la presencia de factores anti nutrimentales manipulando sus genes, o a través de la innovación de procesos de cocción y, además, se potencien aquellos micronutrientes altamente valorados por su aportación a los requerimientos nutricionales que los grupos de población más vulnerables necesitan (infantes y ancianos).

Agradecimientos

A nuestras familias, amigos y vecinos que aceptaron participar en esta investigación llevada a cabo en el marco de las restricciones planteadas por presencia de la pandemia de COVID 19 en México.

Referencias bibliográficas

- Barda B. (2015). Las plantas sagradas mexicanas. *Ciencia*, 66, 3: 48-59. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66-numero-3/599-herbolaria-mexicana-para-el-tratamiento-del-dolor>
- Linares E., Bye R. 2015. Las especies subutilizadas de la milpa. *Revista Digital Universitaria*, 16, 5: 2-22 <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art35/art35.pdf>
- Ribeiro, M., Huber-Sannwald, E., García, L., Peña, F., Carrera, J., Galindo, M.G. (2013). Landscape diversity in a rural territory: Emerging land use mosaics coupled to livelihood diversification. *Land Use Policy*, 30, 1: 814-824. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.007>
- Román-Cortés, N., García-Mateos, M.R., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., Jiménez-Arellanes, A. (2014). Componentes nutricionales y antioxidantes de dos especies de guaje (*Leucaena* spp.): un recurso ancestral subutilizado. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20(2): 157-170 <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2013.07.023>
- Rudebjer, P., Meldrum, G., Padulosi, S., Hall, R., Hermanowicz, E. (2019). *Haciendo realidad la promesa de las especies olvidadas y subutilizadas*. 12 P. Documento en línea https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/user_upload/tx_news/Haciendo_realidad_la_promesa_de_las_especies_olvidadas_y_subutilizadas_1805.pdf

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE ACCESIONES CRIOLLAS SOBRESALIENTES, VARIEDADES E HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL EN EL ESTADO DE TLAXCALA

Rogelio Fernández-Sosa^{1*}, Israel Rojas-Martínez¹, José Luis Arellano-Vázquez¹, Ruth Salome García-Fernando²

SE Tlaxcala, INIFAP. ²CE Valle de México, ³Residente de Universidad para el Bienestar “Benito Juárez García”, Sede Jopala, Puebla.

*Autor para correspondencia: fernandez.rogelio@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Zea Mays*, pigmentado, rendimiento, genotipo-ambiente.

Introducción

México ocupa el quinto lugar a nivel mundial en la producción de maíz (*Zea Mays* L) donde se producen alrededor de 27 millones de t anualmente (CAMPEAR, 2024) con un rendimiento promedio de 4.28 (t/ha), de las cuales 91.5% corresponde a maíz de grano blanco, 8.0% amarillo y el 1.5% a otros colores como rojos, café, negro, rosa, naranja, verde, gris, morado y azul de los cuales de este grupo es el más importante. (INIFAP, 2020). En los valles altos centrales de México se cultivan alrededor de un millón 500 mil ha de maíz, de las cuales 85% se siembran en temporal o secano. Aproximadamente un tercio de los productores de maíz en temporal siembran al menos un tercio de su parcela con maíz azul u otro color, lo que equivale a una superficie de 150 mil ha, en las que se cosechan unas 300 mil t de grano de color. Las principales áreas de cultivo de maíz azul se localizan en los estados de Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo (Miguel *et al.*, 2003). En Tlaxcala de acuerdo al SIAP (2024) se siembran 120,308.00 hectáreas con un 14.82% y 85.18% en condiciones de riego y temporal respectivamente, donde se tienen condiciones que limitan la producción como retraso de la lluvia, presencia de heladas, sequía debido al cambio climático por lo que se requiere realizar evaluaciones de genotipos ya sea criollos o mejorados que permita identificar materiales que se adapten a condiciones específicas de los ambientes con el fin de conocer su adaptabilidad y producción que coadyuve a mitigar los efectos de este fenómeno.

Objetivo

Evaluar 25 genotipos de maíz azul en tres ambientes del estado de Tlaxcala en el ciclo primavera-verano 2024 para conocer su comportamiento agronómico y productividad.

Materiales y Métodos

Material genético

En el ciclo PV 2024 se evaluaron 15 accesiones nativas de maíz azul y 9 variedades mejoradas (5 híbridos, 3 variedades sintéticas y una variedad de polinización libre) y como testigo el criollo local. Las accesiones nativas fueron: ACC 18, ACC 19, ACC 27, ACC 32, ACC 40, ACC 46, ACC 60, ACC 62, ACC 75, ACC 78, ACC 89, ACC 97, ACC 124, ACC 125, ACC 133, los genotipos mejorados fueron: H-5, H-7, H-8, H-16, H-17, VS-05, VS-07, VS-09, GOLONDRINA y criollo local.

Sitios de evaluación

La evaluación se realizó en las localidades de Felipe Carrillo Puerto municipio de Alzayanca (FCP), Rancho El Herradero en San Agustín municipio de Españaita (RHSA) y Muñoz municipio de Muñoz de Domingo Arenas (MDA) como se ilustra en la figura 1. La siembra de los ensayos fue el 22 de mayo en la localidad de FCP, el 24 de mayo en RHSA y el 18 de junio en MDA.

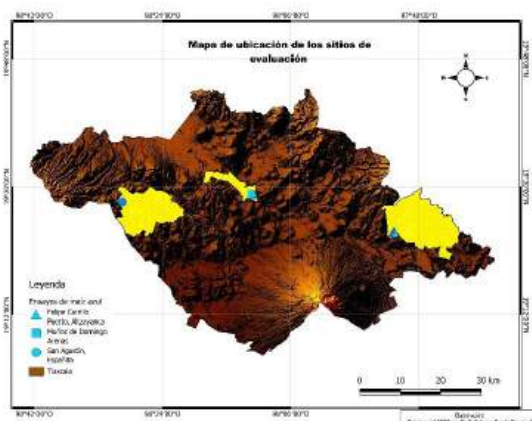


Figura 1. Ubicación de

sitios de evaluación.

Diseño experimental

Bloques completos al azar con 3 repeticiones. La parcela experimental fue de 4 surcos de 5 m con separación de 0.80 m y la parcela útil 2 surcos centrales.

Manejo agronómico

La densidad de población fue de 50 mil pl/ha. El control de la maleza se realizó con Gesaprim calibre 90 a razón de 1.0 kg/ha en pre emergencia al cultivo y a la maleza. La fórmula de fertilización fue 140-60-30 (NPK) aplicando en banda la mezcla del 50% de nitrógeno y todo el fósforo y potasio a la siembra y el resto del nitrógeno en la escarda a los 50-55 dds.

Variables agronómicas registradas

Se registraron variables **de la planta**: densidad de población en miles de pl/ha (**DP**), días a floración (**DF**), altura de planta (**AP**) y mazorca en cm (**AM**), porcentaje de hijos (**PHIJ**), porcentaje de esterilidad (**PEST**), porcentaje de cuateo (**PCU**), porcentaje de acame de tallo (**PAT**) y de raíz (**PAR**) y los **componentes del rendimiento** como: longitud (**LM**) y diámetro de mazorca en cm (**DM**), hileras de granos por mazorca (**HM**), granos por hilera (**GH**), diámetro de olote en mm (**DO**), peso volumétrico en g/L (**PV**), peso de 100 semillas en g (**PCS**) y rendimiento de grano al 14% de humedad en kg/ha (**REN**).

Análisis estadístico

Con las variables registradas se realizó el análisis de varianza combinado y la comparación de medias (Tukey 0.05) con el software SAS versión 9.1 2014.

Resultados y Discusión

Registro de precipitación en estaciones climatológicas

En la figura 2 se presenta la distribución de lluvia de enero a diciembre de las estaciones climatológicas representativas de tres estaciones cercanas a las localidades de evaluación, donde el menor registro de precipitación fue en la estación Calpulalpan con 684.8 mm, de los cuales el 90.8% (621.7mm) se presentó en el periodo de mayo a octubre y en canícula se tuvieron 329.5 mm. En Cuapiaxtla se registraron 707.7 mm, de los cuales el 93.2% (659.4 mm) se presentaron de mayo a octubre con una presencia de lluvia en canícula de 168.2 mm. En la estación San José Atlanga se tuvieron 820 mm, de los cuales el 92.3% (756.5 mm) se presentó en el periodo de mayo a octubre y en canícula de 330 mm. La temperatura de enero a diciembre osciló de 12.2 a 20.8 C° con un promedio de 15.11 C° en la estación de Cuapiaxtla; 10.6 a 20.8 C° con promedio de 15.03 C° en la estación de San José Atlanga y 11.3 a 19 C° con promedio de 16.33 C° en Calpulalpan. En donde los meses de abril a junio se observa el mayor promedio de la temperatura.

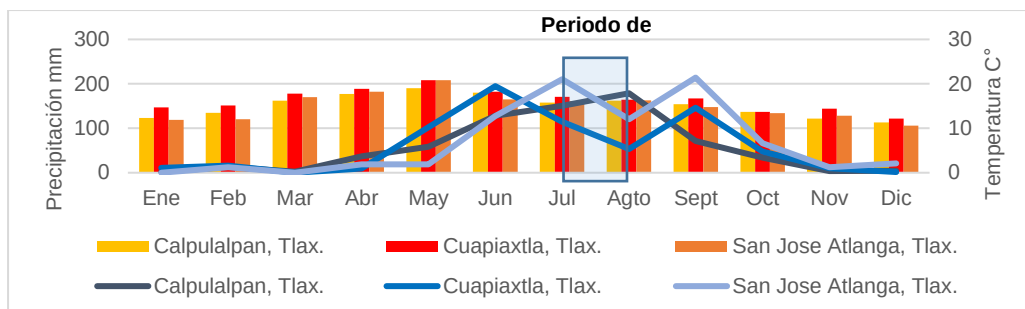


Figura 2. Distribución de la precipitación y temperatura registradas en las estaciones climatológicas cercanas a las localidades de evaluación en Tlaxcala, 2024.

Comportamiento agronómico de accesiones nativas de maíz azul.

Análisis de varianza combinado.

En el cuadro 1 se presenta el resumen del análisis de varianza combinado por variable registrada en las tres localidades, donde para el factor Localidad (LOC) todas las variables presentaron significancia estadística ($P < 0.01$), excepto NHM que fue no significativa. Para el factor Genotipo (GEN) todas las variables presentaron significancia estadística ($P < 0.01$) y GH significancia ($P < 0.05$). En la interacción LOC*GEN todas las variables presentaron significancia estadística ($P < 0.01$), excepto DM y DOL con significancia ($P < 0.05$) y NHM y GH fueron no significativas. El CV osciló de 0.7 hasta 12.2% para REN, PVOL y PEST, respectivamente.

Cuadro 1. Resumen del ANOVA combinado y el cuadrado medio del error, media y CV para las variables registradas en el ensayo de accesiones de maíz azul en tres localidades de Tlaxcala, 2024.

VARIABLE	GENOTIPO GEN	LOCALIDAD LOC	GEN*LOC	MEDIA	CV (%)
DP	46.8 **	5466.4**	57.3**	44.1	6.0
PHIJ	768.2**	18819.4**	193.1**	24.9	9.7
AP	1062.0**	29341**	572.9**	232.0	3.2
AM	1297.1**	21606.5**	474.9**	128.4	2.0
DFF	439.5**	7700.1**	413.0**	100.0	2.2
DFM	473.6**	11410.0**	469.7**	98.7	1.1
PEST	138.9**	525.0**	112.8**	12.1	12.2
PCU	446.5**	7245.7**	286.6**	15.5	9.7
PAR	545.9**	30493.1**	361.9**	22.2	9.1
PAT	241.0**	3928.2**	244.3**	14.2	10.0
PCOB	124.0**	7094.9**	145.7**	85.0	2.2
LM	7.8 **	669.0**	8.4**	16.2	6.4
DM	0.2**	69.2**	0.1*	4.9	5.8
NHM	3.2**	1.7 ns	1.1ns	15.2	6.2
GH	7.4*	536.6**	5.7ns	26.5	7.9
DOL	7.1**	48.4**	4.5*	23.8	6.9
PCS	41.4**	7199.5**	25.5**	35.7	5.7
PVOL	3245.7**	72220.6**	1803.8**	675.4	0.7
REN	2463916.8**	214461892.1**	2894047.0**	5810.6	0.7

Densidad de población en miles de pl/ha (DP), porcentaje de hijos (PHIJ), altura de la planta (AP) y altura de la mazorca en cm (AM), días a floración femenina (DFF) y días a floración masculina (DFM), porcentaje de esterilidad (PEST), porcentaje de cuateo (PCU), porcentaje de acame de raíz (PAR), porcentaje de acame de tallo (PAT), porcentaje de cobertura de mazorca (PCOB), longitud de la mazorca (LM) y diámetro de la mazorca en cm (DM), número de hileras por mazorca (NHM), granos por hilera (GH), diámetro del olote en mm (DOL), peso de cien semillas en g (PCS), peso volumétrico en g/L (PVOL) y rendimiento de grano al 14% de humedad en kg/ha (REN). **= Significancia al $P < 0.01$, *= significancia $P < 0.05$ y ns= no significativa.

Comparación de medias por localidad.

En el cuadro 2a se presenta la comparación de medias (Tukey 0.05) por localidad de las variables registradas, donde el mayor REN promedio se tuvo en RHSA con 7497.3 kg/ha, seguido de FCP con 5819.6 kg/ha y MDA con 4115.8 kg/ha donde no existe diferencia estadística en ambas. El porcentaje de cuateo fue de 24.5%, 16.9% y 24.5%, en ese orden. Con relación a DFM y AP se tuvo 94, 112.7 y 89.4 días; 254.8, 218.8 y 222.4 cm, respectivamente.

Cuadro 2a. Resumen del análisis de comparación de medias registradas en el ensayo de accesiones de maíz azul en las tres localidades, 2024.

LOCALIDAD	VARIABLES								
	REN	DP	PHIJ	AP	AM	DFF	DFM	PEST	PCU
FCP	5819.2 c	36.9 c	38.2 a	218.8 c	112.9 c	111.6 a	112.7 a	15.2 a	16.9 b
MDA	4115.3 c	53.5 a	29.1 b	222.4 b	125.8 b	93.0 c	89.4 c	10.5 b	5.0 c
RHSA	7497.3 a	41.9 b	7.4 c	254.8 a	146.5 a	95.3 b	94.0 b	10.7 b	24.5 a
DMS	15.95	1.02	0.94	2.89	1.02	0.8	0.4	0.57	0.57

El Porcentaje de acame total (PAT+PAR) se tuvo un 56.7, 31.3 y 21.4% para RHSA, MDA y FCP respectivamente. La mayor LM se tuvo en RHSA con 19.5 superando con 4.2 y 5.8 cm a las localidades de FCP y MDA, así también las variables que presentaron mayor valor fueron PCS y PVOL con 47.0 gr y 700.1 gr/L, mientras que en FCP y MDA fueron de 30.7 y 29.4 g y, 685.6 y 640.6 gr/L respectivamente, lo cual indica que el cultivo en RHSA se afectó menos por la falta de agua de lluvia y helada en la etapa de llenado de grano en comparación a las otras localidades (Cuadro 2b).

Cuadro 2b. Resumen del análisis de comparación de medias registradas en el ensayo de accesiones de maíz azul en las tres localidades, 2024.

LOCALIDAD	VARIABLES									
	PAR	PAT	PCOB	LM	DM	NHM	GH	DOL	PCS	PVOL
FCP	0.9 c	20.8 a	86.5 b	15.3 b	3.8 c	15.3 a	28.5 a	24.5 a	30.7 b	685.6 b
MDA	24.8 b	6.5 c	93.9 a	13.7 c	5.3 b	15.0 a	23.5 c	22.9 c	29.4 c	640.6 c
RHSA	41.0 a	15.4 b	74.6 c	19.5 a	5.7 a	15.1 a	27.6 b	23.8 b	47.0 a	700.1 a
DMS	0.77	0.54	0.73	0.4	0.1	0.3	0.8	0.6	0.78	1.79

Análisis de varianza y comparación de medias por localidad.

Felipe Carrillo Puerto.

El análisis de varianza presentó significancia estadística ($P < 0.01$) para todas las variables, excepto DFF, DM, NHM, GH y DOL que fueron no significativas. El CV osciló de 0.7 hasta 33.19% para DFM y REN y, PAR, respectivamente. La comparación de medias (Tukey 0.05) presento para REN un rango de 4600 a 7469 kg/ha para la accesión 27 y la variedad VS-05, respectivamente. Los genotipos con mayor rendimiento fueron VS-05, H-8, ACC 60, ACC 97 y Golondrina con 7469, 7409, 7369, 7145 y 7079 kg/ha, y con DFM de 113, 111, 113, 114 y 113 días; AP de 212.6, 210.0, 222.3, 213.3 y 227.6 cm y Porcentaje de acame total (PAT+PAR) de 37.9, 19.1, 22.2, 30.5 y 9.8%, respectivamente.

Muñoz

El análisis de varianza presentó significancia estadística ($P < 0.01$) en todas las variables registradas, excepto DFF, DFM, LM y GH que fueron no significativas. El CV osciló de 0.54 hasta 16.76% para REN y PAT, respectivamente. En la comparación de medias REN se tuvo un rango de 2912.7 a 5348.3 kg/ha para H-17 y la ACC 75, respectivamente. Los genotipos con mayor rendimiento fueron ACC 52, ACC 36, ACC 48, ACC 42 y Criollo local con 5348.3, 5186.7, 5151.3, 5149.0 y 4955.3 kg/ha; con DFM de 89, 89, 90, 89 y 89 días; AP de 191, 235.6, 222.6, 230 y 222.3 cm y porcentaje de acame total (PAT+PAR) de 46, 56, 44.9, 9.1 y 40.9%, respectivamente.

Rancho El Herradero San Agustín

En el análisis de varianza todas las variables presentaron significancia estadística ($P < 0.01$) excepto DM y GH que tuvieron significancia ($P < 0.05$). El CV osciló de 0.28 hasta 17.96% para PVOL y PHIJ, respectivamente. En la comparación de medias REN tuvo un rango de 5536 a 10658 kg/ha para la accesión ACC 27 y VS-09, respectivamente. Los genotipos con mayor rendimiento fueron VS-09, ACC 40, ACC 125, H-16 y ACC 18 con 10658, 9517, 8788, 8773 y 8770 kg/ha con 104, 97, 103, 98 y 94; DFM; AP de 243.6,

249.0, 275.0, 250.6 y 248.6 cm y Porcentaje de acame total (PAT+PAR) de 34, 46.4, 52.3, 33.5 y 41.8%, respectivamente.

Conclusiones

Los genotipos evaluados mostraron buen potencial de rendimiento en los tres ambientes de estudio, donde en RHSA se tuvo la mejor respuesta de rendimiento de grano, debido a las condiciones agroclimáticas en esta región. Se identificaron accesiones criollas con rendimientos que superan 5.0 t/ha con un comportamiento similar a los híbridos, por lo que representan una opción en áreas con condiciones limitantes de clima y suelo para la producción de maíz en el estado de Tlaxcala. Por su parte las variedades sintéticas VS-05 y VS-09 y los híbridos H-8 y H-16 fueron los genotipos mejorados sobresalientes.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Los resultados son parte del proyecto: "Fortalecimiento del programa de mejoramiento genético del cultivo de maíz para Valles Altos y Zonas de Transición, donde está contenido el subproyecto 4: *"Colección y evaluación in situ de accesiones nativas de maíz en condiciones agroclimáticas extremas en el estado de Tlaxcala"*. Fuente financiera: INIFAP, recursos propios.

Referencias bibliográficas

CAMPEAR. DATA DE CAMPO NOTICIAS DEL AGRO (16 de AGOSTO de 2024). *Maíz: cuáles son los 10 máximos productores a nivel mundial*. Obtenido de datadecampo.com: <https://datadecampo.com/agricultura/maiz-10-productoresmundial/#:~:text=El%20listado%20completo%20de%20los%20m%C3%A1ximos%20productores%20de,23%2C2%20mt%208%20Francia%3A%2017%2C5%20mt%20M%C3%A1s%20elementos>.

Consultado en marzo 2025.

INIFAP. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. (14 de ENERO de 2020). *Maíz azul: coloreando nuestras tradiciones*. Obtenido de [www.gob.mx](https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/maiz-azul-coloreando-nuestras-tradiciones?idiom=es): <https://www.gob.mx/inifap/es/articulos/maiz-azul-coloreando-nuestras-tradiciones?idiom=es>. Consultado en marzo 2025.

MA Miguel, JL Arellano V, G García, S Miranda, MJ Apolinar, G Felix V (2003). Variedades criollas de maíz azul raza chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 27, núm. 1, enero-marzo, 2004, pp. 9-15. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C.Chapingo. Consultado en marzo 2025.

DISTRIBUCIÓN ACTUAL Y FUTURA DE QUELITES XONEQUI Y TEQUELITE, ESPECIES SUBUTILIZADAS EN MÉXICO

Francisco Fabián Calvillo-Aguilar^{1*}, Marco Aurelio Aragón-Magadán¹, Martín Quintana-Camargo¹, Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Gabriela Sandoval Cancino¹, Juan Manuel Pichardo-González¹

¹Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP

*Autor para correspondencia: calvillo.francisco@inifap.gob.mx

Palabras clave. MaxEnt, distribución potencial, quelites.

Introducción

Uno de los grupos de especies vegetales de mayor importancia cultural en México son los quelites, un conjunto de plantas herbáceas no cultivadas, fomentadas y, en algunos casos, toleradas, presentes principalmente en el sistema de producción milpa (CONABIO, s.f.). Los quelites forman parte fundamental de la gastronomía del centro y sur del país, especialmente en regiones donde predomina la agricultura tradicional o de subsistencia. Además, proveen un complemento alimenticio esencial para muchas comunidades, ya que son fuente importante de nutrientes como hierro, calcio y fibra (Santillán, 2018). Pese a su relevancia en la seguridad alimentaria, las especies de quelites no cultivadas, como el xonequi (*Ipomoea dumosa* Benth. L.O. Williams) y el tequelite (*Peperomia peltolimba* C.DC. ex Trel) (Figura 7), podrían estar en mayor riesgo ante los cambios ambientales globales, debido a su aprovechamiento sin cultivo, la disminución de las prácticas agrícolas tradicionales y su reemplazo por métodos de producción más intensivos.

La pérdida de estas especies no solo representa una amenaza para la diversidad biológica, sino también para el patrimonio cultural y culinario de las comunidades rurales. La falta de documentación, comercialización y estrategias de conservación de los quelites pone en riesgo su permanencia, especialmente entre las nuevas generaciones que tienden a desconocer su valor. Por ello, es fundamental promover su estudio, cultivo y consumo responsable, así como integrar estos saberes tradicionales en políticas públicas enfocadas en la seguridad alimentaria, la sustentabilidad y la soberanía alimentaria del país.

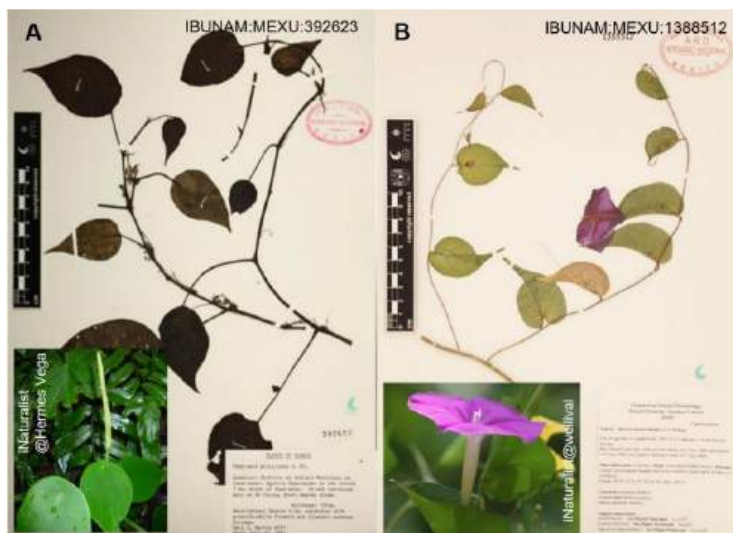


Figura 6. Tequelite (A) y Xonequi (B), *Peperomia peltolimba* y *Ipomoea dumosa* respectivamente, especies de quelites no cultivados y de consumo alimenticio en México.

Considerando la relevancia ecológica, socioeconómica y el rescate del conocimiento cultural, en el presente trabajo se realizó la modelación de distribución potencial actual y bajo escenario de cambio climático de los quelites Xonequi y Tequelite identificando el cambio en su distribución geográfica y con ello enfatizando en las acciones de preservación de estos importantes recursos subutilizados.

Objetivo

Determinar la distribución actual y futura bajo escenario de cambio climático, de dos especies de quelites mexicanos no cultivados y de aprovechamiento alimenticio, tequelite (*Peperomia peltolimba* C.DC. ex Trel) y xonequi (*Ipomoea dumosa* Benth.L.O. Williams).

Materiales y Métodos

Se realizó la revisión bibliográfica sobre las diferentes especies de quelites en México, identificando aquellas consideradas como silvestres (no cultivadas y no toleradas), y que formaran parte de la diversidad gastronómica nacional. Posteriormente, se realizó un filtrado de datos de ocurrencias disponibles en el portal Global Biodiversity Information Facility (GBIF), descartando las especies con datos insuficientes para realizar el modelado de nicho y de distribución espacial, seleccionando así las especies *Peperomia peltolimba* C.DC. ex Trel e *Ipomoea dumosa* Benth.L.O. Williams.

La modelación de nicho ecológico y distribución espacial se realizó en la aplicación Wallace 2.2 (Kass *et al.*, 2023), ejecutándose en el software RStudio v2024.12.1; el *background* se definió como un polígono mínimo convexo sobre las ocurrencias presentes en México. Las variables ambientales consideradas fueron las 19 capas del WorldClim (Fick and Hijmans, 2017) a una resolución de 2.5 minutos. El algoritmo de modelado utilizado fue MaxEnt, seleccionado para ambas especies los modelos con un mayor rendimiento (Area Under the Curve - AUC), menor tasa de omisión (Omission Rate - OR) y menor valor de AICc (Criterio de información de Akaike corregido).

Una vez obtenido el modelo de nicho y distribución espacial actual, se realizó la transferencia para un escenario de cambio climático 2041-2060, considerando el modelo de circulación global MPI-ESM1-2-HR y una ruta socioeconómica SSP5-8.5, la cual considera un incremento en la temperatura mayor a 4°C. La visualización, edición y estadísticas zonales de los archivos ráster se realizó en el software de información geográfica QGIS v.3.40.6.

Resultados y Discusión

Se obtuvo el mapa de distribución potencial actual y futuro, considerando un escenario de cambio climático SPP5 8.5, de las dos especies de quelites mexicanos, xonequi (*Peperomia peltolimba* C.DC. ex Trel) y tequelite (*Ipomoea dumosa* Benth.L.O. Williams), obteniendo un rendimiento de los modelos AUC de 0.82 y 0.77 respectivamente. Los mapas muestran que existe una contracción de las regiones óptimas y subóptimas comparativamente entre el periodo actual 1970-2000 y el periodo futuro 2041-2060 (Figura 7). Considerando valores de probabilidad de ocurrencia de ambas especies sobre el 0.75, se obtuvo una reducción de la superficie disponible del 35.1% para xonequi y del 36.1% para el tequelite (cuadro 1).

Cuadro 3. Superficie de distribución geográfica disponible para los quelites, Xonequi y Tequelite, media actual y proyectada en escenario de cambio climático SSP 8.5.

Especie	No. De pixeles >0.75		Diferencia (%)
	1970-2000	2041-2060	
<i>Ipomoea dumosa</i>	2829	992	64.9
<i>Peperomia peltolimba</i>	1244	458	63.1

El estudio mostró el efecto que tendrá el cambio climático en especies subutilizadas como los quelites, sin embargo, el análisis se realizó solo en dos especies de las más de 350 especies comestibles que se reportan en México (CONABIO, s.f.), debido a la insuficiencia de datos de ocurrencias y otros recursos disponibles. Por tanto, se identifica como relevante realizar el mismo estudio con el resto de las especies, permitiéndose incluir información de 2° y 3° orden para el compilado de suficientes ocurrencias y otros datos ambientales asociados.

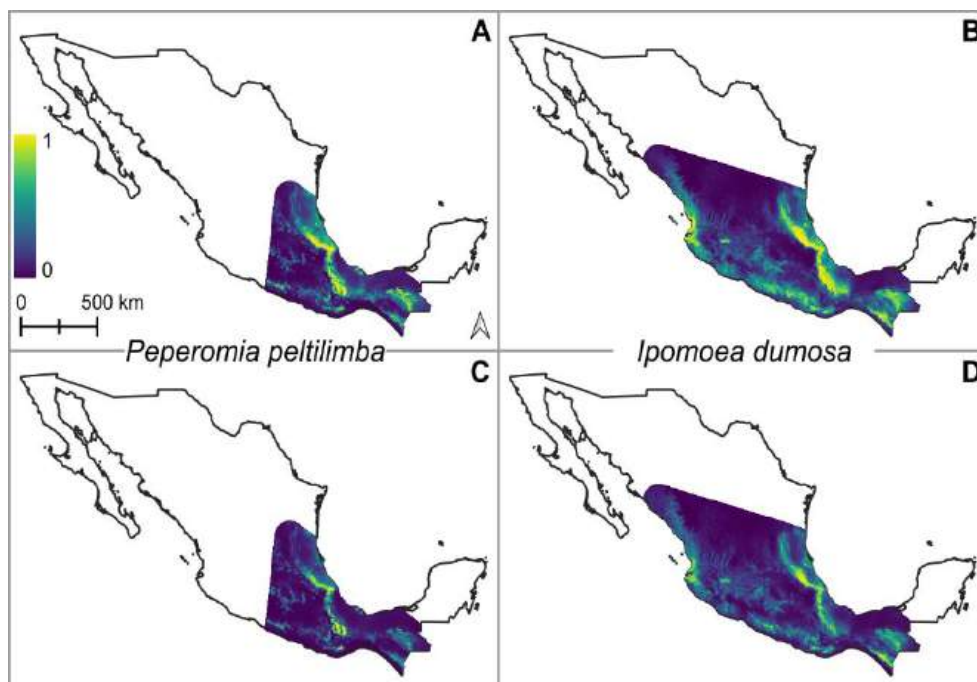


Figura 7. Mapa de distribución actual (A y B) y modelación futura del periodo 2041-2060 considerando el escenario SPP 8.5 (C y D) de los quelites mexicanos, *Peperomia peltimba* e *Ipomoea dumosa*.

Conclusiones

Si bien los cultivos y sus parientes silvestres son prioritarios en la adaptación al cambio climático, revalorizar las especies subutilizadas como los quelites, puede contribuir a realizar su rescate y con ello nuevos esquemas de aprovechamiento que potencien su uso y preservación.

Agradecimientos y Fuente financiera

Externamos agradecimiento al INIFAP quién brindó el apoyo institucional para el desarrollo del presente estudio.

Referencias bibliográficas

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s.f.). *Quelites*. Disponible en: <https://biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/quelites>.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- Kass JM, Pinilla-Buitrago GE, Paz A, Johnson BA, Grisales-Betancur V, Meenan SI, Attali D, Broennimann O, Galante PJ, Maitner BS, Owens HL, Varela S, Aiello-Lammens ME, Merow C, Blair ME, Anderson RP. (2023). wallace 2: a shiny app for modeling species niches and distributions redesigned to facilitate expansion via module contributions. *Ecography*, Volume 2023(3), e06547. <https://doi.org/10.1111/ecog.06547>.
- Santillán, M. L. (2018). *Especial Quelites: plantas valiosas para la agricultura y la alimentación mexicana*. Ciencia UNAM. Recuperado de <https://ciencia.unam.mx/leer/736/especial-quelites-plantas-valiosas-para-la-agricultura-y-la-alimentacion-mexicana>.

VALORACIÓN ECONÓMICA, BIOCULTURAL Y SOSTENIBLE DE LA PENCA DE Maguey PARA EXPORTACIÓN EN ZEMPOALA, HIDALGO

Paola Carolina Gómez-Carreño^{1*}, María Janet Fuentes-Castillo¹, Mercedes Aurelia Jiménez-Velázquez¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: gomez.paola@colpos.mx

Palabras clave. Altiplanicie pulquera, evaluación financiera, transición agroecológica.

Introducción

México es considerado centro de origen del género *Agave*. especialmente en el centro del país, donde la planta de maguey pulquero (*Agave salmiana*) ha sido utilizada desde épocas prehispánicas utilizando dicha planta de forma integral, desde las raíces hasta la punta de sus flores. Al presente, la industria pulquera, es económicamente viable y contribuye al etnodesarrollo de la Altiplanicie Pulquera hidalguense. (Narváez, Jiménez & Cruz, 2016)

Los usos del agave pulquero pueden dividirse en tres fases de acuerdo al grado de tecnología que se aplique en cada una de ellas. La primera comprende todos aquellos productos que se han obtenido de la misma manera durante miles de años de forma artesanal, utilizando tecnología agrícola tradicional. La segunda fase comprende la adición de valor agregado y la utilización de una dosis mayor de tecnología para obtener productos adicionales de la planta de maguey. La tercera fase comprende la obtención de productos derivados del agave pulquero gracias a la aplicación de biotecnología de reciente descubrimiento, como es el caso de la obtención de inulina y biocombustible. El pulque enlatado entra en esta tercera fase. En conjunto las tres fases conforman una biocascada de productos que pueden obtenerse de la planta de maguey pulquero. (Narváez, Jiménez & Cruz, 2016)

En el caso de la penca de maguey puede aprovecharse desde que la planta tiene tres años y hasta que la misma es adulta. Es un producto muy solicitado por la industria gastronómica para preparar diversos alimentos. Este producto alcanza precios de 10 y 25 pesos por una sola penca en el estado de Hidalgo, sin embargo, para la exportación dicho precio se duplica puesto que se cobra en dólares, vendiéndose a 3 dólares por promedio por penca de maguey.

En 2013, la demanda de pencas para barbacoa se estimó en 6.8 millones solo en el estado de Hidalgo, para 2020 se estima una demanda de más de 8.5 millones para lo cual serán necesarias 2.9 millones de plantas maduras (SIAP, 2020); considerando estos datos y que en Estados Unidos existen más de 80,000 restaurantes de comida mexicana, se asegura que la producción tenga una venta asegurada.

La conservación de la biodiversidad es importante por sí misma para los cultivos ya que el maguey atrae diferentes polinizadores y otros animales cuya cadena trófica es esencial como control biológico de plagas, entre los animales que atrae son abejas, colibríes, avispas, palomillas, murciélagos, serpientes, cacomixtles, ratones, tlacuaches, liebre, armadillo, tejón, tuza, camaleones, lagartijas y hormigueros entre otros. Alrededor de la planta crecen diferentes plantas que pueden servir como remedio medicinal o como alimento, por citar algunas se encuentran el hongo de maguey, la campanilla, el marrubio, la jarilla, etc. (INAFED, 2018)

Tanto en la Altiplanicie Pulquera Hidalguense como en el resto del altiplano mexicano ha disminuido paulatinamente el cultivo de maguey sustituyéndose por cebada, pero aún se conserva la tradición y existen algunas organizaciones de productores trabajando para que no se pierda y poder vivir dignamente de este cultivo; lo cual hace relevante la búsqueda de alternativas que permitan el desarrollo económico y la conservación biocultural del maguey, no sólo por el valor cultural sino también a nivel de biodiversidad.

Objetivo

Analizar el nivel socioeconómico de una empresa familiar de Zempoala, Hidalgo, que fue fundada en el año 2020 y que en los últimos tres años ha incursionado en el mercado gastronómico en Estados Unidos, de manera particular como proveedor principal de penca de maguey para la preparación de barbacoa de borrego, principalmente, además, del ximbo o el ximbote, y con diferentes tipos de carnes como pollo, puerco o res.

La importancia de este análisis no solo es porque representa una oportunidad de crecimiento económico, sino también porque contribuye a la conservación biocultural del manejo del maguey, dejando en claro que

la preservación de tradiciones y la sustentabilidad se pueden unir para lograr el desarrollo rural en la zona de la Altiplanicie Pulquera en Hidalgo.

Materiales y Métodos

Para cumplir con el objetivo, se desarrolla con una viabilidad económica del aprovechamiento y exportación de la penca de maguey, considerando sus aplicaciones en la economía local, la rentabilidad esperada y la sostenibilidad financiera en el tiempo. Se calcula los indicadores financieros más importantes: Valor Actual Neto, Relación Beneficio-Costo y la Tasa Interna de Retorno. Estos resultados se integrarán para determinar la viabilidad económica, riesgos críticos y sugerir recomendaciones para una gestión financiera sostenible, incluyendo reinversión comunitaria, diversificación de productos derivados y alianzas comerciales. (García, 2012)

Resultados y Discusión

Para el presente análisis socioeconómico se tiene considerada la producción anual de 6533 plantas en la parcela familiar, donde cabe mencionar que de cada planta se pueden cortar de 2 a 4 pencas, por lo tanto, se tienen disponibles a la venta un mínimo de 13, 066 pencas y un máximo de 26, 132 pencas. Además, la producción de la penca de maguey mantiene principios agroecológicos al ser libre de fertilizantes químicos o de algún tipo de herbicida químico, ya que la producción se basa en uso de compostas para la fertilización y el manejo agroecológico de plagas como complemento para ofrecer un producto de alta calidad. Es importante señalar que, al tratarse de una hectárea de producción, el manejo agronómico se basa principalmente en el trabajo familiar, aunado con el pago de jornaleros para las actividades más demandantes como el deshierre.

La venta se basa en un paquete de 12 pencas que se utilizaría normalmente para la elaboración de barbacoa de un borrego. Dando, así como resultado un stock de ventas de 2177 paquetes, donde cada paquete costaría 40 dólares a menudeo y 35 dólares a mayoreo, con un estimado de ventas de 1,371, 510 pesos anuales; situación que además de rentable resulta sostenible puesto que la venta de 250 paquetes equivale a 3000 pencas o hijuelos vendidos que significa rebasar el punto de equilibrio estimado para el segundo año de producción donde se requiere vender por lo menos 1220 hijuelos que equivalen al 18.8% de la capacidad de producción; en cuanto al segundo año de ventas los 500 paquetes equivalen a 6000 piezas de penca o hijuelos que representan el 20.93% de la producción y aseguran se rebase el punto de equilibrio de 4,020 piezas, situación que de mantenerse de esa forma asegura para los siguientes años que con un mínimo de producción del 12% se estaría alcanzando el punto de equilibrio de la empresa familiar dejando un margen de ganancia considerable.

Dando como resultado que durante la vida útil de la empresa se estima a obtener una utilidad neta de \$202,834.00 pesos (VAN), con una Relación Beneficio/Costo que se calcula que por cada peso invertido se tendrán 21 centavos de beneficios; como último indicador la Tasa Interna de Retorno (TIR) que nos asegura que se recupera la inversión y se obtiene una rentabilidad en promedio de 56.39%; por lo tanto, dicha empresa familiar de exportación de penca de maguey se presenta como sostenible y rentable considerando cualquiera de los anteriores criterios de evaluación.

En una plantación de maguey comienza a ver ganancias desde el tercer año de establecida la plantación y conforme avanza el tiempo y desarrollo de la planta los subproductos e ingresos crecen exponencialmente. En el caso de la plantación de tres años se realizó una proyección a seis años, aunque el ciclo de vida del maguey llega hasta los 10 años en promedio, por lo cual la empresa podría continuar siendo rentable e incluso con la posibilidad de diversificar con varios productos de la biocascada propuesta es aún más rentable, incluso considerando una inversión extra en tecnología y equipo, pero los beneficios resultarían aún más rentables.

Para el análisis de sensibilidad se evaluó un incremento de costos, decremento de precio de venta y decremento en cantidad de producto. Como resultado en el cuadro 1 se puede apreciar que la empresa familiar de exportación de penca de maguey sigue siendo rentable aún con un incremento de costos en un 20.9%, incluso podría soportar una caída en el precio de venta del 17.3% y sería aun así rentable, finalmente en la producción podría caer hasta un 36.4% y se continuarían recibiendo beneficios.

Cuadro 1. Análisis de sensibilidad

VARIABLE	CAMBIO	VAN	TIR	R B/C
BASE		202,834	55.39%	1.21
Incremento en Costos	20.90%	2,089	28.87%	1.0018
Decremento en Precio de venta	-17.30%	1,577	28.85%	1.0016
Decremento en cantidad de producto	-36.40%	2,168	28.83%	1.0023
TREMA	28.61%			

Por lo tanto, la empresa familiar de exportación de penca es más sensible al precio de venta, pero muestra un buen margen para el decremento de la cantidad de producto, lo cual sigue presentando a la misma como sostenible y rentable pese a los escenarios planteados de crisis que pudiera presentarse.

Conclusiones

La diversidad biocultural de la penca del maguey es un pilar fundamental dentro de la comunidad de Zempoala, Hidalgo ya que representa sin duda alguna un sistema agrícola exitoso siendo sostenible, resiliente y justo, donde la cultura y la naturaleza se entrelacen para asegurar la productividad, la oportunidad de integrarse a un mercado internacional y garantizar el bienestar local mediante rentabilidad y manejo agroecológico del cultivo.

Uno de los principales retos es la rapiña por parte de los mixioteros y penqueros, la nula o escasa aplicación de la ley de protección al maguey en el estado de Hidalgo, el acaparamiento de los intermediarios y la amenaza que representan las empresas cerveceras, que ponen en riesgo la cultura en torno al maguey que está tan fuertemente enraizada desde la época prehispánica.

Por lo cual, es importante reconocer la potencialidad económica del maguey que no solo representa identidad y tradición, sino que permite la generación de empresas y desarrollo rural que contrarreste el escaso relevo generacional para que los jóvenes vean al maguey y el campo en general como una oportunidad de conservación biocultural y crecimiento económico.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Una especial mención y agradecimiento al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo por el apoyo económico y las facilidades brindadas para la realización de la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- García, O. (2012). Evaluación de proyectos agropecuarios. Trillas.
- INEGI, Censo de Población y Vivienda, (2020). Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo. INAFED. (2018). Municipal. Recuperado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM13hidalgo/regionalizacion.html>
- Narváez S.; Jiménez V.; Martínez T.; Cruz B. (2016). "Maguey pulquero (Agave salmiano): Opción para desarrollo rural." Agroproductividad. Año 9, Volumen 9, Número 10. octubre 2016, pp. 56-62. Colegio de Postgraduados.
- SIAP. (2020). Sistema de Información Agrícola y Pecuaria. Estadística de producción agrícola Secretaría de Agricultura. Recuperado de: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>.

DIVERSIDAD DE MALEZA PRESENTES EN CULTIVOS AGRÍCOLAS DEL MUNICIPIO DE MUNA, YUCATÁN

Mónica Guadalupe Lozano-Contreras^{1*}, Wilson Idelfonso Avilés-Baeza¹

¹CE Mocochoá, INIFAP

*Autor para correspondencia: lozano.monica@inifap.gob.mx

Palabras clave. Diversidad, dominancia, índice de valor de importancia.

Introducción

La presencia de maleza puede generar afectaciones en los sistemas agrícolas tropicales debido a la competencia que esta establece con los cultivos por factores esenciales para su desarrollo y producción como la luz solar, el agua, los nutrientes y el espacio físico. Además de la competencia, la maleza puede también ocasionar daños por efectos alelopáticos y funcionar como hospedera de plagas y enfermedades, afectando con ello el crecimiento y productividad. Si no se implementan medidas de manejo oportunas, las reducciones en el rendimiento pueden llegar a ser irreversibles, disminuyendo la rentabilidad y provocando pérdidas económicas significativas. El manejo del problema implica el conocimiento de las especies asociadas a los cultivos para determinar su composición florística y las especies dominantes, el nivel de daño que generan y el período crítico durante el cual ejercen sus efectos detrimentales.

El municipio de Muna, ubicado en el sur de Yucatán, se caracteriza por una economía fuertemente basada en la agricultura, centrada principalmente en la producción de granos básicos, cítricos y hortalizas. Entre estas últimas, la producción de chiles y tomates destaca como la actividad agrícola de mayor inversión y rentabilidad.

Debido al clima tropical subhúmedo que prevalece en la región, la dominancia de suelos luvisoles y el uso de riego presurizado para el manejo de estos cultivos, la presencia de maleza constituye un problema recurrente en las plantaciones. Este desafío se aborda mediante diversas prácticas, entre ellas el rastreo de suelos, el deshierbe manual y la aplicación de herbicidas de contacto y sistémicos no selectivos.

Objetivo

Con el objeto de iniciar un proceso de mejora de las prácticas actuales de manejo, se llevó a cabo el presente estudio para conocer y caracterizar las especies de maleza asociada a los cultivos de chile habanero y tomate en el municipio, su diversidad y especies dominantes.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio. El estudio se llevó a cabo en el municipio de Muna, Yucatán, durante dos ciclos agrícolas consecutivos del periodo otoño-invierno (Cuadro 1), abarcando los meses de septiembre a diciembre de 2022 y 2023. Se evaluaron parcelas con distintos cultivos hortícolas y frutales, incluyendo: 1) chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) híbrido Izamal, trasplantado a los 35 días; 2) tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido DRD8551, trasplantado a los 21 días; 3) chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) variedad Jaguar, con 15 días de trasplante; y 4) naranja dulce (*Citrus sinensis* L.) variedad Valencia Late, con seis meses de trasplante.

Identificación taxonómica. La identificación taxonómica de las especies de maleza se llevó a cabo mediante la recolección de plantas adultas en estado reproductivo (con flores, frutos y semillas), complementada con fotografías detalladas de sus características morfológicas. Estas muestras fueron comparadas con información botánica de instituciones mexicanas como la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Tierra, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), siguiendo la metodología descrita por Avilés-Baeza *et al.* (2022).

Cuadro 1. Ubicación de los cultivos, localidad y municipio del estudio.

Parcela	Coordenadas	Municipio	Cultivo	Tipo de suelo
José López Portillo N°3	20° 24' 52" LN 89° 29' 41" W	Muna, Yucatán	Tomate	Vertisol* (K'ankab lu'um)*
	20° 24' 52" LN 89° 48' 30" W		Naranja dulce	
Leopoldo Arana Cabrera	20° 24' 52" LN 89° 44' 31" W		Chile habanero ¹	Gleysol* (Ak'al che')*
	20° 24' 52" LN 89° 44' 31" W		Chile habanero ²	*Luvisol *K'ankab lu'um

*Con base en la Base de Referencia Mundial de Suelos (WRB), y *De acuerdo a la clasificación maya de suelos (Bautista y Zinck 2012). (¹CH: chile habanero-Parcela 1, ²CH: chile habanero-Parcela 2).

Monitoreo de la cobertura vegetal. Con el fin de identificar y cuantificar la población de maleza asociada a los cultivos, se seleccionaron las parcelas con una superficie de una hectárea; en las cuales se implementó un modelo de muestreo simple de maleza, utilizando doce cuadrados de 1.0 m² (1.0 × 1.0 m) ha⁻¹, ubicados aleatoriamente entre las líneas de los cultivos. En cada cuadro se registró la cobertura (%), densidad (individuos.m⁻²) y frecuencia de aparición de cada especie, para luego calcular su dominancia, abundancia y frecuencia relativas. La cobertura de cada especie se estimó visualmente usando un cuadro de PVC de 0.5" de diámetro y dimensiones de 1.0 m x 1.0 m (1 m²), mientras que la densidad se registró mediante conteos de individuos por especie en cada cuadro, para posteriormente calcular la frecuencia, en función de la cantidad de veces que cada especie apareció en los cuadros. Por último, en función de estos datos se calculó la dominancia, abundancia y frecuencia relativas, para con ello calcular el Índice de Valor de Importancia (IVI). El Índice de Valor de Importancia (IVI) fue desarrollado por Curtis y McIntosh (1951). Es un índice estructural sintético que se utiliza principalmente para clasificar la dominancia de cada especie en rodales mixtos. Se calculó de la siguiente manera: IVI = Dominancia relativa (a) + Densidad relativa (b) + Frecuencia relativa (c). Según Campo y Duval (2014).

Resultados y Discusión

Composición de la comunidad. La composición florística de la comunidad de malezas de las cuatro parcelas muestreadas fue de 24 especies, 22 géneros y 12 familias. Del total de las especies, 66.67% fueron dicotiledóneas y el 33.33% restante monocotiledóneas (cuadro 2). Las familias con mayor número de especies fueron Fabaceae (5) y Poaceae (4). Es relevante destacar la presencia constante de *Cyperus rotundus* L., perteneciente a la familia Cyperaceae, en todos los cultivos evaluados. Esta especie se caracteriza por su alta capacidad adaptativa y, en muchos casos, por la tolerancia desarrollada frente a diversos herbicidas comúnmente utilizados para su control químico. Su sistema radicular y rizomatoso subterráneo, robusto y extenso, le permite una reproducción asexual altamente eficiente, lo que favorece su persistencia en los agroecosistemas. Además, *C. rotundus* es considerada una de las malezas más comunes y problemáticas en los sistemas de cultivo del estado de Yucatán (Lozano-Contreras et al., 2024). Índice de valor de importancia (IVI) por cultivo. Se presentó una amplia diversidad de maleza en las parcelas estudiadas; entre los cultivos registrados, presentaron diferentes predominios de especies. En el cultivo de tomate, se identificaron ocho especies de malezas. Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron *Cyperus rotundus* (Cyperaceae), *Amaranthus dubius* (Amaranthaceae) y *Boerhavia erecta* (Nyctaginaceae), con valores de 82.1 %, 37.6 % y 30.3 %, respectivamente. De manera similar, en la parcela 1 del cultivo de chile habanero, se registraron también ocho especies, destacando *C. rotundus* con un IVI de 93 % y *Sorghum halepense* con 89 %, como las malezas más dominantes. En la otra parcela del cultivo de chile habanero se identificaron catorce especies de malezas, entre las cuales destacaron *Euphorbia hyssopifolia* (Euphorbiaceae), *Megathyrus maximus* (Poaceae) y *Parthenium hysterophorus* (Asteraceae) por presentar los valores más altos del IVI, con 61.8 %, 51.4 % y 33.7 %, respectivamente. En el cultivo de naranja dulce se identificaron también ocho especies de malezas. Las especies con mayor Índice de Valor de Importancia (IVI) fueron *Cyperus rotundus* (Cyperaceae) y *Sorghum halepense* (Poaceae), con valores de 191.3 % y 40.3 %, respectivamente, destacando por su alta dominancia.

Cuadro 2. Lista florística de las especies de maleza colectadas en diversos cultivos del municipio de Muna, Yucatán.

Familia/Especie	*Cultivos				+Clase	
	CH ¹	T	CH ²	N	D	M
Amaranthaceae						
<i>Amaranthus dubius</i> (L.)	-	X	X	-	X	-
<i>Amaranthus spinosus</i> (L.)	-	-	X	-	X	-
Asteraceae						
<i>Bidens pilosa</i> var. minor	-	-	X	X	X	-
<i>Parthenium hysterophorus</i> L.	-	-	X	-	X	-
Malvaceae						
<i>Melochia pyramidata</i>	X	-	-	-	X	-
<i>Artemisa vulgaris</i> (L.)	-	X	-	-	X	-
Fabaceae						
<i>Vachellia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.)	X	-	-	-	X	-
<i>Crotalaria incana</i> (L.)	-	-	X	-	X	-
<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.	-	-	X	-	-	X
<i>Piscidia piscipula</i> (L.) Sarg.	-	-	X	-	X	-
<i>Chamaecrista flexuosa</i> (L.)	-	-	-	X	X	-
Nyctaginaceae						
<i>Boerhavia erecta</i>	-	X	X	X	X	-
Cyperaceae						
<i>Cyperus rotundus</i> (L.)	X	X	X	X	-	X
Euphorbiaceae						
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> (L.)	X	-	X	-	X	-
<i>Euphorbia heterophylla</i> (L.)	X	-	-	-	X	-
Poaceae						
<i>Sorghum halepense</i> (L.)	X	-	-	X	-	X
<i>Megathyrus maximus</i> (Jacq.)	-	X	X	-	-	X
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	-	X	-	-	-	X
<i>Urochloa panicoides</i> P. Beauv.	-	X	-	X	-	X
Portulacaceae						
<i>Portulaca oleracea</i> (L.)	-	X	X	-	X	-
<i>Sida glabra</i> Mill.	X	-	X	-	X	-
Commelinaceae						
<i>Commelina erecta</i>	X	-	-	X	-	X
Malvaceae						
<i>Malvastrum corchorifolium</i>	-	-	-	X	X	-
Sterculiaceae						
<i>Waltheria americana</i> (L.)	-	-	X	-	-	X

*CH: chile habanero; H: henequén; N: naranja dulce +D: Dicotiledóneas; M: Monocotiledóneas.
(1CH: chile habanero-Parcela 1, 2CH: chile habanero-Parcela 2)

Los resultados obtenidos revelaron diferencias notables en la composición florística de las malezas entre las parcelas evaluadas, a pesar de encontrarse todas dentro del mismo municipio. En tres de las parcelas se registró una menor riqueza específica, con únicamente ocho especies de malezas identificadas por sitio. En contraste, una de las parcelas con cultivo de chile habanero presentó una mayor diversidad, con un total de 14 especies. Esta variabilidad en la riqueza puede atribuirse a factores asociados a las prácticas agrícolas implementadas en la región, particularmente a actividades como la selección de cultivos, las rotaciones, el calendario de siembra y las prácticas culturales. Estas acciones pueden influir significativamente en la dispersión de semillas o propágulos de especies arvenses, facilitando su establecimiento en los distintos ciclos agrícolas. Si bien las parcelas compartieron ciertas similitudes en el

manejo como el uso previo del cultivo de maíz, la aplicación de únicamente dos pasos de rastra sin barbecho, y la contratación de servicios de maquila para la preparación del terreno, se observaron diferencias en el predominio de especies entre los distintos cultivos. Esto sugiere que, además de las prácticas de manejo, otros factores como el tipo de cultivo establecido, las características edáficas y las condiciones microambientales específicas pueden ejercer una influencia significativa sobre la estructura y composición de la comunidad de malezas. La dominancia de determinadas especies dentro de los sistemas agrícolas se encuentra estrechamente relacionada con la interacción entre el cultivo en turno y las prácticas agronómicas aplicadas.

Conclusiones

Se identificaron 24 especies que comprenden 22 géneros y 12 familias, siendo Fabaceae y Poaceae las más representadas. La especie *Cyperus rotundus* L. estuvo presente en los cuatro cultivos evaluados, lo que evidencia su alta adaptabilidad y capacidad de persistencia en diversos sistemas agrícolas.

Fuente financiera

El primer autor agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento del presente trabajo, como parte del proyecto: Alternativas al uso del Glifosato para el control de Maleza en México.

Referencias bibliográficas

- Avilés-Baeza, W., Lozano-Contreras, M. G., Ramírez-Silva, J. H., Jasso-Argumedo, J., Guerrero-Medina, R. (2022). Weeds associated to habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) in the Village of Muna, Yucatan, Mexico. *Open Access Library Journal*, 9, Article e9235.
- Bautista, F., Maldonado, D. and Zinck, A. (2012) Clasificación maya de los suelos. Ciencia y Desarrollo, 260, 65-70. <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/archivo/260/articulos/clasificacion-maya-suelos.html>
- Campo AM, Duval VS (2014) Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 34(2), 25-42.
- Curtis, J.T. and McIntosh, R.P. (1951). An upland forest continuum in the Pariré-Forest border Region of Wisconsin. *Ecology*, 32(3), 476-496.
- Lozano-Contreras, M. G., Avilés-Baeza, W. I., Ramírez-Jaramillo, G. (2024). Coquillo (*Cyperus rotundus*): Enemigo o superviviente. Desde el Herbario CICY, 16: 207-211.

GERMINACIÓN Y VIGOR *IN VITRO* DE 130 MAÍCES DE SAN LUIS POTOSÍ EN CONDICIONES DE ESTRÉS HÍDRICO Y SALINO

M Loredó-García^{1*}, P Delgado-Sánchez¹, FJ Morales-Flores², ML Guerrero-González¹

¹Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ²Colegio de Posgraduados Campus Salinas, S.L.P.

*Autor para correspondencia: marcosloredo@hotmail.com

Palabras clave. Estrés, maíz, germinación.

Introducción

El maíz es uno de los cereales más demandados a escala global y es esencial en la dieta humana y animal, además de ser una materia prima para la industria. México es su centro de origen y posee una amplia variedad genética de esta especie, principalmente gracias a los por los maíces nativos, que han sido preservados por generaciones de pequeños agricultores. Estos se cultivan en distintos escenarios edafoclimáticos debido a su capacidad para adaptarse a distintos climas y altitudes. No obstante, en años recientes, varios tipos de estrés abiótico han aumentado su incidencia, tales como sequías prolongadas y suelos degradados por salinidad. Estas condiciones limitan la producción de maíz, que usualmente se siembran a temporal, dependiendo de las precipitaciones estacional. Si se disminuye significativamente la humedad del suelo durante los periodos de siembra, impacta directamente en la germinación. Este proceso es crucial en el establecimiento de las plantas, e implica componentes internos como la viabilidad del embrión y factores externos como la disponibilidad de agua y temperatura. En áreas destinadas para este cultivo se encuentran regiones áridas y semiáridas, donde la problemática de salinidad en los suelos es inminente y el desarrollo del cultivo se ve afectado. Por lo cual es fundamental garantizar la supervivencia de las plantas en diferentes ecosistemas. El estado de San Luis Potosí cuenta con una diversidad de ambientes, por lo cual puede ser considerado con un alto potencial de variación genética de maíz. Esto se debe a sus elevadas tasas de sequía, y a que la mitad de sus municipios exhiben altos grados de salinidad. Los estudios de genotipos de selección en ambientes variables y desafiantes, como aquellos con alta probabilidad de sequía y elevadas concentraciones de salinidad, resultan cruciales para detectar rasgos adaptativos en las plantas que les faciliten subsistir y desarrollarse en circunstancias desfavorables. Analizar cómo los distintos genotipos responden ante estas limitaciones puede proporcionar información valiosa para futuros estudios de mejoramiento genético y la elección de variedades más tolerantes a situaciones de estrés en fases iniciales del desarrollo de la planta.

Objetivos

Evaluar la germinación y el vigor *in vitro* de 130 accesiones de maíz provenientes del estado de San Luis Potosí bajo condiciones de estrés hídrico y salino, con el objetivo de identificar poblaciones tolerantes en etapas tempranas de desarrollo.

Materiales y Métodos

Esta investigación se desarrolló en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Se utilizaron 130 accesiones de maíz nativas del estado de San Luis Potosí provenientes del Banco de Germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (<https://www.genesys-pgr.org/>). En el cuadro 1 se presenta información a detalle.

Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, control (0 MPa), estrés salino (150mM NaCl), estrés hídrico severo (-1 MPa) y estrés hídrico muy severo (-1.5 MPa) mediante el uso de NaCl para tratamiento de sal y Polietilenglicol 8000 para simular sequía. Se utilizaron con 120 semillas por accesión, lavadas con una solución de hipoclorito de sodio al 5%, colocadas en frascos de vidrio esterilizados con papel absorbente. Se indujo el estrés hídrico, salino y control dentro de un cuarto de crecimiento, con fotoperiodo 18 horas de luz y 6 de oscuridad a 25±1 °C. Las variables del estudio fueron porcentaje de germinación, la cual se registró cada dos días y al final de experimento se evaluó longitud

de coleoptilo, mesocotilo, radícula, número de raíces seminales, peso fresco y seco de la plántula. Para el análisis estadístico se dividieron los tratamientos de estrés salino y estrés hídrico.

Cuadro 4. Materiales de maíz del estado de San Luis Potosí.

Accesión	Lugar de origen	Raza	Accesión	Lugar de origen	Raza
CYMMYT 423	Ciudad del maíz	Tuxpeño	CYMMYT 17900	Ciudad Fernández	Tuxpeño
CYMMYT 424	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 17902	Cárdenas	Tuxpeño
CYMMYT 425	Cerritos	Tuxpeño	CYMMYT 18091	Venado	Cónico norteño
CYMMYT 426	Villa de pozos	Tuxpeño	CYMMYT 18092	Villa Hidalgo	Cónico norteño
CYMMYT 427	Cárdenas	Olotillo	CYMMYT 18565	Ciudad Fernández	Celaya
CYMMYT 428	Río verde	Olotillo	CYMMYT 18566	Ciudad del maíz	Tuxpeño
CYMMYT 429	San Ciro	Tuxpeño	CYMMYT 18567	Ciudad del maíz	Tuxpeño
CYMMYT 430	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 18906	Ciudad Fernández	Tuxpeño
CYMMYT 431	Coxcatlán	Olotillo	CYMMYT 18909	Río verde	Tuxpeño
CYMMYT 432	Tampacán	Olotillo	CYMMYT 19669	México	Mejorado
CYMMYT 433	Xilitla	Olotillo	CYMMYT 19670	México	Mejorado
CYMMYT 438	Xilitla	Celaya	CYMMYT 19671	México	Mejorado
CYMMYT 439	Cárdenas	Celaya	CYMMYT 19672	México	Mejorado
CYMMYT 440	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 19673	México	Mejorado
CYMMYT 441	San Ciro	Celaya	CYMMYT 19674	México	Mejorado
CYMMYT 442	INIFAP SLP	Maíz mezcla	CYMMYT 19675	México	Mejorado
CYMMYT 443	Coxcatlán	Tuxpeño	CYMMYT 19855	Rayón	Tuxpeño
CYMMYT 652	Xilitla	Tuxpeño	CYMMYT 19856	Cárdenas	Tuxpeño
CYMMYT 653	Charcas	Tuxpeño	CYMMYT 19888	Villa Hidalgo	Cónico norteño
CYMMYT 655	Xilitla	Tuxpeño	CYMMYT 19889	Cárdenas	Cónico norteño
CYMMYT 656	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 19956	Cárdenas	Tuxpeño
CYMMYT 657	Tampacán	Olotillo	CYMMYT 19957	Cárdenas	Tuxpeño
CYMMYT 658	Xilitla	Tuxpeño	CYMMYT 19992	Matehuala	Celaya
CYMMYT 661	Tamuín	Celaya	CYMMYT 20050	México	Mejorado
CYMMYT 665	Ciudad del maíz	Celaya	CYMMYT 20347	Río verde	Tuxpeño
CYMMYT 666	Charcas	Celaya	CYMMYT 20379	Rayón	Tuxpeño
CYMMYT 667	Rayón	Celaya	CYMMYT 21255	Cedral	Tuxpeño
CYMMYT 2287	La Pila	Celaya	CYMMYT 21342	Cedral	Tuxpeño
CYMMYT 2289	Santa Catarina	Tabloncillo	CYMMYT 21343	INIFAP SLP	Ratón
CYMMYT 2290	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 23624	Rayón	Tuxpeño
CYMMYT 2291	San Ciro	Tuxpeño	CYMMYT 23627	Tampacán	Tuxpeño
CYMMYT 2292	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 23628	Río verde	Tuxpeño
CYMMYT 2295	Axtla de terrazas	Tuxpeño	CYMMYT 23640	Cárdenas	Tuxpeño
CYMMYT 2296	San Vicente	Tuxpeño	CYMMYT 23641	Tamuín	Tuxpeño
CYMMYT 2299	Tamazunchale	Tuxpeño	CYMMYT 23642	Tamazunchale	Tuxpeño
CYMMYT 2301	Tamazunchale	Tuxpeño	CYMMYT 23677	Rayón	Tuxpeño
CYMMYT 2302	Ciudad Valles	Tuxpeño	CYMMYT 23722	Xilitla	Tuxpeño
CYMMYT 2304	Villa de reyes	Cónico norteño	CYMMYT 23728	INIFAP SLP	Tuxpeño
CYMMYT 2305	Cárdenas	Tabloncillo	CYMMYT 23735	Tamuín	Tuxpeño
CYMMYT 2538	Xilitla	Tuxpeño	CYMMYT 24000	Río verde	Tuxpeño
CYMMYT 2540	San Ciro	Tuxpeño	CYMMYT 24003	Rayón	Tuxpeño
CYMMYT 5469	San Ciro	Tuxpeño	CYMMYT 24005	Venado	SR
CYMMYT 5472	Cerritos	Tuxpeño	CYMMYT 24769	INIFAP SLP	Celaya
CYMMYT 5474	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 24795	Xilitla	Tuxpeño
CYMMYT 5475	Río verde	Tuxpeño	CYMMYT 26091	INIFAP SLP	SR
CYMMYT 5476	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 26100	INIFAP SLP	Tuxpeño
CYMMYT 5477	Tampacán	Olotillo	CYMMYT 26104	INIFAP SLP	Tuxpeño
CYMMYT 5478	Tampacán	Tuxpeño	CYMMYT 26995	Ahualulco	SR
CYMMYT 5479	Tampacán	Tuxpeño	CYMMYT 26997	Salinas	SR
CYMMYT 5480	Axtla de terrazas	Tuxpeño	CYMMYT 26998	Salinas	SR
CYMMYT 9926	Tampamolón	Tuxpeño	CYMMYT 27001	Ahualulco	SR
CYMMYT 9927	Axtla de terrazas	Tuxpeño	CYMMYT 27002	Salinas	SR
CYMMYT 14015	Real de catorce	Chalqueño	CYMMYT 27007	Salinas	SR
CYMMYT 14016	Villa Hidalgo	Tuxpeño	CYMMYT 27017	Salinas	SR
CYMMYT 14017	Charcas	Cónico norteño	CYMMYT 29422	Axtla de terrazas	Olotillo
CYMMYT 15937	Matehuala	Chalqueño	CYMMYT 29428	México	Tuxpeño
CYMMYT 15938	Venado	Celaya	CYMMYT 29434	México	Tuxpeño
CYMMYT 15939	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 29456	México	Tuxpeño
CYMMYT 15974	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 29459	México	Tuxpeño
CYMMYT 16105	Armadiño	Cónico	CYMMYT 29475	Chalchicuautla	Olotillo
CYMMYT 16415	Rayón	Tuxpeño	CYMMYT 29477	México	Olotillo
CYMMYT 16416	Ciudad Fernández	Tuxpeño	CYMMYT 29479	México	Olotillo
CYMMYT 16417	Ciudad Fernández	SR	CYMMYT 29481	México	Olotillo
CYMMYT 17894	Ciudad del maíz	Tuxpeño norteño	CYMMYT 29494	29494	Olotillo
CYMMYT 17895	Tamazunchale	Tuxpeño	CYMMYT 29497	Xilitla	Olotillo

*SR (Sin raza identificada)

*SR (Sin raza identificada)

Para el estrés salino, se estableció un diseño completamente al azar a los 15 días con arreglo factorial de dos factores material genético, estrés salino y control. Para el estrés hídrico se estableció un diseño completamente al azar a los 30 días con arreglo factorial de dos factores material genético, el estrés hídrico severo y muy severo. Para identificar comportamientos de crecimiento diferentes en las accesiones se buscó un efecto en las características crecientes de la germinación provocado por la combinación de accesiones y niveles de estrés salino e hídrico mediante análisis de varianza y se identificaron las diferencias de medias en las respuestas medidas (Tukey con 5% de probabilidad de error). Los resultados se analizaron con el paquete estadístico SAS® OnDemand for Academics (welcome.oda.sas.com).

Resultados y Discusión

Estrés salino

Para las variables de germinación y vigor en estrés salino se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en tratamiento, accesión e interacción de ambas (cuadro 2). El control expuso los mayores promedios en germinación con 53.35% en contraste al estrés salino con 39.12%. Al igual en para coleoptilo, mesocotilo, radícula, raíces seminales y peso fresco con 1.81 cm con un 0.61 cm, 5.46 cm, 3.5 y 0.95 g a diferencia de 1 cm, 0.40 cm, 1.3 cm, 3 y 0.66 g respectivamente. En la única variable superior en estrés salino fue para peso seco con 0.20 g en comparación al control con 0.18 g. Para las accesiones se presentó diferencia estadística en todas las variables evaluadas, donde la accesión CIMMYT 433 mostró la mayor germinación (91.67%), la longitud más prominente de mesocotilo (3.54 cm) y radícula (9.9 cm). En cuanto al coleoptilo el mejor promedio con 1.51 cm fue de la accesión CIMMYT 425. Para número de raíces seminales la accesión sobresaliente fue CIMMYT 658 con 7.25, en peso fresco la accesión CIMMYT 27017 con 1.35 g y para peso seco con 0.32 g la accesión CIMMYT 2290. En la interacción se encontraron diferencias en coleoptilo y radícula. Donde la accesión CIMMYT 425 sin estrés obtuvo 5.05 cm de longitud del coleoptilo y en esta misma variable con estrés salino la accesión con mayor promedio fue CIMMYT 658 con 3.02 cm, para radícula la accesión CIMMYT 433 con 16.33 cm de largo en tratamiento control, en cuanto al estrés salino la accesión CIMMYT 2292 sobresalió con 5.12 cm de radícula.

Cuadro 2. Cuadrados medios de fuentes de variación y variables evaluadas a los 15 días de las 130 accesiones bajo estrés salino y control.

Variables	Fuentes de variación				
	Tratamiento (CM)	Accesión (CM)	Interacción Tratamiento X Accesión (CM)	Error	C.V. (%)
Germinación (%)	78942**	3682**	548 ^{NS}	528	49.68
Longitud de coleóptilo (cm)	253**	6**	1.25**	0.62	55.91
Longitud de mesocotilo (cm)	17**	0.86**	0.19 ^{NS}	0.12	69.59
Longitud de radícula (cm)	6748**	71**	34.3**	7.95	83.33
Número de raíces seminales	90**	26**	5.44 ^{NS}	4.10	63.73
Peso Fresco (gr)	32**	0.50**	0.17 ^{NS}	0.20	55.34
Peso Seco (gr)	0.16 ^{NS}	0.02**	0.004 ^{NS}	0.01	55.70

** diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$); NS No significativo ($p \geq 0.01$).

Estrés hídrico

Para las variables de germinación y vigor en estrés hídrico severo y muy severo se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) en tratamiento, accesión e interacción de ambas (cuadro 3). En presión osmótica de -1 MPa mostró un 20% de germinación, 7% mayor que el tratamiento de -1.5 MPa, en cuanto a las variables de coleoptilo, mesocotilo, número de raíces seminales, peso fresco y peso seco el estrés hídrico severo resultó con los mejores promedios. También el cuadro 3 muestra diferencia altamente significativa en las accesiones, en todas las variables evaluadas, la accesión CIMMYT 657 la cual arrojó 61.67% de germinación. Para coleoptilo la accesión CIMMYT 443 con 0.81 cm, en mesocotilo la CIMMYT 655 con 0.46 cm, la radícula con mejor longitud fue CIMMYT 2292 con 5.38 cm, la CIMMYT 657 mostró la mayor media para el número de raíces seminales con un promedio de 5, en cuanto al peso fresco y peso seco la accesión CIMMYT 2292 fue superior con 0.76 g y 0.35 g respectivamente. La interacción entre tratamiento

y accesión reveló nuevamente diferencias en todas las variables (cuadro 4). En germinación la accesión CIMMYT 655 en estrés hídrico muy severo germinó un 90% siendo superior al resto, al igual en longitud de coleóptilo con 1.48 cm y mesocotilo con 0.82 cm. En cuanto a la radícula la accesión CIMMYT 2292 y CIMMYT 655 con 8.84 cm y 8.47cm de largo respectivamente, ambas bajo estrés hídrico severo. Para el número de raíces seminales la accesión CIMMYT 21343 fue la de mayor promedio con 8 raíces seminales en T3. En peso fresco la accesión CIMMYT 2291 con 0.77 g, para peso seco la accesión CIMMYT 23627 con 0.4 g ambas en estrés hídrico muy severo

Cuadro 3. Cuadrados medios de fuentes de variación y variables evaluadas a los 30 días de las 130 accesiones bajo estrés hídrico severo y estrés hídrico muy severo.

Variables	Fuentes de variación			Error	C.V. (%)
	Tratamiento (CM)	Accesión (CM)	Interacción Tratamiento X Accesión (CM)		
Germinación (%)	21574**	2178**	1108**	281	100
Longitud de coleóptilo (cm)	1.15**	0.31**	0.30**	0.05	127
Longitud de mesocotilo (cm)	0.52**	0.10**	0.07**	0.01	125
Longitud de radícula (cm)	0.01 ^{NS}	13.70**	7.60**	1.48	168
Número de raíces seminales	81.14**	15.70**	9.02**	2.12	132
Peso Fresco (g)	5.98**	0.31**	0.12**	0.04	82
Peso Seco (g)	3765**	3905**	3900**	3897	3651

** diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$); NS No significativo ($p \geq 0.01$).

Se ha reportado que el inducir estrés salino a semilla de maíz, genera una reducción en el porcentaje de germinación, principalmente disminuyendo lo suficiente el potencial osmótico para retardar la absorción de agua por las semillas y también por la toxicidad iónica al embrión. De igual manera una reducción en el crecimiento de la plántula y cambios en la morfología en el sistema radicular, nos habla de un mecanismo de defensa para resistir distintos tipos de estrés, y que solo algunas tengan la capacidad de sobrevivir que a su vez explica la diversidad genética que existe en las accesiones evaluadas, respondiendo de distinta manera fenotípica principalmente en sistema radicular y coleóptilo. Algunos investigadores, señalan que el maíz es sensible al estrés por salinidad durante la emergencia de las plantas, pero confirman que existe variabilidad genotípica del mismo, lo que nos dice que existen variedades con mayor tolerancia a estas situaciones (Velázquez-Ventura et al., 2020). En cuanto a los potenciales hídricos indican la disponibilidad de agua en el medio de germinación, algunos autores reportan efectos similares a los reportados en este estudio, donde si el potencial hídrico es más negativo puede llegar a inhibir la germinación de maíz, por lo cual es relevante conocer la respuesta de materiales de maíz tolerantes a estrés hídrico. Este tipo de investigaciones son valiosas para identificar y seleccionar variedades de maíz que sean resistentes y adaptadas a sequía o escasez de agua (Laynez-Garsaball et al., 2008). Es evidente que la respuesta de las plantas de maíz al estrés hídrico varía considerablemente entre diferentes materiales genéticos, algunas variedades muestran mayor tolerancia al estrés y mantener un crecimiento más adecuado bajo estrés abiótico, y esto se debe a que cada material de maíz puede tener una respuesta diferente al estrés hídrico debido a su constitución genética lo cual es un atributo ideal para selección en avances de mejoramiento genético (Castanon-Najera et al., 2017). El coleóptilo es una estructura vital en el proceso de germinación y emergencia de la plántula de maíz. Al emerger hacia la superficie, permite que las hojas se expongan a la luz, e inicien su proceso de fotosíntesis. Se ha observado que las variedades de maíz tolerantes a la sequía tienden a tener un mayor crecimiento del coleóptilo y el mesocotilo, lo que les permite emerger adecuadamente incluso cuando se siembran a mayores profundidades (Espinosa Paz et al., 2017). Por lo tanto, medir la longitud del coleóptilo y el mesocotilo bajo condiciones de estrés hídrico es una herramienta conveniente en la selección de variedades tolerantes a la sequía y en la mejora genética. Otra estructura esencial en circunstancias de estrés es el sistema radicular, un aumento en la arquitectura radicular genera mayores capacidades de absorción y disminuye la carencia de nutrientes en las plantas (Rangel-Fajardo et al., 2019). En este sentido, seleccionar genotipos de maíz con una mayor aptitud para desarrollar un sistema radical seminal más eficiente y robusto es una estrategia altamente recomendable en el mejoramiento genético.

Conclusiones

El comportamiento contrastante de las accesiones evaluadas en esta investigación a distintos tipos de estrés pudo deberse a las respuestas intrínsecas de cada genotipo evaluado. Las accesiones CIMMYT 21343 de raza Ratón fue la más tolerante al estrés hídrico severo y la CIMMYT 655 de raza Celaya a estrés hídrico muy severo destacando del resto en las accesiones. En cuanto a estrés por salinidad la CIMMYT 433 de raza Olotillo y la CIMMYT 658 de raza tuxpeño con características morfológicas sobresalientes, mismas que es recomiendan utilizar para programas de mejoramiento genético para generar cultivares de maíz con tolerancia a sequía y salinidad en el estado de San Luis Potosí. Corroborar la tolerancia en condiciones de campo es esencial para evaluar la respuesta real de las plantas de maíz frente al estrés hídrico y salino en un entorno más complejo y natural. En el campo, las plantas están expuestas a una variedad de factores ambientales, como fluctuaciones en la disponibilidad de agua, temperatura, luz solar, vientos y la presencia de microorganismos del suelo, entre otros.

Agradecimientos

Al laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Fuente Financiadora

Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación con numero de proyecto 297525, SECIHTI con CVU 1143615 y a Fund Newton

Referencias bibliográficas

- Espinosa Paz, N., Martínez Sánchez, J., Ariza Flores, R., y Cadena Iñiguez, P. (2017). Germinación de semillas de variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) bajo déficit hídrico. veracruz: innovando el agro veracruzano 2016.
- Castanon-Najera, G., Latorunerie-Moreno, L., y Muñoz, Y. G. (2017). Effect of PEG8000 and NaCl on germination and seedling traits of tropical maize (*Zea mays* L.). *Python*, 86, 290.
- Layne-Garsaball, J. J.-N.-F. (2008). Efecto del potencial osmótico y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio. 11(1), 26-34. *TIP Rev. Espec. Cienc. Quim. Biol.*
- Rangel-Fajardo, M. A., Gómez-Montiel, N., Tucuch-Haas, J. I., de la Cruz Basto-Barbudo, D., Villalobos-González, A., y Bueros-Díaz, J. A. (2019). Polietilenglicol 8000 para identificar maíz tolerante al estrés hídrico durante la germinación. *Agronomía Mesoamericana*, 255-266.
- Velázquez-Ventura, J. C., Rincón-Sánchez, F., Ruiz-Torres, N. A., y Martínez-Reyna, J. M. (2020). Respuesta al estrés por salinidad de familias s1 de dos poblaciones de maíz. 7(1). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*.

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE CHILE CHILACA EN TLAXCALA

Israel Rojas-Martínez^{1*}, Rogelio Fernández-Sosa¹, Enrique González-Pérez², Salvador Villalobos-Reyes², Juana Isidro-Cortés³

¹INIFAP, SE Tlaxcala, ²INIFAP, CE Bajío, ³Residente de la Universidad Para el Bienestar “Benito Juárez García, Jópala Puebla

*Autor para correspondencia: rojas.israel@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Capsicum annuum*, rendimiento, fruto fresco, riego incompleto.

Introducción

El chile es el cultivo con mayor demanda de hortaliza en México, donde Chihuahua es el principal productor con una superficie sembrada de 24,225 hectáreas en 2023, seguido por Zacatecas y Guanajuato con 6,881 y 4,199 ha, respectivamente. Las especies que se producen en mayor cantidad son *Capsicum annuum* L. jalapeño con 37%, serrano con 16%, chile Poblano (13 %) y chile chilaca con 11 % y otros aportan el 15% que incluye a los chiles pasilla, guajillo, ancho, mulatos, morrones, pimientos y chile bell; el chile manzano (*Capsicum frutescens* L.) con 4%; chile habanero (*Capsicum chinense*) con 4%. SIAP (2023) reportó que el rendimiento promedio de chile fresco es de 18.17 ton/ha que supera al promedio mundial que es de 15.30 t/ha. En Tlaxcala los municipios de Tepetitla de Lardizábal e Ixtacuixtla de Mariano Matamoros cultivan una superficie de alrededor de 11 ha, en la región sur poniente del Estado, que dispone de condiciones apropiadas de suelos fértiles, disponibilidad de agua para riego y baja incidencia de heladas, por lo cual, este cultivo se tiene como alternativa para productores de pequeña escala de hortalizas. En los últimos años el cultivo de chile ha sido afectado por diversos problemas fitosanitarios, predominando las enfermedades del suelo ocasionadas por hongos, bacterias y nematodos, que afectan el rendimiento y por ende la superficie de siembra. Lo anterior, ha generado pérdidas económicas para los productores, quienes no cuentan con paquetes tecnológicos con recomendaciones de control de las plagas según Hernández et al. (2021), por lo que la nueva variedad de chile chilaca en proceso a generar por el INIFAP, es una opción para los productores, en las condiciones de clima y suelo de Valles Altos de Tlaxcala.

Objetivo

Evaluar el comportamiento agronómico del chile chilaca en condiciones edafoclimáticas de Tlaxcala para maximizar el rendimiento de frutos.

Materiales y Métodos

Se estableció una parcela a cielo abierto, donde el trasplante se realizó el 18 de abril de 2024 en la localidad de San Sebastián Atlahapa municipio de Tlaxcala. Las variedades utilizadas fueron: chile chilaca y chile Poblano como testigo. La siembra se realizó en camas con sistema de riego por goteo con cintilla y acolchado plástico con una longitud de 30 m con separación de surcos a 0.8 m y una distancia entre plantas de 0.6 m que equivale a una densidad de población de 20,833 pl/ha. Las plántulas fueron producidas en el Campo Experimental Bajío. La fertilización aplicada al suelo en el trasplante fue con 50 kg de DAP y 12.5 kg de cloruro de potasio por hectárea aplicado en banda; posteriormente se aplicaron 25 kg/ha de urea cuando el cultivo se encontraba en inicio de floración. El control de la maleza fue de forma manual. Se realizó una aplicación foliar después de cada corte para mitigar el estrés en la planta con Maxi-Grow Excel y Bayfolan Forte a razón de 0.5 y 2.0 L/ha, respectivamente, más Arrivo 200 CE 0.25 L/ha para control de plagas. Las variables registradas fueron: altura de planta en cm (AP), número de chiles por planta (NCPL), peso promedio de fruto en Kg (PPF), ancho del fruto en mm (AF), longitud del fruto en cm (LF), rendimiento por planta en Kg (RenPL), rendimiento en toneladas por hectárea (RenT/ha). Con las variables registradas se realizó el análisis de varianza y comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$) con SAS versión 9.3.

Resultados y Discusión

La temperatura promedio registrada en la estación Observatorio de Tlaxcala, cercana a San Sebastián Atlahapa municipio de Tlaxcala, registro un aumento gradual de 15 a 22.4°C, siendo mayo el mes más

caluroso y durante el periodo de junio a octubre se tuvo una reducción de la temperatura por efecto de lluvia que repercute en la disminución de la producción de chile.

Los resultados se presentan por corte donde a chile chilaca se realizaron nueve y en el chile Poblano se efectuaron ocho debido a que presenta un ciclo mayor de 15 días. El primero se realizó el 25 de junio a los 70 días del trasplante, cosechando los frutos del chile chilaca dada su precocidad y no así para el chile Poblano. El segundo corte fue el 11 de julio, el tercero 26 de julio, el cuarto el 19 de agosto, el quinto el 30 de agosto, el sexto el 11 de septiembre, el séptimo el 26 de septiembre, el octavo el 16 de octubre y el noveno corte se hizo el 5 de noviembre.

El análisis de varianza tuvo significancia ($P < 0.01$) en todas las variables registradas para los factores Genotipo (GEN) y Corte (COR) y para la interacción GEN*COR también todas las variables fueron significativas, excepto AP que fue no significativa como se indica en el cuadro 1. El coeficiente de variación oscilo de 0.01 hasta 15.1% lo que indica que los datos presentan confiabilidad. Por lo anterior, el ANOVA se realizará por genotipo.

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza de las variables registradas de planta y fruto de dos genotipos de chile en San Sebastián Atlahapa, Tlaxcala, 2024.

AP	2904.0**	22.6**	0.01 ns	48.5	11.3
NCPL	124.6**	55.2**	30.3**	6.1	8.4
PPF	0.01**	0.01**	0.01**	0.01	5.5
AF	9019.0**	228.1**	250.6**	40.8	10.7
LF	821.5**	126.8**	21.4**	14.1	15.1
RenPL	0.01**	0.01**	0.01**	0.2	3.3
RenT/ha	4.2**	22.7**	23.5**	4.4	0.01

Altura de planta en cm (AP), numero de chiles por planta (NCPL), peso promedio de fruto en Kg (PPF), ancho del fruto en mm (AF), longitud del fruto en cm (LF), rendimiento por planta en Kg (RenPL), rendimiento de fruto en toneladas por hectárea (RenT/ha). Nota: **=significancia ($P < 0.01$) y ns= no significativa.

En el cuadro 2 se muestra la comparación de medias (Tukey 0.05) para dos genotipos, donde se indica que el chile chilaca tuvo mayor cantidad de frutos por planta y longitud de fruto que chile Poblano. El chile Poblano supero al chile chilaca en el porte de planta con 11 cm, duplico el peso promedio de fruto, mayor ancho de fruto con 38.3%, rendimiento por planta con un promedio de 220 g y un rendimiento promedio por corte en toneladas por hectárea de 0.42.

Cuadro 2. Comparación de Medias (Tukey 0.05), por Genotipo.

43.06 b	7.25 a	0.02 b	31.18 b	17.09 a	0.20 b	4.25 b
54.06 a	4.97 b	0.04 a	50.56 a	11.24 b	0.22 a	4.67 a
2.09	0.21	0.85	1.79	0.87	0.002	0.0006

Nota: las medias con la misma literal, son iguales estadísticamente.

En el cuadro 3, el porte de planta, se estandarizo con alrededor de 44.5 cm de altura después del tercer corte. En NCPL oscilo de 2.3 hasta 13.5 en el primer y octavo corte, respectivamente. El mayor peso de PPF se tuvo en el segundo corte correlacionado con el NCPL. En el primer corte LF presento mayor longitud con un descenso al aumento de cortes. El RenPL presenta una correlación con RenT/ha, con una tendencia descendente después del quinto corte.

Las comparaciones de medias de chile Poblano se presentan en el cuadro 4, donde se hace notar que en porte de planta las medias son estadísticamente iguales, en cambio para NCPL las medias fueron estadísticamente diferentes, siendo en el octavo corte el mayor número de chiles, como se ilustra en la figura 1. El mayor PPF se tuvo en el segundo, tercer y cuarto corte como se ilustra en la figura 2, donde el chile chilaca tuvo en promedio 28.40 mm de ancho y 158.23 mm de longitud en tanto que para chile ancho presento una longitud de 104.4 y de Ancho 45.6 mm lo cual está asociado a mayor peso del fruto, como se observa en las figuras 3 y 4, la tendencia en la reducción de la longitud del fruto conforme se avanza en los cortes, sin embargo, la variable ancho del fruto se mantiene más estable en todos los cortes. El mayor tamaño de fruto se tuvo en el corte dos, considerando AF y LF en correlación con PPF, RenPL y RenT/ha.

Cuadro 3. Comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$) de las variables por corte en chile chilaca, 2024.

CORTE	AP	NCPL	PPF	AF	LF	RenPL	RenT/ha
1	41.0	2.3	41.0	36.2	23.3	0.1	1.9
2	42.5	4.3	44.0	33.3	20.7	0.1	4.0
3	44.0	7.1	32.0	28.7	19.5	0.2	4.7
4	44.5	9.0	34.0	25.4	18.8	0.3	6.4
5	44.5	7.1	31.0	34.3	16.5	0.2	4.6
6	44.5	6.2	23.0	28.9	14.3	0.1	3.0
7	44.5	8.5	21.0	33.2	11.7	0.1	3.8
8	44.5	13.5	13.6	29.2	11.5	0.2	5.3
9	44.5	9.3	16.1	26.4	9.8	0.1	3.1
DSH (0.05)	2.38	1.22	3.42	7.6	4.54	0.01	0.003

Cuadro 4. Comparación de medias (Tukey $\alpha=0.05$) de variables por corte en chile Poblano, 2024.

CORTE	AP	NCPL	PPF	AF	LF	RenPL	RenT/ha
1	52.0	4.5	0.05	47.4	11.4	0.21	4.5
2	53.5	5.7	0.08	67.1	14.5	0.43	9.0
3	55.0	5.2	0.07	48.7	13.9	0.34	7.0
4	55.5	2.1	0.07	50.6	13.1	0.14	2.9
5	55.5	4.0	0.04	42.4	11.1	0.15	3.1
6	55.5	5.7	0.03	57.7	9.0	0.15	3.3
7	55.5	4.3	0.02	46.6	8.5	0.09	1.8
8	55.5	8.3	0.03	43.8	8.0	0.26	5.3
DSH (0.05)	2.563	0.966	0.005	9.001	3.492	0.014	0.003

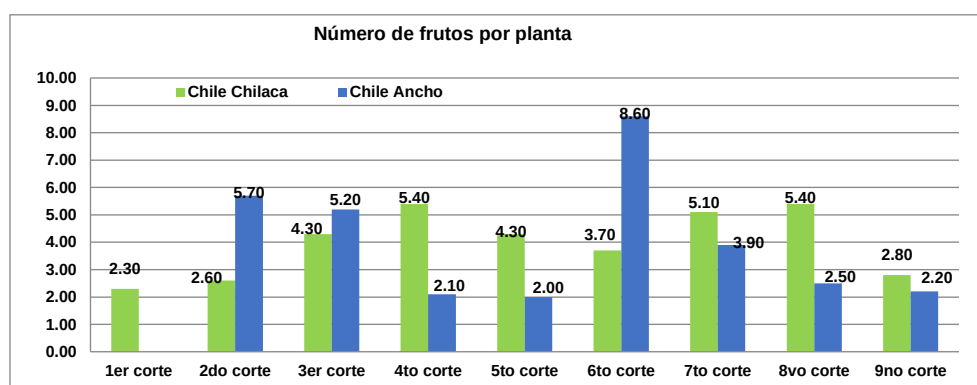


Figura 1. Número de chiles por planta en dos variedades de chile en San Sebastián Atlahapa, Tlaxcala, 2024.

El rendimiento promedio total de fruto con chile chilaca fue de 37.17 ton/ha que fue superado por el chile ancho con 38.24 ton/ha con una oscilación de 1.97 ton/ha en el primer corte hasta 6.49 ton/ha en el cuarto corte. En la figura 5 se observa que el chile chilaca su mayor rendimiento de fruto se tuvo en el cuarto corte con 6.49 ton/ha en tanto que el testigo chile Poblano se presentó en el primer corte con 9.05 ton/ha; el rendimiento descende en ambas variedades en los cortes 4to, 5to y 6to, debido a la mayor incidencia de lluvias, afectando mayormente al chile Poblano, lo que indica la tolerancia del chile chilaca al exceso de agua de lluvia considerando el tipo de fruto.

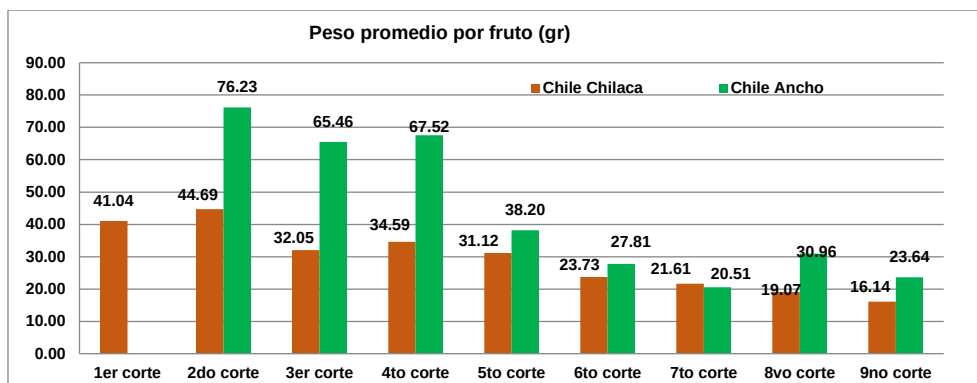


Figura 2. Peso promedio por fruto en gramos de dos variedades de chile en San Sebastián Atlahapa, Tlaxcala, 2024.

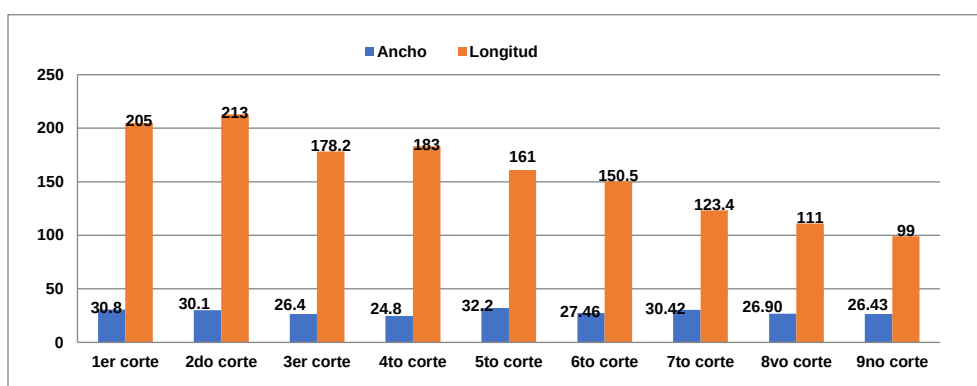


Figura 3. Ancho y longitud del fruto de la variedad del chile chilaca

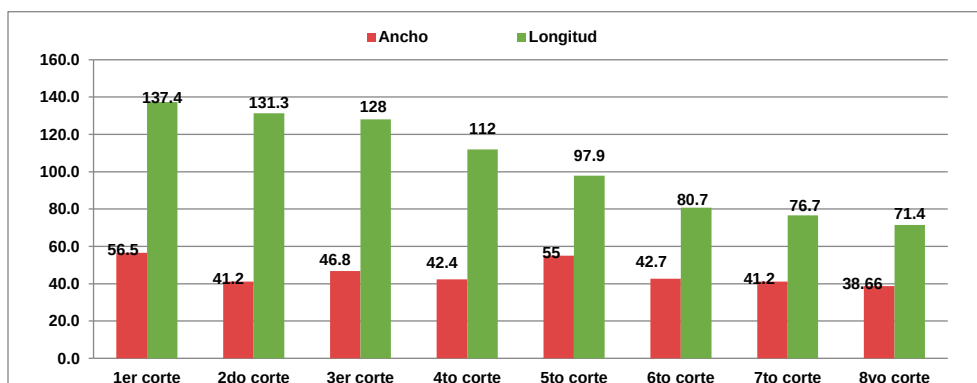


Figura 4. Ancho y longitud del chile Poblano

El rendimiento total del fruto de chile Poblano fue mayor con 1 tonelada que el que se tuvo con el chile chilaca a pesar de que su rendimiento total se obtuvo de 8 cortes en comparación al rendimiento de 9 cortes que se registró en el chile chilaca.

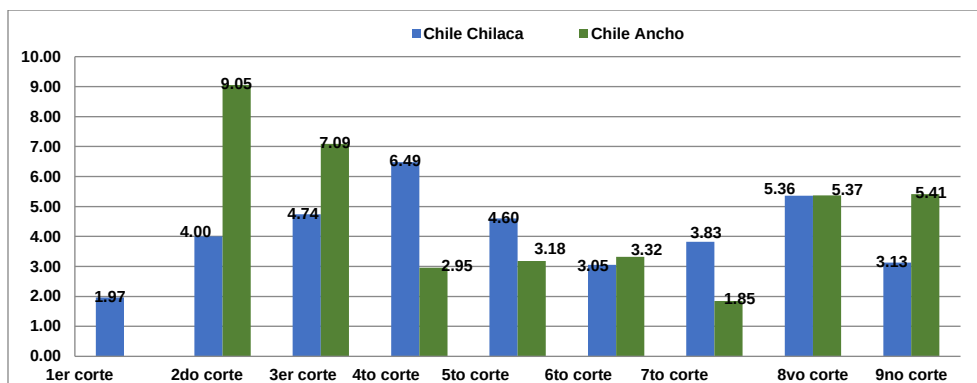


Figura 5. Rendimiento total de frutos de dos variedades de chile por corte en ton/ha en San Sebastián Atlahapa, Tlaxcala, 2024.

Conclusiones

El comportamiento agronómico de la variedad del chile chilaca fue inferior en el rendimiento de fruto con 1 tonelada por hectárea al que se tuvo con el testigo chile Poblano y, además, con 15 días más tardío que el chile chilaca.

La mejor producción y número de frutos en chile chilaca se tuvieron en el cuarto y octavo corte, mientras que en el testigo chile Poblano fue en el sexto corte.

El chile Poblano produce plantas de mayor porte, frutos más pesados y anchos, y un mayor rendimiento tanto en planta como por unidad de superficie.

El chile chilaca es una opción para la producción de hortaliza en traspatio con productores de baja escala en Tlaxcala.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Los resultados son parte del proyecto: “Desarrollo y liberación de materiales mejorados de ajo, chile y jitomate”. Fuente financiera: INIFAP, recursos propios.

Referencias bibliográficas

Hernández, H. B. N.; Tornero, C. M. A.; Sandoval, C. E.; Rodríguez, M. M. N.; Taboada, G. O. R.; y Peña, O. B. V. 2021. Crecimiento, rendimiento y calidad de chile poblano cultivado en hidroponía bajo invernadero. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(6), 1043-1056 pp.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2755>

Servicio de Información Agrícola y Pesquera (SIAP). (2023). Consultado el 26 de abril 2025 en:

<https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/acciones-y-programas/panorama-agroalimentario-258035>

Statistical Analysis System (SAS). 2014. Versión 9.3

CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE JOCOTE (*Spondias purpurea*) EN TRES LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE CHIAPA DE CORZO, CHIAPAS

Isidro Fernández-González^{1*}, Yamileth Robles-González¹

¹ INIFAP, CE Centro de Chiapas

*Autor para correspondencia: fernandez.isidro@inifap.gob.mx

Palabras clave. Caracterización, jocote, Chiapas.

Introducción

En México el cultivo de jocote es una especie componente de la selva baja caducifolia y se encuentra cultivada en una gran variedad de suelos. Su distribución abarca desde la costa de Sonora hasta Chiapas, pasando por la Cuenca del Balsas, en la vertiente del Pacífico, y en la depresión central de Chiapas, norte de Yucatán y Quintana Roo, así como en el norte de Veracruz y al este de San Luis Potosí, en selvas bajas subcaducifolias (Pennington y Sarukhán 2005). La ciruela mexicana es un frutal con alto potencial para su cultivo, debido a su bajo costo de producción, crece en forma espontánea y se adapta a suelos pobres y delgados donde no se establecen otros cultivos, además tiene resistencia a la sequía por su mecanismo de defoliación (Avitia et al., 2003). Al respecto, Ramírez et al. (2008) indican que es un frutal estratégico para la agricultura de México en la primavera, cuando no hay otros frutales en producción.

No obstante, la importancia de este cultivo, la investigación en México en torno a su diversidad genética y manejo agronómico es escasa. Los aspectos estudiados se han enfocado a caracterización poscosecha, como el uso de películas comestibles (Bautista-Baños et al., 2003, Bautista et al., 2006), refrigeración (Pérez, 2004; Nava et al., 2010), y respuesta a la aplicación de retardadores de la maduración (Osuna et al., 2011). También se han caracterizado los sistemas de producción, etnobotánica y ecotipos sobresalientes en Jalisco, Colima y Nayarit (Ramírez et al., 2008), Veracruz (Nava-Kuri y Uscanga, 1979), Tabasco (Vargas-Simón et al., 2011) y Yucatán (Ruenes-Morales et al. 2010).

Este cultivo, ha sido un pilar fundamental en la economía agrícola de la región central del estado donde la mayoría de los productores combinan los cultivos básicos o tradicionales con el cultivo de jocote, limón y mango principalmente. Con su sabor distintivo y su versatilidad en la gastronomía local, esta fruta no solo ha nutrido a generaciones, sino que también ha impulsado el desarrollo económico de comunidades enteras. Sin embargo, en los últimos años, la producción de jocote ha sufrido un notable declive, amenazando tanto su cultivo como las tradiciones culinarias que giran en torno a ella. Es por ello que se plantea el presente trabajo con la finalidad de poder determinar las características técnico productivas del cultivo a fin de poder identificar la problemática y las áreas de mejora que tienen.

Materiales y Métodos

El municipio de Chiapa de corzo se encuentra ubicado en la depresión central del estado de Chiapas, las localidades donde se realizó el estudio son: Ignacio Allende, Nicolás Bravo y Julián Grajales; para realizar el diagnóstico de las unidades de producción familiar se consideró el padrón de productores que participaron en el programa de desarrollo territorial, la cual se consideró un tamaño de muestra del 35 % de un total de 107 productores, quienes fueron seleccionados al azar y se consideraron 5 productores más para el caso de que alguno de ellos no fuera posible localizarlo después de visitarlo tres veces, a los productores seleccionados se les aplicó una encuesta estructurada que considera los apartados: tipología del productor, datos técnico productivos y análisis económico del cultivo; una vez realizada la encuesta los datos fueron vaciados en hojas de cálculo del programa Excel previamente diseñados y posteriormente se analizaron los datos en el programa SPSS.

Resultados y Discusión

En el estudio se encontró que la edad promedio de los encuestados es de 55.5 años, el cual coincide con lo reportado por INEGI 2007, en donde señala que los responsables de las unidades de producción tienen en promedio 54.6 años y que casi 60 % tiene más de 50 años, es decir solo un poco más de 40 % de los responsables de las unidades de producción familiar son jóvenes y dentro de este grupo la mayoría son mujeres; de acuerdo con el estudio sobre el envejecimiento de la población rural en México realizado por

la FAO en el 2020, en el medio rural el envejecimiento de la población ha sido más acentuado, debido principalmente a la migración nacional e internacional de la población joven en edad productiva. El nivel de escolaridad que tiene los productores es bajo, el 40 % tiene primaria incompleta solo saben leer y escribir esto está muy relacionado con la edad promedio que presentan los productores (55.5 años) quienes no tuvieron las mismas oportunidades como las que se presentan en la actualidad, el bajo desarrollo de capacidades técnicas, productivas y empresariales de los productores, lo cual afecta de forma negativa el crecimiento de las actividades agropecuarias. Ello se debe a que las limitadas capacidades impiden a los productores generar, aplicar o demandar innovaciones tecnológicas que los hagan más eficientes, dinámicos y emprendedores. Las unidades de producción familiar experimentan una combinación de tres factores que explican el bajo desarrollo de las capacidades técnicas, productivas y empresariales. Estos son: el bajo nivel de escolaridad, el bajo acceso a la información económica y el bajo acceso a información técnico-productiva (FAO, 2020).

La tenencia es ejidal (70 %) la cual se encuentra fraccionada, los datos obtenidos muestran que los productores tienen en promedio 4.6 hectáreas la cual se encuentra dividida de la siguiente manera maíz 2.0 ha, limón 1.5 y jocote 1.2; esta situación es generalizada y se viene acentuando aún mas año con año, en 2007 INEGI reporto este problema del fraccionamiento excesivo de la tierra; en ese entonces la mitad de los ejidatarios, 62% de los propietarios privados, 78.4% de los comuneros y 90% de los poseionarios poseían hasta 5 hectáreas o menos; y más de 20% de esos titulares de la tierra tiene su predio dividido en tres o más fracciones, muchas veces muy separadas entre sí.

El cultivo de jocote en el área de estudio se ha convertido en una alternativa en la diversificación de los ingresos ya que prospera en suelos degradados y áreas con baja precipitación donde no es posible obtener una buena producción de otros cultivos, así lo manifestó el 100 % de los productores.

Algunos autores (Alia *et al.* 2012) mencionan que este cultivo se realiza de forma comercial con un manejo agronómico incipiente, lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio donde se encontró que los productores manejan en promedio la dosis de fertilización 114-34-34 con los fertilizantes urea y triple 17, que aplican al inicio de la temporada de lluvias, para el control de malezas realizan el chaporro y una aplicación de herbicida de contacto, para el control de plagas emplean principalmente la cipermetrina para el control de defoliadores y mosca de la fruta y para el control de enfermedades (gomosis) la aplicación de caldo sulfocálcico que ellos mismos elaboran, dentro de las actividades que mayor mano de obra demanda es en la cosecha que se emplea principalmente para la recolección, selección de la fruta y el empaque donde emplean en promedio 29 jornales por hectárea.

En la figura 1 se puede observar el porcentaje en costo que ocupa cada una de las actividades del paquete tecnológico donde la fertilización es una de las actividades que mayor inversión requiere, seguida de la cosecha donde se emplea el mayor número de jornales.

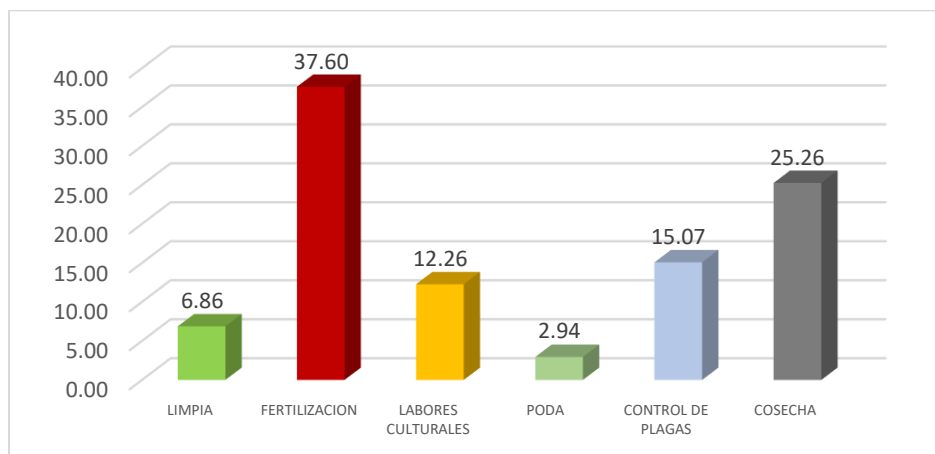


Figura 8. Costo de producción del paquete tecnológico del cultivo de jocote.

El rendimiento promedio obtenido es de fruta cosechada es de 4.25 toneladas por hectárea el cual tiene un valor de la producción de \$21,781.25, considerando un costo del paquete de \$11,692.23 los productores obtienen una utilidad neta de \$ 10,088.7 lo cual les da una relación beneficio costo de 1.9

Los productores mencionan que los principales problemas que presenta el cultivo es la disminución de la producción, la falta de mercados y el desperdicio de la fruta ya que en cada ciclo se pierden entre el 50% y el 60% de la cosecha. Esto se debe a la falta de infraestructura para la postcosecha, el manejo inadecuado de la fruta y la falta de mercados.

Conclusiones

El cultivo de jocote es factible de alcanzar mayor rentabilidad por unidad de superficie mejorando el manejo agronómico principalmente las podas y el control de la mosca de la fruta, una mejor distribución de la fertilización edáfica complementada con fertilización foliar y aplicación de productos y trampas para controlar las principales plagas, por otra parte se podría aumentar los niveles de producción estableciendo el cultivo en terrenos con mayor fertilidad o en su caso la aplicación de abonos orgánicos y/o enmiendas que ayuden a recuperar la fertilidad del suelo. En el caso del manejo post cosecha es importante capacitar a los productores en el manejo de la fruta y en la elaboración de productos procesados como el caso de curtidos, mermeladas, dulces etc.

Referencias bibliográficas

- Alia TM, Maldonado AYI, Núñez CCA, Valdez ALA, Bautista BS, García VE, et al. (2012) Caracterización de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 21-26.
- Bautista BS, Hernández LM, Guillén SD, Alia TI (2006) Influencia del recubrimiento con quitosano y la temperatura de almacenamiento en la calidad de postcosecha y niveles de infección en ciruela mexicana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 7: 114-121.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*. 134 p.
- Nava KG, Uscanga MB (1979) Estudio físico y químico de doce tipos de ciruela (*Spondias* sp.) en el estado de Veracruz. *Proceedings Tropical Region ASHS* 23: 132-136.
- Pennington TD, Sarukhán J (2005) *Árboles tropicales de México. Manual de identificación de las principales especies*. Universidad Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México. 523p.
- Pérez AGA, Alia TI, Andrade MR, López VM, Pérez AL, Ariza R, et al. (2008) Características físicas y químicas de ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea*) en Guerrero. *Investigación Agropecuaria* 5: 141-149.

“DRÁCULA H13” HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL CON MADUREZ TARDÍA Y GRANO SEMIHARINOSO PARA CALIMAYA ESTADO DE MÉXICO Y TEACALCO, TLAXCALA

José Luis Arellano-Vázquez^{1*}, Israel Rojas-Martínez², Rogelio Fernández-Sosa²
1mejoramiento Genético Maíz, CE Valle De México Circe, INIFAP 2 Tecnología Manejo Agronómico
Maíz, SE Tlaxcala, Circe, INIFAP.

*Autor para correspondencia: arellano.jose@inifap.gob.mx

Palabras clave. Rendimiento de grano, interacción genotipo x ambiente, caracteres de planta.

Introducción

Se estima que la demanda actual de maíz azul en la mesa central del país es de 500 mil toneladas para aprovechamiento tradicional y 10 mil para la industria de harina nixtamalizada. (Arellano et al, 2014). El precio actual de maíz azul es de \$ 9,000.0 por tonelada, lo que es superior 46 % respecto al precio del maíz blanco y el precio de un kilo de tortilla azul es 40 %, arriba del de la tortilla blanca, así el beneficio directo es para el productor y la industria de la tortilla. Para satisfacer la demanda se requieren variedades mejoradas o híbridos que superen de 40 a 50 % el rendimiento de las variedades regionales.

Objetivos

Presentar el potencial del rendimiento a través de localidades y las características de planta del nuevo híbrido selecto de maíz azul DRÁCULA H13 el cual se encuentra registrado en el catálogo nacional de variedades vegetales (CNVV) con la clave maz-2410-290822 y con el título de obtentor número 3064 del sistema nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS).
Observar la estabilidad de su rendimiento a través de localidades.

Materiales y Métodos

Origen del híbrido. El híbrido vampiro h13 se generó por el procedimiento de hibridación clásica, está integrado por tres líneas endogámicas: la línea m-az 4, cuya genealogía es bxcc-3-8-3-4 y cuenta con cuatro ciclos de autofecundación que le confieren 93.7 % de endogamia, las líneas m-az 10 cuya genealogía es nxoax-19-5-1-1-2 y la línea m-az 11 con genealogía bxcc-5-4-1-11-1 ambas con cinco ciclos de autofecundación que les confieren 96.3 % de endogamia. Las líneas m-az 4 y m-az 11 provienen de la cruza que se realizó en 2001 entre un híbrido de maíz blanco de valles altos de inifap como fuente de resistencia al acame de planta, por una variedad criolla de maíz azul raza chalqueño de alto rendimiento originaria de la población Cocotitlán del estado de México, mientras que la línea m-az 10 se originó de la cruza realizada en 2001 entre una variedad criolla de maíz azul de la raza chalqueño de alto rendimiento proveniente de la población de Nexapa, estado de México por una variedad criolla de maíz azul de la raza bolita de Oaxaca. De 2003 a 2007 se generaron las líneas s_1 - s_5 por el método de autofecundación, registro por pedigrí y selección *per se*. En 2008 se generaron las cruzas dialélicas entre 10 líneas selectas. En 2009 se hizo la evaluación de la aptitud combinatoria general y específica (Griffing, 1956), con base en ello se definió la generación del híbrido DRÁCULA H13. De 2010 a 2015 se realizó la evaluación experimental con 25 híbridos y variedades sintéticas en valles altos de la mesa central de México. De 2014 a 2016 se llevó a cabo su validación en lotes de producción comercial en terrenos de productores. De 2021 a 2022 se realizó la descripción varietal del híbrido y sus progenitores de acuerdo a la guía técnica para la descripción varietal de maíz publicada por SNICS (2014). En 2023 el híbrido DRÁCULA H13 fue registrado por el SNICS.

Diseño experimental. Ensayos de 15 híbridos y 9 variedades sintéticas en bloques completos al azar con tres repeticiones en 15 localidades. Se registraron datos de rendimiento por ha¹, días a floración masculina, altura de planta y calificación visual de acame de planta.

Análisis estadísticos. Se analizaron los datos experimentales de rendimiento por medio del procedimiento estadístico de AMMI para la estabilidad del rendimiento (Vargas y Crossa, 2000). Los caracteres de planta se analizaron por medio del sistema SAS de análisis de varianza (SAS, 2014).

Resultados y Discusión

Se detectaron diferencias significativas ($p > 0.01$) entre ambientes o localidades, genotipos y en la interacción ambientes x genotipos, lo cual indica la variabilidad significativa entre localidades, genotipos y en la interacción genotipo x ambiente. Las componentes principales 1 y 2 del análisis de varianza acumularon el 68.2 % de la suma de cuadrados de la variación total para rendimiento y resultaron significativas estadísticamente. La prueba de medias para rendimiento entre genotipos indicó que entre 6.9 y 8.3 t ha⁻¹ no existe diferencia estadística, por lo cual no existe diferencia entre el rendimiento de los híbridos y las variedades sintéticas vs 02, vs 03 y vs 04 pero sí de éstos, con las variedades sintéticas vs 05 – vs-10 y la variedad criolla. El híbrido DRÁCULA H13 (4x10x11) presentó rendimiento de 8.3 t ha⁻¹ (cuadro 1). Al analizar el comportamiento entre localidades de DRÁCULA H13 se observaron rendimientos de 7.3 a 10.3 t ha⁻¹, media de 8.3 t ha⁻¹ y 51.8% del rendimiento superior respecto al testigo. Medias para floración masculina de 93 días, altura de planta de 2.35 cm y acame de planta de 7.3% (cuadro 2), por lo cual se puede caracterizar como un híbrido de rendimiento favorable de ciclo tardío, de planta intermedia y resistencia al acame de planta de 93.4% (figura 1). El híbrido fue seleccionado por su rendimiento favorable y el de sus parentales, así como por su adaptabilidad en localidades de alta productividad con riego o buen temporal. Tiene mazorcas de forma cónica alargada, grano dentado textura semiharinosa por lo cual es adecuado para la industria masa – tortilla y la de los alimentos tradicionales (figura 2).

Cuadro 1. Medias para rendimiento de grano t ha⁻¹ de 15 híbridos trilineales, 9 variedades sintéticas y el testigo a través de 15 localidades de valles altos.

Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend
3x5x10	8.0 a	7x3x11	7.4 a	Vs 05	6.3 b	Vs 09	6.7 b	10x8x3	7.6 a
11x12x10	7.9 a	2x4x11	8.0 a	10x7x5	8.1 a	Vs 10	6.1 b	4x7x11	7.5 a
4x7x11	7.5 a	Vs 02	7.0 b	Vs 06	6.1 b	Testigo	5.5 b	9x11x1	8.2 a
9x4x11	8.2 a	Vs 03	7.1 b	Vs 07	6.9 b	9x8x11	7.2 b	10x3x11	7.7 a
4x10x11	8.3 a	Vs 04	7.1 b	Vs 08	6.2 b	3x8x11	6.6 b	9x7x11	6.8 b
Dms 0.05	1.4		1.4		1.4		1.4		1.4

Rend = rendimiento de grano t h⁻¹, genotipo 4x10x11 = DRÁCULA H13, testigo = variedad criolla



Figura 1. DRÁCULA H13: etapa llenado de mazorca a 120 días.

Cuadro 2. Rendimiento y caracteres agronómicos del híbrido de maíz azul DRÁCULA H13 en localidades de los estados de Hidalgo, México y Tlaxcala en el periodo 2010 – 2015.

Localidades	Altitud msnm	Rend. (t/ha)	% sobre el testigo	Fm (días)	Ap (cm)	Acame (%)
Benito Juárez, Tlax. 2010	2,450	9.8	78.1	96	235	5.2
Huamantla, Tlax. 2010	2,400	10.0	81.8	93	232	4.8
Tlacualpan, Tlax. 2010	2,450	7.4	34.5	89	253	5.8
Zotoluca, Hgo. 2010	2,540	10.3	87.2	94	250	5.2
San José Teacalco, Tlax, 2012	2,550	7.5	36.3	100	230	7.4
Tetlanohcan, tlax. 2012	2,400	7.3	32.7	102	217	6.8
S. Miguel la presa, tlax. 2012	2,400	7.6	38.1	100	245	9.2
Benito Juárez, TLax. 2012	2,450	7.7	40.0	93	228	8.6
Coatlinchán, E. De México 2013	2,250	7.9	43.6	85	232	8.4
Coatlinchán, E. De México 2014	2,250	7.8	41.8	82	230	7.2
Chapingo, E. De México, 2014	2,250	8.7	58.1	85	232	7.5
Calimaya, E. De México, 2014	2,600	9.0	63.6	98	245	10.5
San José teacalco, tlax. 2015	2,550	7.6	38.1	96	230	13.6
San Cosme xalostoc tlax. 2015	2,390	7.5	36.3	95	230	8.7
Coatlinchán, e. De México 2015	2,250	9.0	63.6	86	235	7.8
Promedio de DRÁCULA H13		8.34	51.8	93	235	7.3
Promedio criollo testigo		5.5		104	240	15.0
Dms 0.05		1.4		6.8	27	2.8

Rend = rendimiento de grano, fm = floración masculina, ap = altura de planta



Figura 2. DRÁCULA H13 mazorca cónica alargada, grano dentado textura semiharinosa
Tortilla con calidad para alimentos tradicionales

Conclusiones

El híbrido de maíz azul DRÁCULA H13 se ubicó entre los de mayor rendimiento a través de 15 localidades

que manifestaron amplia heterogeneidad ambiental, por lo cual se infiere que cuenta con adaptabilidad favorable para su producción en áreas de temporal y riego de las regiones en estudio. Su potencial de rendimiento fue 51.8 % superior respecto a la variedad testigo criollo regional. En función a su altura de planta y nivel de acame se puede considerar apto para su producción en siembra intensiva y mecanizada bajo riego o bien en siembra tradicional de temporal con mediana densidad de población de 60 mil plantas por hectárea.

Agradecimientos y Fuente financiera

Los resultados presentados son parte del proyecto fiscal INIFAP “accesiones de maíz azul de textura harinosa y semicristalina para la generación de cruas dialélicas y la generación de híbridos intervarietales II rendimiento y producción de semilla”

Referencias bibliográficas

Arellano, V.J.L., I. Rojas m., g. F. Gutiérrez h. 2014. Variedades de maíz azul chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. Rev. Mex. Cie. Agric. Vol. 5 (8): 1469-1480.

Griffing, b.1956.concept of general and specific combining ability in relation with to diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463 – 493.

Vargas, H. M y crossa, J. (2000) el análisis ammi y la gráfica del biplot en sas. Unidad de biometría y estadística. Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (cimmyt). 42 p.

SAS institute (2014) sas/stat 9.3 user's guide sas institute inc. Cary North Carolina, usa 512 p.

Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. 2014. Maíz (Zea mays l.) Guía técnica para la descripción varietal. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. México. 39 p.



“CHIMPANCE H14” HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL CON MADUREZ TARDÍA Y GRANO SEMICRISTALINO PARA TEXCOCO Y OTUMBA, ESTADO DE MÉXICO Y APAN, HIDALGO

José Luis Arellano-Vázquez^{1*}, Rogelio Fernández-Sosa², Israel Rojas-Martínez²

¹Mejoramiento genético de maíz, INIFAP, CIRCE, CE Valle de México, .. ²Tecnología manejo agronómico maíz, INIFAP, CIRCE, SE Tlaxcala

*Autor para correspondencia: arellano.jose@inifap.gob.mx

Palabras clave. Rendimiento de grano, interacción genotipo x ambiente, caracteres de planta.

Introducción

Se estima que la demanda actual de maíz azul en la mesa central del país es de 500 mil toneladas para aprovechamiento tradicional y 10 mil para la industria de harina nixtamalizada. (Arellano et al, 2014). El precio actual de maíz azul es de \$ 9,000.0 por tonelada, lo que es superior 46 % respecto al precio del maíz blanco y el precio de un kilo de tortilla azul es 40 %, arriba del de la tortilla blanca, así el beneficio directo es para el productor y la industria de la tortilla. Para satisfacer la demanda se requieren variedades mejoradas o híbridos que superen de 40 a 50 % el rendimiento de las variedades regionales.

Objetivos

Presentar el potencial del rendimiento a través de localidades y las características de planta del nuevo híbrido selecto de maíz azul CHIMPANCE H14 el cual se encuentra registrado en el Catálogo Nacional de Variedades vegetales (CNVV) con la clave MAZ-2413-290822 y el título de Obtentor número 3067 del Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).
Observar la estabilidad de su rendimiento a través de localidades.

Materiales y Métodos

Origen del híbrido. El híbrido CHIMPANCE H14 se generó por el procedimiento de hibridación clásica, está integrado por tres líneas endogámicas: M-AZ 11, M-AZ 9 y M-AZ 1 cuyas genealogías son BXCC-5-4-1-11-1, NXOAX-28-2-3-4-2 con cinco ciclos de autofecundación y BXCC-8-7-1-2 con cuatro que les confieren 96.8 y 93.7 % de endogamia, respectivamente. Las líneas M-AZ 11 y M-AZ 1 provienen de la crusa que se realizó en 2001 entre un híbrido de maíz blanco de valles altos de INIFAP como fuente de resistencia al acame de planta, por una variedad criolla de maíz azul raza Chalqueño de alto rendimiento originaria de la población Cocotitlán del Estado de México, en tanto que la línea M-AZ 9 se originó de la cruza entre una variedad criolla de raza Chalqueño de la localidad Nexapa del Estado de México por otra variedad criolla de la raza Bolita de los valles de Oaxaca. De 2003 a 2007 se generaron las líneas S₁ - S₅ por el método de autofecundación, registro por Pedigrí y selección *per se*. En 2008 se generaron las cruza dialélicas directas y recíprocas entre 10 líneas selectas. En 2009 se hizo la evaluación de la aptitud combinatoria general y específica (Griffing,1956), con base en ello se definió la generación del híbrido CHIMPANCE H14. De 2010 a 2015 se realizó la evaluación experimental con 25 híbridos y variedades sintéticas en Valles Altos de la Mesa Central de México. De 2014 a 2016 se llevó a cabo la validación en lotes de producción comercial en terrenos de productores. De 2021 a 2022 se realizó la descripción varietal del híbrido y sus progenitores de acuerdo a la guía técnica para la descripción varietal de maíz publicada por SNICS (2014). En 2023 el híbrido CHIMPANCE H14 fue registrado por el SNICS.

Diseño experimental. Ensayos con 15 híbridos y 9 variedades sintéticas en bloques completos al azar con tres repeticiones en 15 localidades. Se registraron datos de rendimiento por ha¹, días a floración masculina, altura de planta y calificación visual de acame de planta.

Análisis estadísticos. Se analizaron los datos experimentales de rendimiento por medio del procedimiento estadístico de AMMI para la estabilidad del rendimiento (Vargas y Crossa, 2000). Los caracteres de planta se analizaron por medio del sistema SAS de análisis de varianza (SAS, 2014).

Resultados y Discusión

Se detectaron diferencias significativas ($p > 0.01$) entre ambientes o localidades, genotipos y en la

interacción ambientes x genotipos, lo cual indica la variabilidad significativa entre localidades, genotipos y en la interacción genotipo x ambiente. Las componentes principales 1 y 2 acumularon el 68.2 % de la suma de cuadrados de la variación para rendimiento y resultaron significativas estadísticamente. La prueba de medias para rendimiento entre genotipos indicó que entre 6.9 y 8.3 t ha⁻¹ no existe diferencia estadística, por lo cual no existe diferencia entre el rendimiento de los híbridos y las variedades sintéticas VS 02, VS03 y VS04, pero sí de éstos con las variedades sintéticas VS 05 - VS10 y la variedad testigo. El híbrido CHIMPANCE H14 (9X11X1) mostro media de rendimiento de 8.2 t ha⁻¹ (cuadro 1). Al analizar el comportamiento por localidades de CHIMPANCE H14 se observan rendimientos de 6.9 a 10.5 t ha⁻¹ y 48.3 % del rendimiento superior respecto al testigo criolla regional y medias para floración masculina de 93 días, altura de planta de 2.35 cm y acame de planta de 7.3% (cuadro 2), por lo cual se puede caracterizar como un híbrido de rendimiento favorable de ciclo tardío, de planta baja y resistente al acame de planta de 93.4% (figura 1). El híbrido fue seleccionado para su liberación por su rendimiento favorable y el de sus parentales, así como por su adaptabilidad en localidades favorables o de alta productividad. Tiene mazorca grande tipo cónico, grano dentado textura semiharinosa e intensa coloración de antocianinas, es apropiado para la industria de la masa-tortilla. (figura 2).

Cuadro 1. Medias para rendimiento de grano t h⁻¹ de 15 híbridos trilineales, 9 variedades sintéticas y el testigo a través de 15 localidades de valles altos.

Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend	Genotipo	Rend
3x5x10	8.0 a	7x3x11	7.4 a	VS 05	6.3 b	VS 09	6.7 b	10x8x3	7.6 a
11x12x10	7.9 a	2x4x11	8.0 a	10x7x5	8.1 a	VS 10	6.1 b	4x7x11	7.5 a
4x7x11	7.5 a	VS 02	7.0 b	VS 06	6.1 b	testigo	5.5 b	9x11x1	8.2 a
9x4x11	8.2 a	VS 03	7.1 b	VS 07	6.9 b	9x8x11	7.2 b	10x3x11	7.7 a
4x10x11	8.3 a	VS 04	7.1 b	VS 08	6.2 b	3x8x11	6.6 b	9x7x11	6.8 b
DMS	1.4		1.4		1.4		1.4		1.4
0.05									

Rend = Rendimiento de grano t h⁻¹, Genotipo 9x11x1 = CHIMPANCE H14, Testigo = Criollo



Figura 1. CHIMPANCE H14 en etapa de llenado de mazorca a 120 días

Cuadro 2. Rendimiento y caracteres agronómicos del híbrido de maíz azul CHIMPANCE H14 en localidades de los estados de Hidalgo, México y Tlaxcala en el periodo 2010 – 2015.

Localidades	Altitud msnm	Rend (t/ha)	% sobre el Testigo	FM (días)	AP (cm)	Acame (%)
Benito Juárez, Tlax. 2010	2,450	9.9	80.0	95	218	6.1
Huamantla, Tlax. 2010	2,400	9.2	67.2	95	219	7.2
Tlacualpan, Tlax. 2010	2,450	7.2	30.9	97	225	7.6
Zotoluca, Hgo. 2010	2,540	10.2	85.4	94	228	5.8
San José Teacalco, Tlax, 2012	2,550	6.4	16.3	98	188	6.5
Tetlanohcan, Tlax. 2012	2,400	8.0	45.4	99	210	7.2
S. Miguel La Presa, Tlax. 2012	2,400	7.5	36.3	97	225	7.4
Benito Juárez, Tlax. 2012	2,450	8.1	47.2	92	195	6.8
Coatlinchán, E. de México 2013	2,250	7.8	41.8	82	225	6.4
Coatlinchán, E. de México 2014	2,250	7.4	34.5	80	220	4.6
Chapingo, E. de México, 2014	2,250	6.9	25.4	79	224	5.3
Calimaya, E. de México, 2014	2,600	8.5	54.5	98	210	6.8
San José Teacalco, Tlax. 2015	2,550	10.5	90.9	94	206	9.8
San Cosme Xalostoc, Tlax. 2015	2,390	7.4	34.5	98	206	5.2
Coatlinchán, E. México 2015	2,250	7.4	34.5	80	210	5.5
Media de CHIMPANCE H14		8.2	48.3	92	200	6.5
Testigo Variedad Criolla azul		5.5	100%	104	240	15.0
DMS 0.05		1.4		6.8	27	2.8



Figura 2. CHIMPANCE H14 mazorca cilíndrica, grano semicristalino adecuado para la industria de la harina nixtamalizada.

Conclusiones

El híbrido de maíz azul CHIMPANCE H14 se ubicó entre los de mayor rendimiento a través de 15 localidades, por lo cual se infiere que cuenta con adaptabilidad favorable para su producción en áreas de temporal y riego de las regiones en estudio. Su potencial de rendimiento es 48.3 % superior respecto a la variedad testigo criollo regional. En función a su altura de planta y nivel de acame se puede considerar apto para su producción en siembra intensiva y mecanizada bajo riego o bien en siembra tradicional de temporal con densidad de población de 60 mil plantas por hectárea.

Agradecimientos y Fuente financiera

Los resultados presentados son parte del Proyecto Fiscal INIFAP “Accesiones de maíz azul de textura harinosa y semicristalina para la generación de cruza dialélicas y la generación de híbridos intervarietales. II Rendimiento y producción de semilla”

Referencias bibliográficas

- Arellano, V.J.L., I. Rojas M., G. F. Gutiérrez H. 2014. Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento. Rev. Mex. Cie. Agric. Vol. 5 (8): 1469-1480.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation with diallel crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9: 463 – 493.
- SAS Institute (2014) SAS/STAT 9.3 User's Guide SAS Institute Inc. Cary North Carolina, USA. 512 p
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. 2014. Maíz (*Zea mays* L.) Guía técnica para la descripción varietal. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 39 p.
- Vargas, H. M y Crossa, J. (2000) El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Unidad de biometría y estadística. Centro Internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT). 42 p.



CARACTERIZACIÓN MORFOMÉTRICA Y CUALITATIVA DE SEMILLAS DE ACCESIONES DE FRIJOL DOLICHO (*Lablab purpureus* L.)

Filiberto Anzures-Olvera^{1*}, Oscar M. Antúnez-Ocampo¹, Bernardo Carranza-Hilario², Edgar Jesús Delgado-Núñez², Fernando Edgar Martínez-Silva³

¹INIFAP, CE Iguala. ²Universidad Autónoma de Guerrero Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. ³INIFAP, CE Valles Centrales de Oaxaca

*Autor para correspondencia: anzures.filiberto@inifap.gob.mx

Palabras clave. Morfometría, densidad, frijol dolicho.

Introducción

El frijol dolicho (*Lablab purpureus* L.) es una leguminosa que se cultiva en monocultivo o cultivo mixto (intercalados con maíz y sorgo o plantaciones de cítricos y plátano) en las regiones tropicales de Asia, África y América, ya que se utiliza como legumbre, hortaliza, abono verde, forraje, fijador de N, cultivo ornamental y medicinal (Letting et al., 2021). La diversidad de usos de este frijol se debe a que las vainas contienen altos niveles de proteína (22.4 a 31.3%) y carbohidratos (55%), lo que representa un sustituto perfecto de la proteína que se emplea en la alimentación del ganado vacuno, ovino, caprino y cerdos; sin embargo, diversos autores han reportado que esta leguminosa tiene una gran diversidad genética (Kilonzi et al., 2017), ya que sus genotipos o variedades expresan variación en rasgos cuantitativos y cualitativos de planta, fruto y semilla; así como, en los componentes del rendimiento (Letting et al., 2021). En este sentido, la caracterización físico-morfológica del germoplasma proporciona un registro estandarizado de los caracteres de la planta, fruto y semilla, que contribuyen en gran medida a identificar y conservar la variabilidad fenotípica constituida por diversas características morfológicas y agronómicas (Ramesh and Byregowda, 2016). Es importante resaltar que esta acción ha permitido documentar la recolección y el grado de domesticación de diversos genotipos, que posteriormente sobresalen (genotipos élite o prometedores) en componentes del rendimiento, cuyos fines son alimenticios y forrajeros (Letting et al., 2021; Kiran et al., 2024). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el germoplasma existente de dolichos del Campo Experimental Iguala en función de sus características morfológicas cualitativas y cuantitativas.

Materiales y Métodos

Se utilizaron cinco genotipos de frijol dolicho, provenientes del banco de germoplasma de especies forrajeras del Campo Experimental Iguala, ubicado Iguala de la Independencia, estado de Guerrero. La caracterización y descripción de las accesiones se hizo con base en el procedimiento estándar recomendado por Byregowda *et al.* (2015) para determinar los parámetros de: i) peso de la semilla: se contaron manualmente 100 semillas y se pesaron por cuadruplicado para cada genotipo de frijol *Lablab*, utilizando una balanza electrónica de sensibilidad ± 0.005 g y se registró el peso promedio; ii) dimensiones axiales (largo, ancho y espesor): el largo y ancho se midió con un vernier y el espesor con un parquímetro digital a 0.01 mm, se registró el promedio de 50 semillas seleccionadas al azar; iii) volumen de las semillas: se obtuvo mediante el volumen desplazado de 50 semillas en una probeta con 50 cm³ de agua destilada, pero antes se pesaron cada muestra de semilla. Estos datos permitieron obtener la densidad de las semillas (pt, g/cm³), dividiendo el peso (g) entre el volumen del agua desplazada (cm³); iv) densidad aparente (pb) se determinó midiendo el volumen y el peso de la muestra colocada en una probeta graduada de 50 cm³ en condiciones constantes y expresada en g/cm³; v) relación de densidad se obtuvo a partir de la relación entre la densidad aparente y la densidad de las semillas. vi) porosidad del grano se determinó con la ecuación: $\varepsilon = 1 - (pt/pb)$. Los resultados cuantitativos obtenidos se sometieron a un ANOVA ($\alpha \leq 0.05$) y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS (SAS, 2004).

Resultados y Discusión

Los resultados de la caracterización física de las semillas de frijol dolicho se presentan en el cuadro 1. En apariencia, el color de las semillas fue marrón, negro, rojo y verde. En las variables de peso de 100 semillas,

número de semillas en 100g y las dimensiones axiales (largo, ancho y espesor) fueron significativamente diferentes entre las cinco accesiones. El rango de peso de 100 semillas fue de 17.75 a 24.9 g, donde la accesión DO_CEI_05 registró el peso más bajo y DO_CEI_04 el más alto (cuadro 1); sin embargo, este valor observado es menor al reportado por Kiran *et al.* (2024) quienes reportaron un rango de 32.21 a 49.48 g. Por otro lado, los parámetros de largo, ancho y espesor de la semilla oscilaron de la siguiente manera 10.6 a 11.7 mm, 7.2 a 7.7 mm y 3.7 a 4.5 mm, respectivamente. La accesión DO_CEI_04 fue significativamente mayor en longitud, anchura y espesor que los otros cuatro genotipos; mientras que, DO_CEI_05 fue significativamente menor en las medidas axiales de la semilla, respecto a los demás genotipos. No obstante, este material de frijol (DO_CEI_05) únicamente sobresalió en la variable de número de semillas en 100g.

Cuadro 1. Características físicas de las semillas de accesiones de frijol dolicho.

ID	Color de la semilla	Peso 100 semillas (g)	Número de semillas en 100 g	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
DO_CEI_01	Marrón	22.68 ^c	431.75 ^b	11.04 ^b	7.63 ^a	4.37 ^{bc}
DO_CEI_02	Marrón oxidado	23.65 ^b	446.75 ^b	11.22 ^b	7.68 ^a	4.47 ^{ab}
DO_CEI_03	Rojo	22.33 ^c	445.75 ^b	11.04 ^b	7.36 ^b	4.35 ^c
DO_CEI_04	Negro	24.90 ^a	403.00 ^c	11.72 ^a	7.77 ^a	4.49 ^a
DO_CEI_05	Verde	17.75 ^d	582.75 ^a	10.68 ^c	7.23 ^b	3.70 ^d
Media general		22.26±2.55	462.61±64.65	11.14±0.57	7.53±0.46	4.28±0.39
CV (%)		11.46	13.99	5.09	6.12	9.20

Promedio con letras iguales en cada variable son estadísticamente iguales, Tukey $p \leq 0.05$. CV = Coeficiente de variación. ID = Identificación de la accesión.

Los valores medios obtenidos para los parámetros de largo, ancho y espesor de las muestras fueron 11.14 mm, 7.53 mm y 4.28 mm, respectivamente. Estos valores son menores a los reportados por Khatun *et al.* (2022) quienes obtuvieron semillas con largo de 12.74 mm y ancho de 9.30 mm, respectivamente. Además, el resultado obtenido en la variable de peso promedio de 100 semillas fue menor (22.26 vs 40.46 g) al reportado por Kiran *et al.* (2024).

Los valores estadísticos obtenidos en las propiedades gravimétricas de las semillas de dolicho en términos de densidad verdadera (pt), densidad aparente (pb), relación de densidad y porosidad (ϵ) se reportan en el cuadro 2. De manera general, los valores promedio de las semillas fueron 15.35 cm³ para volumen, 1.50 g/cm³ para pt, 0.34 g/cm³ para pb y 76.61% para ϵ , estos resultados indican que la semilla de frijol dolicho presenta un porcentaje relativamente alto de espacio aéreo. Por lo tanto, será menos resistente a la corriente de aire y, por tanto, menos difícil de secar. El genotipo DO_CEI_04 fue significativamente mayor en pt, pb y la relación de densidad respecto a los demás genotipos. No obstante, en la porosidad del grano fue significativamente menor que los otros genotipos. En este sentido, la respuesta significativa del genotipo de frijol dolicho en la densidad se la semilla contrasta con lo reportado por Kilonzi *et al.* (2017), quienes no encontraron diferencias en tres genotipos de dolicho en Kenia. Además, estos mismos autores informaron valores menores de densidad (1.5 vs 1.1 g/cm³).

Las características de densidad son una medida de la dureza de una muestra de harina o alimento. Es importante para determinar los requisitos de embalaje, el manejo de materiales y la aplicación en el procesamiento húmedo en la industria alimentaria. También determina la capacidad del sistema de almacenamiento y transporte. Asimismo, estos parámetros se utilizan para predecir el funcionamiento de una máquina de granos. Igualmente se ha establecido que la densidad es proporcional a los componentes materiales en una muestra de alimento a base de granos (Kilonzi *et al.*, 2017).

El conocimiento de los parámetros de pt, pb y ϵ son importante para diseñar el tamaño de las tolvas y las instalaciones de almacenamiento porque influyen en la tasa de transferencia de calor y masa de humedad durante el proceso de aireación y secado. Además, es el factor más importante que afecta el empaque de

las semillas es su porosidad porque influye en la resistencia al flujo de aire a través de las semillas a granel (Kilonzi *et al.*, 2017).

Cuadro 2. Propiedades gravimétricas de las semillas de accesiones de frijol dolicho.

ID	Volumen (cm ³)	Densidad verdadera (g/cm ³)	Densidad aparente (g/cm ³)	Density Ratio	Porosidad (ε)
DO_CEI_01	14.50 ^{bc}	0.79 ^b	0.17 ^b	0.22 ^{bc}	77.53 ^{ab}
DO_CEI_02	16.00 ^b	0.75 ^b	0.18 ^b	0.24 ^b	75.81 ^{bc}
DO_CEI_03	15.25 ^b	0.74 ^b	0.17 ^b	0.23 ^b	76.65 ^{abc}
DO_CEI_04	12.75 ^c	0.49 ^c	0.13 ^c	0.20 ^c	73.33 ^c
DO_CEI_05	18.25 ^a	1.00 ^a	0.20 ^a	0.27 ^a	79.75 ^a
Media general	15.35±2.46	0.75±0.19	0.17±0.03	0.234±0.03	76.61±2.86
CV (%)	15.99	25.96	14.11	12.23	3.74

Promedio con letras iguales en cada variable son estadísticamente iguales, Tukey $p \leq 0.05$. CV = Coeficiente de variación. ID = Identificación de la accesión.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que las accesiones de frijol dolicho presentan variabilidad genética en las variables evaluadas (peso, largo, ancho y espesor de la semilla), además de diferencias en la coloración de la testa, peso de 100 semillas y el número de semillas en 100 g. Dichas diferencias podrían determinar la preferencia del uso y ser aprovechadas para la selección de materiales sobresalientes. La importancia de esta descripción es que puede incluirse entre las actividades de un programa de mejoramiento genético en esta leguminosa.

Agradecimientos

A los estudiantes de servicio social de la Universidad Autónoma del Estado de Guerrero (UAGro) y del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGro).

Referencias bibliográficas

- Byregowda, M., G. Girish, S. Ramesh, P. Mahadevu, and C. M. Keerthi. 2015. Descriptors of Dolichos bean (*Lablab purpureus* L.). J. Food Legum. 28:203–214.
- Khatun, R., M. I. Uddin, M. M. Uddin, M. T. H. Howlader, and M. S. Haque. 2022. Analysis of qualitative and quantitative morphological traits related to yield in country bean (*Lablab purpureus* L. *sweet*) genotypes. Heliyon. 8.
- Kilonzi, S. M., A. O. Makokha, and G. M. Kenji. 2017. Physical characteristics, proximate composition and anti-nutritional factors in grains of lablab bean (*Lablab purpureus*) genotypes from Kenya. J. Appl. Biosci. 114:11289–11298.
- Kiran, V., A. L. Ola, D. Tiwari, G. Sharma, S. Kumar, and S. Singh. 2024. Morpho-phenological characterization and genetic analysis of dolichos bean germplasm from Uttar Pradesh, India. Plant Genet. Resour. 1–10. doi:10.1017/S1479262124000091.
- Letting, F. K., P. B. Venkataramana, and P. A. Ndakidemi. 2021. Breeding potential of lablab [*Lablab purpureus* (L.) *Sweet*]: a review on characterization and bruchid studies towards improved production and utilization in Africa. Genet. Resour. Crop Evol. 68:3081–3101.
- Ramesh, S., and M. Byregowda. 2016. Dolichos bean (*Lablab purpureus* L. *Sweet*, var. *lignosus*) genetics and breeding-present status and future prospects. Mysore J. Agric. Sci. 50:481–500.

CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE ACCESIONES DE FRIJOL DOLICHO [*Lablab purpureus* (L.)]

Filiberto Anzures-Olvera^{1*}, Oscar M. Antúnez-Ocampo¹, Bernardo Carranza-Hilario², Edgar Jesús Delgado-Núñez², Fernando Edgar Martínez-Silva³.

¹INIFAP, CE Iguala. ²Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. ³INIFAP, CE Valles Centrales de Oaxaca

*Autor para correspondencia: anzures.filiberto@inifap.gob.mx

Palabras clave. Accesiones, fenotipo, frijol dolicho.

Introducción

El frijol dolicho o Jacinto [*Lablab purpureus* (L.)] es una especie de la familia de las fabáceas originario del Afrotrópico y Asia, que se ha extendido a Sudamérica. Esta leguminosa se cultiva en las zonas tropicales de África, Asia y América como planta de forraje y por su fruto, con valor alimentario, aunque la alta presencia de glicósidos cianogénicos en las vainas hace necesario una cocción para su consumo humano (Khatun *et al.*, 2022). Este tipo de frijol se considera como un cultivo de multipropósito, ya que se utiliza como legumbre, hortaliza, forraje, acondicionamiento y conservación de suelos y control de malezas (Kiran *et al.*, 2024). En este contexto, las vainas reportan un contenido de proteína de 10 a 19%; mientras que, las semillas de 15 a 25%, respectivamente ideales para la alimentación del ganado. La planta de dolicho exhibe resistencia a sequía y alta adaptabilidad, por lo que resiste una variedad de condiciones ambientales garantizando su crecimiento; sin embargo, se ha reportado una variación físico-morfológica significativa entre los genotipos cultivados. Además, el rendimiento y los atributos de rendimiento también son diferentes entre los genotipos. Esta variación es un material útil para los fitomejoradores para la mejora de cultivos (Islam *et al.*, 2010). La caracterización físico-morfológica proporciona un registro estandarizado de caracteres de la planta, fruto y semilla fácilmente evaluables, que contribuyen en gran medida a identificar una accesión, porque la caracterización y evaluación proporcionarán un medio de información rápido, confiable y eficiente para la adecuada utilización del germoplasma (Byregowda *et al.*, 2015). Esto también es útil para seleccionar la línea parental adecuada para un programa de mejoramiento más dirigido a ciertos caracteres de interés agronómicos.

Objetivo

La presente investigación se planteó el objetivo de evaluar los caracteres cualitativos de semillas de frijol dolicho conservadas en el banco de germoplasma del Campo Experimental Iguala.

Materiales y Métodos

Se utilizaron cinco genotipos de frijol dolicho con 12 a 14% de humedad (figura 1), provenientes del banco de germoplasma de especies forrajeras del campo Experimental Iguala (18.35 N, -99.50 W), ubicado en el estado de Guerrero, México. El sitio experimental es de clima cálido subhúmedo (Aw0) con lluvias en verano con precipitación anual es de 1100 mm y altitud de 635. Cada muestra de semilla estuvo conservada en frascos de pastico de capacidad de 900 mL, a temperatura de 20 °C.

La caracterización y descripción de las accesiones se hizo con base en el procedimiento estándar recomendado por Byregowda *et al.* (2015) para evaluar los parámetros de: i) forma (alargada, plana, globular y ovalada), ii) apariencia (brillante/opaca), iii) división de la testa (presente/ausente) iv) hilum (delgado/grueso), v) patrón de color de la testa, vi) color base de las semillas, y vii) color del hilum de la semilla se usó la carta de colores Munsell para tejidos vegetales (2012). En este caso, en cada accesión de frijoles dolicho se utilizó una muestra de 50 semillas obtenidas al azar de una muestra de 500 g. Los datos obtenidos de los descriptores cualitativos multicategoricos, se ordenaron en hoja de Excel, y fueron sometidos a un análisis descriptivo.



Figura 1. Variabilidad del color de la semilla de cinco accesiones de dolicho conservadas en el Campo Experimental Iguala, estado de Guerrero.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1, se presentan las diferentes características cualitativas de la semilla que registraron las accesiones de frijol dolicho. En este sentido, todas las accesiones presentaron las semillas de forma alargada, con apariencia opaca y división de la testa e hilum grueso; mientras que, el color varió entre las accesiones. De acuerdo con el color primario de la testa, las accesiones se clasificaron en cinco categorías, que fueron negro, rojo, marrón, verde y púrpura. Entre los genotipos, el 40% de estos presentaron como color secundario de la cubierta de la semilla marrón y rojo púrpura, seguido por el 20% restante con el color de la cubierta de la semilla verde (Munsell 2.5Y 8/10, amarilla aceituna).

La forma plana de la semilla también ha sido documentada por Islam *et al.* (2010) quienes observaron que más del 58% de genotipos de 44 genotipos de dolichos de Gazipur, Bangladesh presentaron semilla plana; además, informaron que el 93.2% de los genotipos no presentaron división de la testa, contrario a lo encontrado en el presente trabajo. En cuanto a la coloración de la testa, estos autores encontraron que el color negro (47.7%) y rojo púrpura (29.6%) fueron los colores más sobresalientes en las semillas, seguido del marrón oxidado (9.1%), blanco (6.8%) y mixto (6.8%). Caso contrario reporto Sultana (2001) quien solo encontró semillas de color verde y morado entre 107 genotipos.

En la mayoría de las accesiones (80%) el tamaño de la semilla fue intermedio (17.5-23.4 g); en contraste Kiran *et al.* (2024) obtuvieron un rango mayor (32.21 a 49.48 g) en accesiones de dolicho del banco de germoplasma de Uttar Pradesh, India; no obstante, estos datos son cercanos al reportado por Kilonzi *et al.* (2017) en genotipos de dolichos en Kenia (26.1 a 29.2 g), siendo estos resultados dentro de la categoría de intermedio. La longitud de la semilla varió de 8.8 a 12.9 mm, resultados similares en el largo de la semilla (8 a 12 mm) fueron reportados por Khatun *et al.* (2022) al analizar 50 accesiones del banco de germoplasma del Instituto de Investigación Agrícola de Bangladesh. Para el ancho de la semilla, se registró un ancho de semilla intermedio (5 a 10 mm) en la totalidad de los genotipos (100%), esto es consistente con lo informado por Khatun *et al.* (2022). Se encontró que el espesor de la semilla era de fino a grueso (2.97 a 5.11 mm). Valores similares fueron reportados por Islam *et al.* (2010) en relación al tamaño (6.0 a 62.10 g), largo (6.3 a 15.6 mm), ancho (4.13 a 11.4 mm) y espesor (3.12 a 8.0 mm) de la semilla.

Cuadro 1. Distribución de frecuencias (%) de los caracteres cualitativos de las accesiones de frijol dolicho.

Carácter	Clase	No de accesión	Frecuencia (%)
Forma	1.-	Alargada	5
	2.-	Ovalada	0
	3.-	Plana	0
	4.- Redonda		0
Apariencia	1.-	Opaca	5
	2.- Brillante		0
División de la testa de la semilla	1.-	Presente	5
	2.- Ausente		0
Hilum	1.-	Grueso	5
	2.- Delgado		0
Color primario	1.- Verde (Munsell 2.5Y8/10)	1	20
	2.- Negro (Munsell 10YR2/1)	1	20
	3.- Rojo (Munsell 2.5YR3/6)	1	20
	4.- Marrón (Munsell 5YR6/8)	1	20
	5.- Púrpura (Munsell 2.5YR3/6)	1	20
olor secundario	1.- Marrón (Munsell 5YR6/8)	3	40
	2.- Verde (Munsell 2.5Y8/10)	1	20
	3.- Rojo púrpura (Munsell 2.5YR3/6)	1	40
	4.- Sin color	0	0
Patrón de color de la cubierta	1.-	Anillado	0.5
	2.- Liso		4.5
Coloración del halo	1.- Blanco (Munsell 10YR 8/2)	4	90
	2.- Marrón oxidado (Munsell 5YR6/8)	1	10
	3.- Rojo púrpura (Munsell 2.5YR3/6)	0	0
	4.-Negro (Munsell 10YR2/1)	0	0
	5.- Mixto	0	0
Tamaño de la semilla	1.- Grande (> 40 g/100 semillas)	0	0
	2.- Medio (20-40 g)	4	80
	3.- Pequeño (< 20 g)	1	20
Largo de la semilla	1.- Corto < 10 mm	1	0.02
	2.- Intermedio 10-13 mm	4	0.98
	3.- largo > 13 mm	0	0
Ancho de la semilla	1.- Corto < 5 mm	0	0
	2.- Intermedio 5-10 mm	5	100
	3.- largo > 10 mm	0	0
Espesor del grano	1.- Corto < 5 mm	5	100
	2.- Intermedio 5-6 mm	0	0
	3.- largo > 6 mm	0	0

En la mayoría de las accesiones (80%) el tamaño de la semilla fue intermedio (17.5-23.4 g); en contraste Kiran *et al.* (2024) obtuvieron un rango mayor (32.21 a 49.48 g) en accesiones de dolicho del banco de germoplasma de Uttar Pradesh, India; no obstante, estos datos son cercanos al reportado por Kilonzi *et al.* (2017) en genotipos de dolichos en Kenia (26.1 a 29.2 g), siendo estos resultados dentro de la categoría de intermedio. La longitud de la semilla varió de 8.8 a 12.9 mm, resultados similares en el largo de la semilla

(8 a 12 mm) fueron reportados por Khatun *et al.* (2022) al analizar 50 accesiones del banco de germoplasma del Instituto de Investigación Agrícola de Bangladesh. Para el ancho de la semilla, se registró un ancho de semilla intermedio (5 a 10 mm) en la totalidad de los genotipos (100%), esto es consistente con lo informado por Khatun *et al.* (2022). Se encontró que el espesor de la semilla era de fino a grueso (2.97 a 5.11 mm). Valores similares fueron reportados por Islam *et al.* (2010) en relación al tamaño (6.0 a 62.10 g), largo (6.3 a 15.6 mm), ancho (4.13 a 11.4 mm) y espesor (3.12 a 8.0 mm) de la semilla.

Conclusión

Los resultados obtenidos de la caracterización fenotípica describen que existe variabilidad entre las accesiones de frijol dolicho, en cuanto a las características de tamaño, largo, ancho y espesor de la semilla; además de presentar diferente coloración en la testa. Todo lo anterior es un requisito previo para el mejoramiento genético de plantas, ya dichas diferencias podrían determinar la preferencia del uso y ser aprovechadas para la selección de materiales sobresalientes. Por otro lado, estos resultados preliminares permiten inferir que las accesiones pueden tener diferencias genéticas.

Agradecimientos

Los resultados son parte del proyecto “Banco de germoplasma de especies forrajeras en Guerrero”, con número de SIGI: 925166915, financiado por el INIFAP.

A los estudiantes de servicio social de la Universidad Autónoma del Estado de Guerrero (UAGro) y del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGro).

Referencias bibliográficas

- Byregowda, M., G. Girish, S. Ramesh, P. Mahadevu, and C. M. Keerthi. 2015. Descriptors of Dolichos bean (*Lablab purpureus* L.). J. Food Legum. 28:203–214.
- Islam, M. S., M. M. Rahman, and T. Hossain. 2010. Physico-morphological variation in hyacinth bean [*Lablab purpureus* (L.) Sweet]. Bangladesh J. Agric. Res. 35:431–438.
- Khatun, R., M. I. Uddin, M. M. Uddin, M. T. H. Howlader, and M. S. Haque. 2022. Analysis of qualitative and quantitative morphological traits related to yield in country bean (*Lablab purpureus* L. *sweet*) genotypes. Heliyon. 8.
- Kilonzi, S. M., A. O. Makokha, and G. M. Kenji. 2017. Physical characteristics, proximate composition and anti-nutritional factors in grains of lablab bean (*Lablab purpureus*) genotypes from Kenya. J. Appl. Biosci. 114:11289–11298.
- Kiran, V., A. L. Ola, D. Tiwari, G. Sharma, S. Kumar, and S. Singh. 2024. Morpho-phenological characterization and genetic analysis of dolichos bean germplasm from Uttar Pradesh, India. Plant Genet. Resour. 1–10. doi:10.1017/S1479262124000091.
- Sultana, N. 2001. Genetic variation of morphology and molecular markers and its application to breeding in Lablab bean. Kyshu University, Fukuoka, Japan.

USO DE TRATAMIENTOS PRE-GERMINATIVOS EN SEMILLAS DE *Senegalia gaumeri* (S. F. Blake) Britton & Rose DEL SURESTE DE MÉXICO

Martín Aquino-Ramírez^{1*}, Rolando Misael Tlaxcala-Méndez², Jerónimo Sepúlveda-Vázquez¹, Julio Cesar Ríos-Saucedo³

¹INIFAP CIR-Sureste CE Edzná; ²INIFAP CIR-Golfo Centro CE El Palmar; ³INIFAP CIR-Norte Centro CE Valle del Guadiana

*Autor para correspondencia: martin.aquino.forestal@gmail.com

Palabras clave. Latencia, escarificación, selva baja caducifolia.

Introducción

Senegalia gaumeri es una leguminosa caducifolia endémica de la Península de Yucatán, el norte de la región del Peten en Guatemala y el oeste de Belice. A esta especie se le conoce comúnmente como box kaatsim, box kassim y box catzin. Además, se encuentra en distintos tipos de vegetación, por ejemplo, selva baja y mediana caducifolia, selva mediana subperennifolia, matorral de duna costera, así como en la vegetación secundaria o “acahual” durante su primera etapa de regeneración (Sepúlveda-Vázquez *et al.* 2018). En la Península de Yucatán, esta leguminosa es considerada como multipropósito, ya que es utilizada para leña y carbón, construcción, medicinal, forraje para la alimentación de rumiantes y aves de corral, así como especie melífera. A pesar de la importancia que tiene *S. gaumeri* en la región, es escasa la información relacionada a los métodos de reproducción in vitro, lo que limita emprender proyectos de reforestación y restauración con dicha especie. El método más común de propagación de individuos de forma rápida y económica es a través de semillas. En especies de leguminosas, la latencia física impuesta por la cubierta de la semilla es el principal problema, lo cual ocasiona una disminución en la germinación en condiciones naturales ya que no permite la entrada de oxígeno, luz y agua para el crecimiento del embrión (Tovar-Cárdenas *et al.* 2022). Para romper de una manera más efectiva la latencia física de las semillas, se pueden usar tratamientos pre-germinativos. En *S. gaumeri* es limitada la información específica para incrementar la germinación de semillas para la producción de plantas in vitro para los programas de restauración y reforestación.

Objetivo

Evaluar el efecto de tratamientos pre-germinativos (físicos, mecánicos y químicos) en la germinación de semillas de *S. gaumeri* en cuatro poblaciones distintas de la Península de Yucatán.

Materiales y Métodos

Las semillas se obtuvieron de individuos de cuatro poblaciones nativas de la selva baja caducifolia en los estados de Campeche y Yucatán (cuadro 1). Los árboles seleccionados para la colecta de vainas estuvieron libres de plagas y enfermedades. La colecta de vainas se realizó durante los meses de abril a mayo 2024. Las semillas fueron extraídas en forma manual de vainas maduras con una coloración marrón y antes de que ocurriera su dehiscencia. Posteriormente, se seleccionaron semillas sin deformidades o daños por insectos. Las semillas se almacenaron por procedencia en bolsas de papel identificadas mediante etiquetas y fueron refrigeradas a 5 °C hasta el inicio del experimento.

Cuadro 1. Sitios de colecta de vainas de *Senegalia gaumeri*.

Población	Estado	Latitud (N)	Longitud (O)	No. árboles
Chicxulub1	Yucatán	21.2748	-89.3204	8
Chicxulub2	Yucatán	20.4334	-90.0145	8
Hecelchakán	Campeche	20.1844	-90.1445	7
El Cayal	Campeche	19.7438	-90.1768	8

El experimento se desarrolló en el Laboratorio del Campo Experimental Edzná del INIFAP (19°45'02.1" N y -90°27'03.4" O) en el estado de Campeche. Los tratamientos pre-germinativos aplicados a las semillas

fueron los siguientes: (T1) Testigo (semillas sin tratamiento), (T2) inmersión en agua a temperatura ambiente por 12 horas, (T3) inmersión en agua a temperatura ambiente por 24 horas, (T4) inmersión en agua caliente (a 100 °C) por 1 minuto, (T5) inmersión en agua caliente (a 100 °C) por 5 segundos, (T6) corte de 1 a 2 mm de la cubierta de la semilla mediante navaja en el extremo opuesto al hilo para no dañar al embrión, (T7) inmersión en ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado por 15 minutos, (T8) inmersión en ácido clorhídrico (HCl) diluido al 10% por 20 minutos y (T9) inmersión en ácido giberélico (C₁₉H₂₂O₆) en una concentración de 200 mg l⁻¹ por 24 horas. En los T7, T8 y T9 se lavaron las semillas con agua destilada una vez aplicado cada tratamiento y secadas a temperatura ambiente para continuar con el experimento. El diseño experimental aplicado a cada población fue completamente al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 50 semillas, las cuales se colocaron sobre papel filtro en cajas de Petri de plástico de 90 x 15 mm. Como criterio para determinar la germinación se consideró a la emergencia de la radícula del embrión y que tuviera 3 mm de longitud. Durante 25 días se llevó a cabo un registro diario de semillas germinadas en cada uno de los tratamientos. La humedad del papel filtro se mantuvo constante durante todo el periodo del experimento, ya que se le aplicó agua destilada estéril cada vez que se requería. El porcentaje de germinación acumulada (PGA) y el índice de velocidad de germinación (IVG) fueron las variables evaluadas, las cuales se calcularon con las siguientes expresiones: PGA= (Número de semillas germinadas) / (Número de semillas sembradas) ×100 y IVG= (Número de semillas germinadas) / (días transcurridos primera fecha) +...+ (Número de semillas germinadas) / (días transcurridos última fecha). Un ANDEVA fue utilizado para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables PGA e IVG en las cuatro poblaciones. Los valores de porcentaje fueron transformados con Arcsen ($\sqrt{\%/100}$) para cumplir con los supuestos de la normalidad. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey (p < 0.05) a partir de los datos no transformados. Los datos fueron procesados y analizados con el software estadístico R.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de varianza en cada una de las poblaciones indicaron que existen diferencias significativas (p<0.0001) entre los tratamientos pre-germinativos PGA e IVG. El tratamiento pre-germinativo de corte de la cubierta de la semilla (T6) mostró el PGA más alto respecto a los demás tratamientos en todas las poblaciones analizadas (cuadro 2). Con este tratamiento, las poblaciones El Cayal y Chicxulub1 registraron un valor de PGA de 98.5%, en tanto que Chicxulub2 y Hecelchakán obtuvieron un PGA de 93.5% y 91.5%, respectivamente. Las semillas sin tratamiento pre-germinativo (testigo) tuvieron un intervalo de PGA de 48% a 71%, valores que no mostraron diferencias estadísticas (p > 0.05) con respecto a los obtenidos con los tratamientos pre-germinativos T2, T3, T5 y T9 en Chicxulub1, Chicxulub2 y Hecelchakán. En cambio, T5 y T7 en El Cayal fueron estadísticamente diferentes (p < 0.05) al contrastarlos con el testigo con un PGA de 71.5% a 75%. Los valores más bajos en el PGA (2% a 12%) fueron los registrados con el T4 inmersión en agua caliente a 100 °C por 1 minuto en todas las poblaciones.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos pre-germinativos en el porcentaje de germinación acumulada (PGA) de las cuatro poblaciones de *S. gaumeri*.

Tratamiento	Población			
	Chicxulub1	Chicxulub2	Hecelchakán	El Cayal
T1	56±8.5 bc	71.5±6.8 bc	68.5±4.1 bc	48±3.2 c
T2	50.5±8.5 cd	77±6.8 b	68±7.5 bc	53.5±4.4 c
T3	57.5±3.4 bc	60.5±7.1 c	63±15.8 bcd	32±11.2 d
T4	2±2.3 e	2±2.8 e	2.5±1.9 e	12±8.5 e
T5	65±8.4 b	69.5±10.1 bc	75±2.5 b	75±2.5 b
T6	98.5±1 a	93.5±2.5 a	91.5±3 a	98.5±1.9 a
T7	43±8.1 d	29.5±4.7 d	57±9.6 cd	71.5±6.8 b
T8	49.5±3.4 cd	61.50±8.1 c	52±12.1 d	47±7.7 c
T9	39.5±7 d	69±15.8 bc	68.5±9.2 bc	32.5±10.7 d

Medias ± desviación estándar con letras iguales en cada columna, indican que no existen diferencias estadísticas significativas (Tukey, p > 0.05).

Las semillas que estuvieron sujetas al tratamiento pregerminativo T6 en las cuatro poblaciones mostraron un IVG alto con un intervalo de 36 a 48 plántulas día⁻¹ en las cuatro poblaciones. Mientras los demás tratamientos incluyendo al testigo mostraron valores de IVG inferiores a 10 plántulas día⁻¹ en todas las poblaciones.

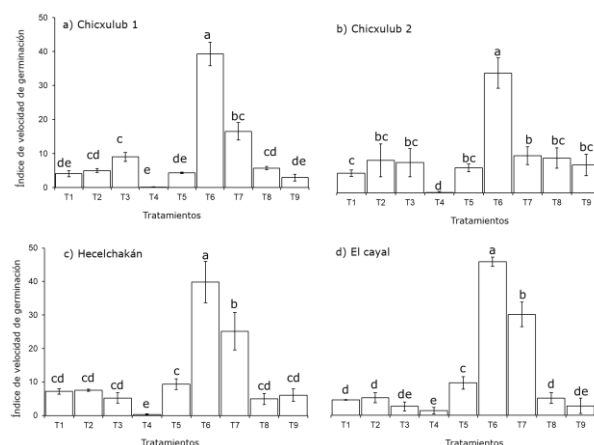


Figura 1. Efecto de los tratamientos en el índice de velocidad de germinación de las semillas de *S. gaumeri* provenientes de a) Chicxulub 1, b) Chicxulub 2, c) Hecelchakán y d) El Cayal. Medias $\pm$ desviación estándar con letras distintas en cada procedencia indican diferencias significativas (Tukey, p<0.05).

El comportamiento de la respuesta germinativa acumulada durante los 25 días del experimento se observa en la figura 2. La emergencia de las plántulas en las cuatro poblaciones inició posterior al primer día de la siembra en la mayoría de los tratamientos.

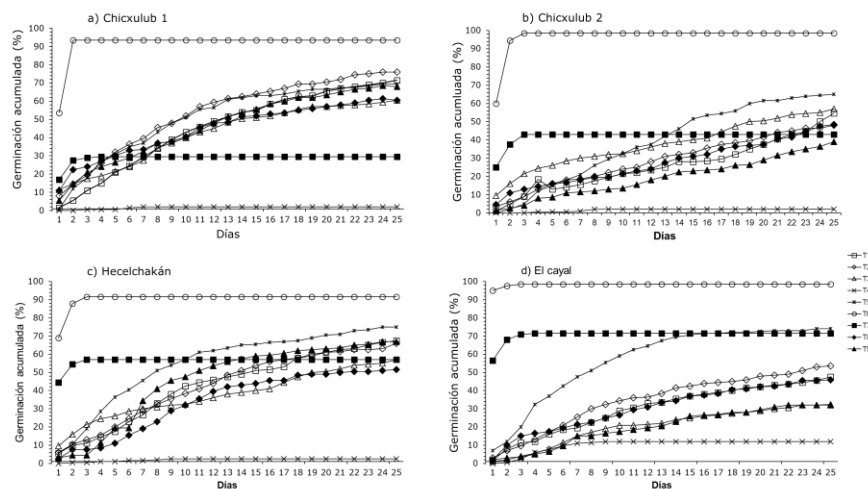


Figura 2. Tendencia porcentual de germinación acumulada de semillas de *S. gaumeri* provenientes de Chicxulub 1 (a), Chicxulub 2 (b), Hecelchakán (c) y El Cayal (d) bajo diferentes tratamientos pregerminativos. La evaluación se realizó durante 25 días en las cuatro poblaciones.

La respuesta de las semillas tratadas con el T6 fue la más rápida con una germinación en el primer día de evaluación entre el 56 y 95%. Con este mismo tratamiento la máxima germinación acumulada total se estabilizó al tercer día en todas las poblaciones de *S. gaumeri*. La alta y rápida germinación obtenida en el presente estudio se debe a que al romper la cubierta de las semillas se estimula la imbibición del agua y el intercambio gaseoso al embrión. Esta respuesta de las semillas se ha observado en otras especies de

leguminosas, donde el tratamiento pre-germinativo de escarificación mecánica facilita el ablandamiento y ruptura de la cubierta seminal de las semillas. Lo cual, permite una mayor permeabilidad al agua favoreciendo un incremento y uniformización de la germinación en un menor lapso de tiempo (Milano et al. 2021). Sin embargo, el uso de la escarificación mecánica tiene como desventaja una mayor inversión de tiempo para su implementación, especialmente cuando se maneja grandes cantidades de semillas, en consecuencia, resulta poco práctico. Por lo cual, una alternativa efectiva para procesar un volumen elevado de semillas es la escarificación por calor húmedo. Con este tratamiento pre-germinativo se han logrado excelentes resultados en la germinación de especies de leguminosas (Jaganathan et al. 2018). En el presente estudio, el segundo mejor tratamiento pre-germinativo de semillas de *S. gaumeri* fue la inmersión en agua caliente a 100 °C por 5 segundos; porque en tres de las cuatro poblaciones analizadas se obtuvieron un intervalo de germinación de 65% a 75% y superior al 25% respecto al tratamiento testigo. Con estos valores porcentuales de germinación se deduce que, el tiempo de exposición utilizado fue insuficiente para lograr ablandar la cubierta seminal y permitir la permeabilidad del agua en todas las semillas, debido a que solo se mantuvieron en el agua caliente por 5 segundos. Por otra parte, las semillas de las poblaciones que estuvieron sujetas al tratamiento de agua caliente por un minuto, en todas mostraron el menor índice de germinación del experimento (inferior al 12%). Lo cual, se atribuye al periodo de inmersión excesiva, lo que ocasionó, incluso, la muerte de los embriones. La efectividad de la germinación mediante el uso de agua caliente puede ser distinto con diferente periodo de tiempo y nivel de temperatura de exposición, incluso el agua puede alcanzar su máxima temperatura y las semillas pueden tolerarla y mantenerse viables y, por lo tanto, se sugiere efectuar estudios más amplios en semillas de *S. gaumeri* con este tipo de tratamientos pre-germinativos.

Conclusiones

En este estudio se comprobó que la escarificación mecánica a través de la remoción de la cubierta de semillas de *S. gaumeri* como tratamiento pre-germinativo fue el más efectivo para promover la germinación de semillas en las cuatro poblaciones analizadas de la Península de Yucatán. Sin embargo, se sugiere realizar más investigaciones para determinar un método más práctico para escarificar grandes cantidades de semillas.

Agradecimientos y Fuente financiadora

El presente trabajo se realizó con financiamiento de recursos fiscales INIFAP a través del proyecto “Efecto nutracéutico del consumo de *Centrosema macrocarpum* y *Senegalia gaumeri* en ovinos” con número de registro SIGI: 2-1.6-0453934070-P-M.2-2.

Referencias bibliográficas

- Jaganathan G.K., Yule K.J., Biddick M. 2018. Determination of the water gap and the germination ecology of *Adenanthera pavonina* (Fabaceae, Mimosoideae); the adaptive role of physical dormancy in mimetic seeds. *AoB Plants* 10(5): ply048.
- Milano C., Tizón F.R., Peláez D.V., Martínez L.C., Ribet A. 2021. Germinación de dos especies de *Rhynchosia* (Fabaceae) nativas de Argentina central útiles para la restauración productiva de pastizales naturales. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 47(1): 88-97.
- Sepúlveda-Vázquez J., Torres-Acosta F.J., Sandoval-Castro C., Martínez-Puc J.F., Chan-Pérez J.I. 2018. La importancia de los metabolitos secundarios. en el control de nematodos gastrointestinales en ovinos con énfasis en Yucatán, México. *Journal of the Selva Andina Animal Science* 5:79-95.
- Tovar-Cárdenas A, Jurado-Ybarra E., Alanís-Rodríguez E., Espinoza-López M., Gárate-Escamilla H. 2022. Capacidad de germinación y sobrevivencia de especies del Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 18(2): 48-55.

PRESENCIA GEOESPACIAL DE CINCO RAZAS DE MAÍZ NATIVO Y SU MANEJO EN LA MILPA: COLECTA DEL JARDÍN ETNOBIOLÓGICO DE QUINTANA ROO

Carmen Zavaleta-Córdova^{1*}, Edgar Enrique Sosa-Rubio¹, Fernando Arellano-Martín¹, Romeo Alejandro-Sánchez², Gilberto Esquivel-Esquivel¹

¹INIFAP. ²Universidad de Quintana Roo

*Autor para correspondencia: zavaleta.maria@inifap.gob.mx

Palabras clave. Milpa, recursos etnobiológicos, conservación.

Introducción

La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) ha impulsado el rescate de conocimientos y recursos etnobiológicos de las familias mexicanas. Entre estos recursos destaca el maíz nativo. De las 220 razas de maíz descritas en América Latina, 59 son consideradas nativas de México. Sin embargo, la introducción de variedades comerciales e híbridas ha desplazado y contaminado genéticamente a las razas nativas, lo que ha generado limitaciones en su adaptación a las condiciones edáficas y climáticas, así como una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades. Los productores de maíz en Quintana Roo y Yucatán comentan el desinterés de las nuevas generaciones, por los conocimientos ancestrales asociados a las razas de maíz nativo. Por otro lado, un factor importante que ha motivado a los milperos a establecer maíces con características comerciales es el mayor rendimiento que estos ofrecen, lo que ha llevado a una disminución en el cultivo de razas nativas. Sin embargo, los productores mayas reconocen las cualidades de los maíces nativos y, aunque en menor escala, continúan sembrando estas variedades para consumo personal, valorando sus atributos tradicionales.

Objetivo

Establecer un acervo diversificado de mazorcas de maíz nativo en el Jardín Etnobiológico de Quintana Roo, mediante la colecta, conservación y documentación de variedades locales.

Materiales y Métodos

Durante el año 2023 se realizó una colecta de maíz nativo de maíz en 12 localidades del estado de Quintana Roo (figura 1): La Ceiba, La Buena Fe y San Fernando del municipio de Bacalar; Chan Santa Cruz, Mixtequilla, Kopchen, Tihosuco, Tepich, X-Hazil Sur y San José, del municipio de Felipe Carrillo Puerto; José López Mateos y Los Gavilanes, del municipio de José María Morelos. Se obtuvieron 6 mazorcas por productor. Se registraron los datos pasaporte de las muestras colectadas. Los sitios de muestreo fueron seleccionados a partir de bibliografía, considerando las localidades donde se ha confirmado la presencia de maíz nativo. Las muestras se secaron a la sombra a temperatura ambiente, se identificaron a nivel de raza. Para su conservación se les aplicó resina y después se almacenaron en frascos de cristal etiquetados con la raza correspondiente. También se realizó una base de datos con los datos pasaporte. Para el geoposicionamiento de las zonas de colecta, se empleó inicialmente un receptor GPS Garmin, modelo eTrex 10, el cual presenta una precisión aproximada de ± 5 metros. Posteriormente, las coordenadas geográficas obtenidas fueron procesadas mediante el software Garmin BaseCamp, lo que permitió su correcta captura y organización. Con base en esta información, se procedió a la elaboración de un mapa temático (Foto 1), utilizando el software QGIS versión 3.40. Para la construcción cartográfica se utilizó como base una capa vectorial correspondiente a la división político-territorial del país, proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020). Asimismo, se aplicó la técnica de sombreado con el objetivo de resaltar los municipios incluidos en el estudio, complementando la representación con elementos esquemáticos en formato SVG para señalar las zonas específicas de colecta. Para el análisis de los datos se empleó estadística descriptiva, con el paquete estadístico Infostad, 2010.

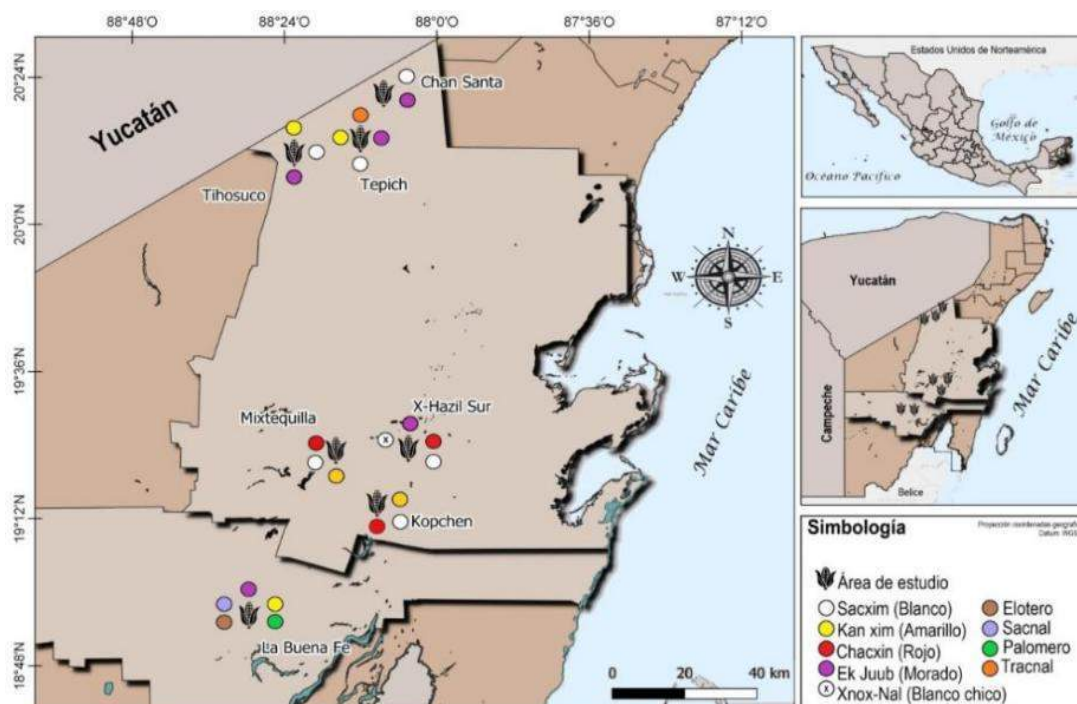


Figura 1. Presencia geoespacial de maíz nativo.

Resultados y Discusión

En esta colecta se obtuvieron 40 muestras de mazorca, las cuales se identificaron como las siguientes razas. *Xnuuk Nal* o Tuxpeño, *Nal t'eel*, y *T'siit bacal*. En la localidad de Xoy, se realizó una colecta con un grupo denominado Guardianes de las Semillas, quienes compartieron, la variedad *Nal Xoy*, la cual fue obtenida a partir de la selección y donde un productor de la misma localidad de Xoy con el apoyo de algunas instituciones obtuvieron la variedad. En la localidad de San Fernando, se colectaron cinco mazorcas de la raza cubano blanco, el productor comenta que la adquirió en el centro del país, le atribuye una gran capacidad de soporte a la plaga de gorgojos, tiene altos rendimientos y no sufre daños al almacenar hasta por dos años.

Los productores continúan con el uso del sistema de siembra rosa-tumba-quema, regularmente en superficies de una a dos hectáreas. Usualmente destinan alrededor de tres a cinco años para la siembra de maíz nativo (*Zea mays*) junto a calabaza local chihua (*Cucurbita argyrosperma Huber*) e ib (*Phaseolus lunatus L.*), una variedad parecida al frijol (*Phaseolus vulgaris*). El 100% de los productores indicó la interacción de estos cultivos, mientras que, para producir otros cultivos menores como chiles o yuca (*Manihot esculenta Crantz*), destinan superficies más pequeñas (Altieri y Nicholls, 2020; Gliessman, 2018). Respecto a la época de siembra de maíz, hacen uso del conocimiento empírico, el cual les permite determinar la fecha de siembra, empleando bioindicadores como la canícula, las fases de la luna, xook k'ín o cabañuelas. Sin embargo, los productores han referido que las fechas de siembra han variado debido a que los patrones de lluvia son cambiantes en los últimos años (cuadro 1). En cuanto a las densidades de siembra, éstas son variables: el 70% de los productores siembra a 1×1 m, con una densidad de 10,000 plantas por ha, mientras que el 30% establece a 0.80 × 1 m, con una densidad de 8,000 plantas por ha (Toledo et al., 2021). Los tipos de suelo en los cuales establecen sus milpas mayas son: Kankab y Box-Lu'um (vertisoles).

Respecto al manejo, una vez sembrada la milpa, los productores realizan limpieza manual de forma permanente hasta la cosecha. El 46% de los entrevistados fertilizan con urea (46-00-00) o fosfato diamónico (18-46-00), los cuales obtienen a través de programas de gobierno; sin embargo, cuando no se les proporciona el fertilizante, no lo realizan, lo cual significa que no invierten en este rubro. Por otro lado, el 16% utiliza supermagro (biofertilizante líquido basado en la descomposición de diversas materias

orgánicas y la adición de minerales esenciales) y el 38% no fertiliza, incluso contando con fertilizante (Martínez-Ballesté et al., 2022). Los productores indican producción variable dependiendo de la raza, en *Nal t'eel*, reportan entre 600, 800 y hasta 1,200 Tn cuando hacen siembras estratégicas, para las razas de ciclo intermedio y largo han cosechado entre 1, 800 y 2,100 ton. Los productores insisten en que la producción es poca en relación a los híbridos, pero los siguen sembrando por sus características organolépticas. Los productores refieren que las plantas de maíz nativo alcanzan una altura de entre 2.50 a 3.0 m. La fecha de cosecha se realiza de acuerdo con la raza de maíz nativo establecido. En el caso de las razas de ciclo corto, tienen un periodo de producción de 60 días promedio, mientras que las razas intermedias presentan 65 días y las tardías hasta 90 días promedio (Van der Wal et al., 2020).

Cuadro 1. Fechas de siembra, floración, madurez y cosecha de maíz nativo de productores en Quintana Roo.

Raza de maíz nativo	Época de siembra	Época de floración	Época de madurez	Época de cosecha
<i>Nal t'eel</i>	Mayo-junio	Agosto	Septiembre	Octubre-noviembre
	Mayo	Junio	Julio	Noviembre
<i>Nal t'eel, T'siit bacal</i>	Junio	Septiembre	Octubre	Noviembre
<i>Xnuuk Nal o</i>	Junio	Septiembre	Octubre	Diciembre-enero
<i>Tuxpeño</i>	Julio	Octubre	Octubre	Diciembre
<i>Xmejen nal-</i>	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre-noviembre
<i>Xnuuk Nal -T'siit</i>	Junio	Agosto	Septiembre	Noviembre
<i>bacal</i>	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre
	Junio	Agosto	Noviembre	Enero
	Julio	Septiembre	Octubre	Noviembre

La conservación de las mazorcas se realiza en las trojes, elaboradas por los propios productores, diseñadas de madera local. La forma de colocar las mazorcas es apilándolas ordenadamente una a una hasta formar un bloque, continuando así tantos bloques como sean necesarios. Hay productores que las conservan en tambos o bolsas de plástico grueso. Solo un productor mencionó conservarlo en un contenedor de acero inoxidable. La conservación regularmente se realiza por un ciclo anual; no obstante, un productor compartió semilla de maíz nativo de dos años de almacenamiento sin daños por gorgojos (*Sitophilus seamais*). Las principales plagas referidas en esta etapa son los ratones y, en mayor medida, los gorgojos. La forma de controlarlos es colocando cal por cada bloque de mazorcas en el momento de almacenar en la troje. El daño que la plaga llega a ocasionar es considerable; sin embargo, el control puede ser reducido utilizando cal. Por otro lado, el 15% utiliza fosforo de aluminio en tabletas, las cuales son colocadas debajo de la troje antes de iniciar el almacenamiento (Pérez-García et al., 2021), otro problema que presentan en el manejo es la pérdida de producción por tejones (*Nasua narica*); ocasionalmente llegan a perder toda su siembra.

Conclusiones

La colecta y conservación de maíces nativos en el Jardín Etnobiológico de Quintana Roo representa un avance significativo en la preservación de la agrobiodiversidad y el rescate de conocimientos tradicionales. Es fundamental promover su valor cultural y educativo para asegurar su continuidad entre las nuevas generaciones.

Agradecimientos

A los productores de las localidades que colaboraron con mazorcas de maíz nativo, que hoy forman parte de la colecta de maíz nativo del Jardín Etnobiológico de Quintana Roo.

Fuente financiadora: SECIHTI

Referencias bibliográficas.

Altieri, M. A., y Nicholls, C. I. (2020). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Gliessman, S. R. (2018). Agroecology: The ecology of sustainable food systems (3rd ed.). CRC Press.

Martínez-Ballesté, A., Martorell, C., & Caballero, J. (2022). Cultural erosion and biodiversity: Maize landraces in the milpa system. *Economic Botany*, 76(1), 23-37. <https://doi.org/10.1007/s12231-022-09547-6>.

Pérez-García, O., del Val, E., & Castillo, A. (2021). Postharvest losses in traditional maize storage systems: A case study in Yucatán, México. *Journal of Stored Products Research*, 93, 101845. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101845>.

Van der Wal, H., Haller, T., & Bello, E. (2020). Milpa systems in the Americas: Resilience and adaptation to climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 300, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106936>



CALIDAD DEL FRUTO DE GENOTIPOS NATIVOS DE CHILE (*Capsicum spp.*) ADAPTADOS EN INVERNADERO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo^{1*}, Ismaela Guzmán-Olea², Juan Elías Sabino-Lopez², Mariana Espinosa-Rodríguez²

¹INIFAP-CE Iguala. ²Universidad Autónoma de Iguala, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales

*Autor para correspondencia: antunez.oscar@inifap.gob.mx

Palabras clave. Calidad, chiles nativos, frutos.

Introducción

El cultivo de chile (*Capsicum spp.*) es originario de América, donde se encuentra la mayor diversidad morfológica de esta especie (Rodríguez, 2018), entre las que destacan *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. annuum*, esta última ha sido domesticada y propagada en México (Aguirre y Muñoz, 2015). Entre los principales genotipos que se cultivan en México se encuentran el jalapeño, serrano, habanero, ancho, mulato, pasilla y piquín (Salinas *et al.*, 2010).

La producción de chile en México está ligada con el desarrollo de la agricultura protegida, mediante el uso de estructuras y cubiertas (casas sombra, invernaderos, macrotúneles) para protección de los cultivos. En este contexto, en el 2020 se reportó una producción de 3 324 260 t, destacando el incremento del rendimiento por hectárea que pasó de 13.86 t ha⁻¹ en 2005 a 21.65 t ha⁻¹ en 2019 (SADER, 2021). Mientras que, en el 2019 se reportó un rendimiento promedio de chile en agricultura protegida de 12.3 kg m⁻² y 1.8 kg m⁻² en campo abierto (SIAP, 2020) (Escamirosa-Tinoco *et al.*, 2021).

Es importante señalar que la producción de chile es afectada por el genotipo, el clima, la fertilidad del suelo, manejo y control de plagas y enfermedades, procesos de cosecha y secado, mientras que, la fertilización genera efectos secundarios que pueden alterar la resistencia o tolerancia de las plantas a factores de estrés biótico y abiótico (Hernández *et al.*, 2021).

El uso de variedades nativas de chile es por su adaptación a diversos climas y tipos de suelo, lo que ha contribuido a su exitosa y amplia distribución geográfica (Aguirre y Muñoz, 2015). Una estrategia para mejorar el rendimiento y calidad de la producción se usan algunos paquetes tecnológicos que incluyen en manejo de la solución nutritiva, cultivos en maceta y control de plagas que promueven el desarrollo de la planta y amarre de frutos, lo que incrementa el potencial productivo del cultivo y su rentabilidad (Bahena-Delgado *et al.*, 2014). De esta manera, los chiles criollos pueden convertirse en un cultivo de mayor importancia nacional e internacional, con la posibilidad de que los productores conserven y reproduzcan sus materiales nativos con técnicas de almacenamiento de semillas, ya que algunos no seleccionan los frutos sobresalientes en tamaño y calidad para la obtención de semilla (Carrillo *et al.*, 2009; Andueza-Noh *et al.*, 2017). Lo anterior sugiere la necesidad de estudios enfocados en la productividad. Lo anterior sugiere la necesidad de estudios enfocados en la productividad que conlleven a conocer su importancia económica y potencial productivo (Meneses *et al.*, 2018).

En la región Montaña del estado de Guerrero, México, existe gran diversidad genética y fenotípica de chiles de vital importancia económica y alimenticia debido a su demanda y consumo local, ya que son indispensables para la elaboración de platillos típicos regionales, donde esta hortaliza es considerada como símbolo de identidad cultural al igual que en todo México, lo que ha influido en su importancia social y económica desde la domesticación del cultivo (Herrera *et al.*, 2018). Al respecto, SIAP (2019) reportó para el estado de Guerrero una superficie sembrada de 258 ha y 28 ha cosechadas, con una producción de 125 t y rendimientos de 4.373 t ha⁻¹. Según registros, algunos genotipos que se cultivan en la Montaña del estado de Guerrero son: chile serrano, gallo gallina grande y chile gordo (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010).

Objetivo

El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del fruto de genotipos de chile nativo provenientes Teticic, Olinalá, región Montaña de Guerrero, cultivados en condiciones de invernadero. La hipótesis planteada fue que al menos un genotipo de chile nativo sobresale en su calidad de fruto.

Materiales y Métodos

Recolección de germoplasma y localización del experimento

Mediante recorridos de campo se recolectaron frutos de siete genotipos de chile nativo en la comunidad de Teticic, Olinalá, Guerrero, México (coordenadas GPS en decimales: -98.848889 LN y 17.866389 LO, altura de 1260 msnm). Los frutos se colocaron en bolsas de papel con perforaciones y se trasladaron al laboratorio de usos múltiples de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, unidad Tuxpan, de la Universidad Autónoma de Guerrero (18° 35' 27" LN y 99° 48' 02" LO, a 775 msnm).

Establecimiento del experimento

Las semillas de cada genotipo se sembraron en charolas de polipropileno de 200 cavidades llenadas con turba. Se colocó una semilla por cavidad a una profundidad aproximada de 0.5 cm y se cubrieron con el mismo sustrato. El riego se realizó manualmente dos veces al día con agua de la llave. El trasplante se realizó 48 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas presentaron aproximadamente 15 cm de altura y cuatro a cinco hojas verdaderas. Se colocó una planta por maceta que consistió en una bolsa de polietileno negro de 12 L de capacidad llenadas con tierra de monte (pH: 7.11, CE: 4.78 dS m⁻¹, MO: 28 %, densidad aparente: 0.35 g cm⁻³, N: 188, P:22.3, K: 136, Ca: 3978, Mg: 715, S: 82.9, Fe: 3.79, Zn: 3.13, Mn: 17.2, Cu: 0.11 y B: 0.21 mg kg⁻¹). La densidad de plantación fue 4 plantas por m², distribuidas dentro de un invernadero tipo cenital cubierto con polietileno blanco con 70% de transmitancia, cuyo promedio de temperatura fue de 24.5 °C y humedad relativa de 57.6% durante el crecimiento del cultivo.

Tratamientos y diseño experimental

Los materiales colectados fueron los tratamientos en estudio (Cascabel, G1; Gallo gallina mediano, G2; Larguillo grande, G3; Serrano, G4; Mochiteco, G5; Gallo gallina grande, G6; Larguillo chico, G7); los cuales se distribuyeron en el invernadero en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones. La unidad experimental la constituyó una maceta con una planta.

Manejo del cultivo

En manejo agronómico del cultivo consistió en riegos diarios por la mañana y tarde con un promedio de 4 L por día con solución nutritiva de Steiner (1984), cuya concentración se modificó con base en los requerimientos hídricos y fenología del cultivo, iniciando con una CE de 0.5 dS m⁻¹ en etapa vegetativa a 2.0 dS m⁻¹ en fructificación. La prevención y control de plagas se realizó con la colocación de trampas cromáticas y la aplicación de productos ecológicos (Escaminosa-Tinoco *et al.*, 2021).

La cosecha inició a los 133 ddt cuando los frutos se tornaron a color rojo, los frutos se recolectaron y almacenaron en bolsas de papel con perforaciones y se trasladaron al laboratorio de uso múltiples de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, unidad Tuxpan de la Universidad Autónoma de Guerrero, para su secado.

Variables evaluadas

En 30 frutos frescos seleccionados aleatoriamente en cada genotipo se midieron el diámetro polar (cm) de la base del pedúnculo a la parte apical del fruto; el diámetro ecuatorial (cm) de la parte media del fruto, con un vernier Stainless Hardened®; peso individual del fruto (g) con una báscula ISOLAB® Laborgeräte GmbH modelo LS-EJ-2200AS. La firmeza (kg cm⁻²) se determinó en la parte media ecuatorial del fruto con un penetrómetro marca Truper® modelo FDV-30 (30 lb x 0.01 lb) con puntal cónico.

La información obtenida de cada variable se ordenó en una hoja de cálculo de Excel y se sometió a un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias (Tukey al 5 %) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.1 (SAS, Institute, 2002).

Resultados y Discusión

Los genotipos evaluados presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la calidad de fruto en cuanto a tamaño y firmeza (Cuadro 1).

Los frutos de Larguillo grande y chico, Serrano y Gallo gallina grande produjeron frutos de mayor longitud que el resto de los genotipos, pero iguales entre sí, con valores que oscilaron de 7.73 a 8.15 cm. En tanto, Gallo gallina grande, Gallo gallina mediano y larguillo grande fueron iguales en ancho del fruto con valores de 8.10 a 14.19 cm, pero Gallo gallina grande produjo frutos más anchos que Larguillo chico, Cascabel, Serrano y Mochiteco.

El tamaño de los frutos (largo y ancho) influyó en el peso individual de los mismos, de manera que gallo gallina grande y mediano produjeron frutos con mayor peso individual, siendo estos estadísticamente iguales entre sí, con valores de 17.28 a 20.92 g, respectivamente. Esta diversidad en dimensiones y peso

de frutos entre genotipos se debe a las características genéticas propias de las poblaciones de Chile, como lo observaron Galeote-Cid *et al.* (2022) en genotipos de Chile huacle (*Capsicum annuum* L.). Así mismo, San Juan *et al.* (2018) encontraron diferencias en el ancho, largo y peso del fruto en dos chiles nativos de Oaxaca. Mientras que, los resultados detectados en este trabajo superan los valores reportados por San Juan-Martínez *et al.* (2021) en Chile de agua, huacle y pasilla, cuyos valores oscilan de 4.57 a 5.13 cm de longitud y de 3.8 a 4.33 cm de ancho, mientras que el peso individual de fruto seco varió de 4.48 a 5.56 g en Chile huacle (San Juan *et al.*, 2019). Por su parte, Vázquez *et al.* (2010) detectaron frutos con peso individual de 6.9 a 12.2 g en 19 variedades de Chile serrano que, al compararlos con los valores de Serrano 9.70 g y Larguillo chico 7.5 g con características similares, dicha variabilidad se explica por efectos genéticos. En tanto, Tapia-Vargas *et al.* (2016) reportaron dimensiones similares (polar 2.92 cm y ecuatorial 2.44 cm) y peso de fruto 29.2 g, mediante la aplicación de compuesto hormonal, resultados similares obtenidos en el presente trabajo.

La firmeza del fruto fue similar en la mayoría de los genotipos, a excepción de Gallo gallina grande, Larguillo grande y Mochiteco, estadísticamente iguales, pero superiores a la firmeza detectada en Larguillo chico, valores inferiores a los reportados por Vázquez *et al.* (2010) en variedades de Chile serrano con 98 a 159 N cm⁻² influenciado por el cultivar. La firmeza es una variable de calidad importante debido a que la vida de anaquel del fruto depende de ella en gran medida (López-Salazar *et al.* 2019).

Cuadro 1. Calidad de fruto de chiles nativos de la región Montaña de Guerrero cultivados en invernadero.

Genotipos	Largo	Ancho	Peso individual	Firmeza
	cm		(g)	(kgf cm ⁻²)
Cascabel	2.4 d	5.26 bc	3.17 c	1.72 a
Gallo gallina mediano	6.71 b	8.10 ab	17.28 a	1.63 ab
Larguillo grande	8.15 a	10.68 ab	6.64 bc	2.03 a
Serrano	7.73 a	1.46 c	9.70 b	1.69 ab
Mochiteco	3.97 c	1.06 c	3.20 c	2.014 a
Gallo gallina grande	7.62 ab	14.19 a	20.92 a	2.12 a
Larguillo chico	8.05 a	6.93 b	7.57 b	1.15 b
DMS	0.98	6.73	4.29	0.5

Medias con diferente letra dentro de la misma columna no son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DMS: diferencia mínimamente significativa.

Conclusiones

Con base en el objetivo e hipótesis planteada en la presente investigación y de acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

Los chiles nativos de Teticic, Olinalá, Guerrero, evaluados en invernadero presentaron un comportamiento diferente debido a su variabilidad genética, lo que afectó la calidad de los frutos. El genotipo Gallo gallina (grande y mediano) y Larguillo (chico y grande) destacó por presentar frutos de mayor tamaño y peso fresco. La variación en calidad del fruto, se puede relacionar con las características de las plantas de Chile, ya que estas presentaron diferencias en producción y dimensiones de frutos.

Agradecimientos

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, unidad Tuxpan de la Universidad Autónoma de Guerrero

Fuente financiadora

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT).

Referencias bibliográficas

- Aguilar R., V.H., P. Corona T., P. López L., L. Latournerie M., M. Ramírez M., H. Villalón M. y J.A. Aguilar C. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Aguirre-Hernández E. y Muñoz-Ocotero V. 2015. El chile como alimento. Ciencia, 8p.
- Bahena-Delgado, G., Bustos-Rangel, A.J., Broa-Rojas, E. y Jaime-Hernández, M. A. 2012. Comportamiento agronómico del chile criollo (*Capsicum annuum* L.) en fertirrigación con acolchado plástico y cubierta flotante en Xalostoc, Morelos. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 11 (1): 53-67.
- Hernández H., B.N., M.A. Tornero C., E. Sandoval C., M.D. Rodríguez M., O.R. Taboada G. y B.V. Peña O. 2021. Crecimiento, rendimiento y calidad de chile poblano cultivado en hidroponía bajo invernadero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 12(6): 1043-1056.
- Salinas H., R. M., E.A. Liévano L., F. Ulín M., J.N. mercado., D. Petit, J. 2010. Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*Capsicum annuum* L.) variedad *glabriusculum* (dunal) heiser & pickersgill. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 11(1): 92-100.

CARDOSANTO (*Argemone mexicana* L.) PARA EL CONTROL DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE SOYA

Betsy Yareli Martínez-Salazar², José Luis Solís-Bonilla^{1*}, Biaani Beeu Matínez-Valencia¹,
Guillermo López-Guillen¹, Manuel Grajales-Solís¹, Oscar Martín Antúnez-Ocampo³, Luis Antonio
Flores-Hernández³

¹INIFAP, CE Rosario Izapa, ²Tecnológico Nacional de México, Tapachula, ³INIFAP, CE Iguala

*Autor para correspondencia: solis.joseluis@inifap.gob.mx

Palabras clave. Bioeconomía, compuestos fenólicos, sostenibilidad.

Introducción

Las malezas son una amenaza para la producción agrícola, pueden llegar a reducir el rendimiento de los cultivos en más del 30% (Oerke, 2006), además pueden comprometer la inocuidad o calidad de las cosechas, así como la operación de los procesos. Uno de los componentes más importantes en los cultivos graníferos es el control de malezas (Montes *et al.*, 2013). El control químico de las malezas en el cultivo de soya (*Glycine max* L.) se basa en un grupo de herbicidas sintéticos de preemergencia y postemergencia para controlar especies de hoja ancha y angosta de importancia agronómica (Rosales *et al.*, 2011). Sin embargo, se ha comprobado que el uso excesivo de herbicidas sintéticos tiene efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana. Para ello, una alternativa al uso de estos compuestos sintéticos, son ingredientes activos presentes en plantas o metabolitos secundarios, que son fitotóxicos, pero tienen poca o ninguna toxicidad para los mamíferos y puede usarse en la agricultura orgánica o regenerativa (Soltys *et al.*, 2013; Hasan *et al.*, 2021). Por lo anterior, en el presente trabajo se planeó como objetivo obtener un extracto fenólico a partir de hojas de Cardosanto (*Argemone mexicana* L.), mediante la evaluación de variables de proceso, cantidad de biomasa, solvente y tiempo, que influyen en la extracción de compuestos fenólicos, así como, la evaluación sobre la germinación y el crecimiento de malezas.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en el INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa en las instalaciones del Laboratorio de Bioenergía y en el área de viveros. El material biológico correspondió a hojas de *A. mexicana* provenientes de la localidad Emiliano Zapata (Las Varillas) a 7.3 kilómetros, en dirección Noreste, de la localidad de Mazatán, Chiapas. Para el proceso de evaluación de la capacidad de extracción de los distintos extractos obtenidos se realizaron tres experimentos con diferentes condiciones de proceso; tiempo y concentración de biomasa. Se utilizó un diseño factorial 3², un total de nueve tratamientos con tres repeticiones. En este proceso se emplearon las variables tiempo (24, 48 y 72 horas) y concentración (20, 40 y 60 g/L) con cada tipo de solvente Agua, Metanol, Etanol. Las muestras se colocaron en un baño ultrasónico durante 15 min a temperatura ambiente. Posteriormente, los extractos se dejaron en reposo por el tiempo de residencia de 24, 48 y 72 horas. El diseño experimental fue un completamente al azar con arreglo factorial. Las variables respuesta fueron compuestos totales, fenoles totales y flavonoides. Se aplicó un ANOVA, comparación de medias ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team 2018). De los mejores tratamientos con mayor concentración de compuestos fenólicos con cada solvente se evaluó en campo su acción bioherbicida con dos concentraciones 100 y 50%, para ellos se establecieron en vivero tres malezas representativas del cultivo de soya: Zacate luzca (*Digitaria horizontales* Willd), Bledo blanco (*Amaranthus hybridus* L.) y Bledo colorado (*Amarantus palmeri* S. Wats). En vivero, se empleó un diseño bloques al azar, con siete tratamientos y cuatro repeticiones con parcela útil de tres bolsas por repetición, en total 12 repeticiones por tratamiento. Las variables respuesta fueron porcentaje de germinación y altura de planta. De la misma forma se aplicó un ANOVA, comparación de medias ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team 2018).

Resultados y Discusión

Se caracterizó la materia prima utilizada. El cuadro 1 muestra los resultados del análisis de las características químicas de hojas de cardosanto. El contenido total de fenoles para los extractos de la muestra estudiada fue de 3.70 g/L

Cuadro 1. Características químicas de la biomasa vegetal proveniente cardosanto.

Compuesto	Contenido
Fenoles	3.702 g/L $\pm$ 0.005
Flavonoides	0.372 g/L $\pm$ 0.004
Saponinas	1.041 g/L $\pm$ 0.002

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la media de rendimientos de extracción de los tratamientos. Las principales diferencias estadísticas con agua fueron en el tratamiento tres (concentración de 60 g/L con tiempo de 24 horas) compuestos extraídos 12.211 g/L, fenoles 0.926 g/L y flavonoides 1.814, con respecto al resto de los tratamientos de agua.

Cuadro 2. Extractos acuosos a partir de hojas de Argemone mexicana.

Tratamiento	Concentración (g/L)	Tiempo (Horas)	Compuestos totales (g/L)	Fenoles totales (g/L)	Flavonoides (g/L)
1	20	24	5.216 $\pm$ 0.159f*	0.275 $\pm$ 0.017g	0.610 $\pm$ 0.032e
2	40	24	10.362 $\pm$ 0.503d	0.616 $\pm$ 0.031cd	1.025 $\pm$ 0.055d
3	60	24	12.211 $\pm$ 0.339c	0.926 $\pm$ 0.041a*	1.814 $\pm$ 0.187b
4	20	48	6.848 $\pm$ 0.787ef	0.348 $\pm$ 0.055fg	0.841 $\pm$ 0.138de
5	40	48	9.179 $\pm$ 0.588d	0.571 $\pm$ 0.043de	1.278 $\pm$ 0.115c
6	60	48	13.434 $\pm$ 0.507bc	0.738 $\pm$ 0.034bc	1.756 $\pm$ 0.231b
7	20	72	7.241 $\pm$ 0.651e	0.461 $\pm$ 0.053ef	0.681 $\pm$ 0.111e
8	40	72	14.104 $\pm$ 0.658b	0.640 $\pm$ 0.047cd	1.408 $\pm$ 0.106c
9	60	72	19.515 $\pm$ 0.844a	0.836 $\pm$ 0.049ab	4.484 $\pm$ 0.192a

Medias con letras distintas por columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Con etanol fue entre el tratamiento seis (concentración de 60 g/L con tiempo de 48 horas) compuestos extraídos 6.096 g/L, fenoles 0.390 g/L y flavonoides 4.320 g/L, con respecto al resto de los tratamientos de etanol.

Cuadro 3. Extractos etanolicos a partir de hojas de Argemone mexicana.

Tratamiento	Concentración g/L	Tiempo (Horas)	Compuestos totales (g/L)	Fenoles totales (g/L)	Flavonoides (g/L)
1	20	24	3.252 $\pm$ 0.950cd	0.109 $\pm$ 0.003e	1.016 $\pm$ 0.041c
2	40	24	3.792 $\pm$ 0.772c	0.158 $\pm$ 0.018d	1.404 $\pm$ 0.046c
3	60	24	5.889 $\pm$ 1.998a	0.246 $\pm$ 0.005c	3.762 $\pm$ 0.113a
4	20	48	2.909 $\pm$ 0.436cd	0.154 $\pm$ 0.029d	1.199 $\pm$ 0.149c
5	40	48	4.300 $\pm$ 0.125bc	0.286 $\pm$ 0.019b	2.256 $\pm$ 0.378b
6	60	48	6.096 $\pm$ 0.308a	0.390 $\pm$ 0.004a*	4.320 $\pm$ 0.193a
7	20	72	1.985 $\pm$ 0.179d	0.109 $\pm$ 0.004e	1.381 $\pm$ 0.280c
8	40	72	3.009 $\pm$ 0.241cd	0.167 $\pm$ 0.025d	2.152 $\pm$ 0.558b
9	60	72	5.425 $\pm$ 0.781ab	0.407 $\pm$ 0.028a	4.147 $\pm$ 0.660a

Medias con letras distintas por columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Con metanol fue entre el tratamiento nueve (concentración de 60 g/L con tiempo de 72 horas) compuestos extraídos 9.762 g/L, fenoles 0.641 g/L y flavonoides 2.697 g/L., con respecto al resto de los tratamientos de metanol.

Cuadro 4. Extractos metanolicos a partir de hojas de Argemone mexicana.

Tratamiento	Concentración g/L	Tiempo (Horas)	Compuestos totales (g/L)	Fenoles totales (g/L)	Flavonoides (g/L)
1	20	24	3.186±0.109d *	0.229±0.005e	1.688±0.130d
2	40	24	4.597±0.134bc	0.470±0.040c	3.380±0.026
3	60	24	5.523±0.459b	0.534±0.022bc	3.502±0.322a
4	20	48	3.317±0.353d	0.237±0.018e	1.835±0.166cd
5	40	48	3.632±0.319cd	0.356±0.013d	3.657±0.194a
6	60	48	5.301±0.502b	0.551±0.033b	2.554±0.224b
7	20	72	4.889±0.165b	0.262±0.036e	2.146±0.208c
8	40	72	4.711±0.177b	0.544±0.027bc	1.724±0.085d
9	60	72	9.762±0.963a	0.641±0.030a*	2.697±0.216b

Medias con letras distintas por columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$)

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la media de emergencia de los tratamientos para el caso de la evaluación del efecto en preemergencia sobre la germinación en zacate luzaca y bledo blanco, en bledo colorado no se encontraron diferencias significativas. Las principales diferencias estadísticas en preemergencia de zacate luzaca fue entre el tratamiento 5 (extracto etanolico con concentración de 50%), con respecto al resto de los tratamientos. En preemergencia de bledo blanco fue entre el tratamiento 6 (extracto metanolico con concentración del 100%), con respecto al resto de los tratamientos (cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto preemergente del extracto y concentración sobre la germinación de tres malezas zacate luzaca, bledo colorado y bledo blanco. Promedio de 12 repeticiones.

Tratamiento	Extracto	Concentración	Zacate luzaca	Bledo colorado	Bledo blanco
			Geminación (%)	Geminación (%)	Geminación (%)
1	Agua	Testigo	88.33 a	65.83	98.33 a
2	Acuoso	100	12.50 c	29.17	79.17 abc
3	Acuoso	50	25.00 bc	33.33	87.50 a
4	Etanolico	100	16.67 c	25.00	58.33 bc
5	Etanolico	50	8.33 c	33.33	83.33 ab
6	Metanolico	100	12.50 c	41.67	54.17 c
7	Metanolico	50	37.50 b	58.33	91.67 a
C.V.			30.32	22.60ns	21.62

†C.V.= Coeficiente de variación; ††Medias con letras distintas por columna, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). El grupo estadístico corresponde a datos previamente transformados con $\sqrt{x+1}$. ns=No significativa

Existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la media de altura de planta de los tratamientos para el caso de la evaluación del efecto bioherbicida sobre el crecimiento en zacate luzaca y bledo blanco, en bledo colorado no se encontraron diferencias significativas. Las principales diferencias estadísticas en zacate luzaca fue entre el tratamiento 5 (extracto etanolico con concentración de 50%), con respecto al resto de los tratamientos. En bledo blanco fue entre el tratamiento 4 y 6 (extracto etanolico y metanolico con concentración del 100%), con respecto al resto de los tratamientos (cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del extracto y concentración sobre la altura de planta de tres malezas zacate luzaca, bledo colorado y bledo blanco. Promedio de 12 repeticiones.

Tratamiento	Extracto	Concentración	Zacate luzaca	Bledo colorado	Bledo blanco
			Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
1	Agua	Testigo	14.07 a	1.17	1.33 c
2	Acuoso	100	3.08 bc	1.53	2.31 a
3	Acuoso	50	4.04 bc	1.38	2.48 a
-4	Etanolico	100	3.21 bc	0.68	1.58 bc
5	Etanolico	50	1.38 c	1.00	2.21 ab
6	Metanolico	100	3.00 bc	0.96	1.21 c
7	Metanolico	50	6.75 b	1.42	2.13 ab
C.V.			38.3	21.57ns	19.30

†C.V.= Coeficiente de variación; ††Medias con letras distintas por columna y factor, son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). El grupo estadístico corresponde a datos previamente transformados con $\sqrt{x+1}$. ns=No significativa.

Conclusión

La biomasa vegetal utilizada en estudio; cardosanto es rica en fenoles. El extracto obtenido de cardosanto puede inhibir en preemergencia la germinación de cierto tipo de maleza como el zacate luzaca y que puede retrasar su crecimiento como un efecto residual, ambos en comparación con el testigo. Para su posible uso en suelos agrícolas es recomendable realizar estudios sobre la respuesta de las plantas en fase de vivero y posteriormente en campo.

Referencias bibliográficas

- Hasan, M., Ahmad-Hamdani, M. S., Rosli, A. M., & Hamdan, H. (2021). Bioherbicides: An Eco-Friendly Tool for Sustainable Weed Management. *Plants*, 10(6), 1212. <https://doi.org/10.3390/plants10061212>
- Montes, N., Pecina, Q. V., Arcos, C. G., & Espinosa, R. M. (2013). RB-Norteño: Sorgo granífero para áreas de temporal de Tamaulipas y Guanajuato. Folleto Técnico No.55. 26 p
- Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31–43. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S0021859605005708>
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Rosales-Robles, E., La Cruz Ricardo, S., & Cerda-García, P. A. (2011). Control químico de maleza de hoja ancha en sorgo para grano. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802011000400008
- Soltys, D., Krasuska, U., Bogatek, R., & Gniazdow, A. (2013). Aleloquímicos como bioherbicidas: presente y perspectivas. En A. J. Precio & J. A. Kelton (Eds.), *Herbicidas: investigaciones actuales y estudios de casos en uso* (pp. 517–542). InTech.

PRODUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS DE CACAO

Julio César Díaz-Solís², Keven Velázquez-De León², José Luis Solís-Bonilla^{1*}, Biaani Beeu Martínez-Valencia¹, Leobardo Iracheta-Donjuan¹, Luis Antonio Flores-Hernández³,
Oscar Martín Antúnez-Ocampo³, Morfa Hilda Carrasco-Contreras²

¹INIFAP, CE Rosario Izapa, ²Tecnológico Nacional de México, Tapachula ³INIFAP, CE Iguala

*Autor para correspondencia: solis.joseluis@inifap.gob.mx

Palabras clave. Bioeconomía, biochar, sostenibilidad.

Introducción

El Biochar puede ser una posibilidad para contribuir a aminorar la pérdida de fertilidad y la degeneración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (García *et al.*, 2014; Trujillo *et al.*, 2019) y particularmente la disminución de la materia orgánica, el incremento de la erosión y la degradación física. El biochar es el producto obtenido de la descomposición térmica de materiales orgánicos con escaso o limitado suministro de oxígeno (Pirólisis), a temperaturas inferiores a los 700°C, siendo este usado para fines agrícolas como mejorador del suelo, lo cual lo diferencia del carbón (combustible) y del carbón activado (Escalante *et al.*, 2016). Dado que las agroindustrias del cacao y café generan gran cantidad de residuos durante la cosecha y poscosecha, cuya gestión inadecuada, podría contaminar el agua y el aire como fuente de propagación y dispersión de enfermedades de importancia sanitaria para el mismo cultivo, así como para la salud humana y animal; además, contribuye al cambio climático y afecta los ecosistemas. Por ello, una gestión adecuada de estos residuos contribuye el ahorro de materias primas, la conservación de los recursos naturales y el desarrollo sostenible (Leonardo, 2024). Por lo anterior, en el presente trabajo se planeó como objetivo obtener Biochar a partir de residuos de cáscara de cacao mediante un proceso de Pirólisis.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en el INIFAP, Campo Experimental Rosario Izapa en las instalaciones del Laboratorio de Bioenergía. El material biológico correspondió a residuos de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) de tres grupos genético forastero, criollo y trinitario provenientes de las parcelas experimentales ubicados en el mismo Campo Experimental y parcelas con productores cooperantes. Para cada temperatura y tiempo de obtención de biochar se realizaron tres réplicas con el fin de comparar los resultados. Se utilizó un diseño experimental Box-Behnken con cinco repeticiones en el punto central, dado un total de 51 tratamientos. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial. En este proceso se realizaron en total tres réplicas por temperatura en el que se usaron tres crisoles de porcelana cada una con 5 g de muestra y se introdujeron en una mufra marca Felisa modelo FE-340 a 105°C para que fuera incrementando a una velocidad de calentamiento de aproximadamente 8°C/min hasta la temperatura deseada 200°C, 300 °C o 400°C, luego esta temperatura se mantuvo constante por el tiempo de residencia de 60 min, 90 min o 120 min, se utilizó tres estados de biomasa; fresca, semiseca y seca. Las variables respuesta fueron el rendimiento de Biochar, pH, potencial REDOX y Conductividad Eléctrica (CE). Se realizó el ANOVA, comparación de medias ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico R versión 3.5.1 (R Core Team 2018).

Resultados y Discusión

Se caracterizó la materia prima utilizada y el biochar resultante. El cuadro 1 muestra los resultados de las características fisicoquímicas de la biomasa utilizada, el cacao criollo y trinitario presentan una mayor dureza con 27.53 ± 0.08 Kg y 24.31 ± 2.54 Kg, respectivamente, presentando una diferencia significativa con el cacao forastero (16.76 ± 2.80 Kg). Esta dureza puede estar vinculada con el contenido de lignina, ya que representa un aporte significativo en las propiedades mecánicas de la estructura vegetal, siendo la cáscara del cacao un material leñoso rígido. En cuestión de celulosa, el cacao forastero ($39.02 \pm 1.61\%$) presenta diferencia significativa en comparación con el criollo ($35.17 \pm 0.62\%$) y trinitario ($33.89 \pm 0.74\%$), la hemicelulosa fue el componente lignocelulósico que en menor cantidad se presentó y de acuerdo al análisis estadístico no se encuentran diferencias significativas. Los valores de lignina son mayores en el

cacao criollo ($35.41 \pm 0.25\%$), seguido del trinitario ($32.23 \pm 0.32\%$) y en menor porcentaje se encontró en el forastero (28.65 ± 0.13), siendo una posible razón por la que esta última variedad presento menor dureza.

Cuadro 1. Relación de las características estructurales de la biomasa vegetal proveniente de la cáscara de cacao.

Grupo genético	Dureza (Kgf)	pH	Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
Criollo	27.53 ± 0.08 a	5.42 ± 0.09 b	35.41 ± 0.25 a	35.17 ± 0.62 b	12.01 ± 2.62 a
Forastero	16.76 ± 2.80 b	5.61 ± 0.03 a	28.65 ± 0.13 c	39.02 ± 1.61 a	8.3 ± 1.5 a
Trinitario	24.31 ± 2.54 a	5.76 ± 0.04 a	32.23 ± 0.32 b	33.89 ± 0.74 b	12.02 ± 1.12 a
Media	22.87	5.60	32.10	36.03	10.78
CV	9.41	1.11	0.78	3.03	17.28

CV= Coeficiente de variación, Medias con diferente letra en la misma columna son diferentes estadísticamente ($p=0.05$, Tuckey).

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la media de rendimientos de los tratamientos. En el cuadro 2, se presentan los datos sobre la producción de biochar; el estado de biomasa, el tiempo y temperatura influyeron en el rendimiento y propiedades de biochar de cáscara de cacao. En cuanto a rendimiento, el tratamiento 5 destacó por su alta producción de biochar en biomasa seca logrando un $57.83 \pm 2.490\%$ (200°C a 90 min). Sin embargo, el tratamiento 4 también presentó buenos resultados, aunque ligeramente inferiores al tratamiento 5, con un rendimiento del $52.4 \pm 0.941\%$ (200°C a 60 min). En cambio, los tratamientos 6 y 12 obtuvieron los rendimientos más bajos, $5.861 \pm 0.243\%$ (400°C a 120 min) y $3.506 \pm 0.579\%$ (400°C a 90 min), respectivamente. Los resultados del estado de biomasa indican que la biomasa seca en comparación con el estado húmedo y semiseca es el mejor tratamiento para la producción de biochar (Cuadro 2).

En cuanto a pH y conductividad eléctrica (CE), el tratamiento 6 mostró valores muy alcalinos y con valores altos de CE (10.44 ± 0.1 y 8.749 ± 1.173 dS/m, respectivamente a 400°C) mientras que el tratamiento 9 tuvo un valor ligeramente ácido (6.60 ± 0.27 y 0.74 ± 0.074 dS/m, respectivamente a 200°C); este fenómeno se relaciona con la temperatura, a medida que la temperatura estos valores aumentan, el biochar presenta valores más alcalinos de pH debido a que los compuestos orgánicos se van degradando y dan paso a los compuestos inorgánicos; este fenómeno también se relaciona con la conductividad eléctrica (CE), las referencias científicas indica que el biochar utilizado como enmiendas del suelo son alcalinos. Sin embargo, se han reportado valores de pH de biocarbón entre 3.1 y 12, y se han registrado valores de CE 0.04 dS/m hasta 54.2 dS/m.

En el caso del potencial redox (ORP), valores positivos indican un medio oxidante y valores negativos indican medios reductores; es decir, la capacidad de ganar o perder electrones está estrechamente relacionado con el pH del suelo. El redox se puede considerar como un paralelo al pH, que mide la disponibilidad de protones, mientras que redox mide la disponibilidad de electrones. Los resultados obtenidos indican que a medida que el pH aumenta, el potencial redox tiende a volverse más reductor (por ejemplo, el tratamiento 6 y 13). Los resultados de redox se pueden clasificar en condiciones oxidantes, débilmente reductoras, moderadamente reductoras y fuertemente reductoras (> 400 , 200 a 400 , -100 a 200 y < -100 mV, respectivamente); Los potenciales redox inferiores a -100 mV indican entornos anaeróbicos, mientras que los valores superiores a 100 mV indican entornos aeróbicos.

Cuadro 2. Efecto del tiempo y temperatura sobre la cantidad de biomasa y rendimiento de la obtención del Biochar de cacao.

Trat.	Temp	Tiempo	EDB	Rendimiento (%)	pH	ORP (mV)	CE (dS/m)
1	400	60	2	20.601 ± 1.810 d	9.58 ± 0.4 bc	-165.5 ± 2.52 abcd	4.534 ± 0.1465 c
2	300	120	1	7.755 ± 0.373 e	9.57 ± 0.19 bc	-143.46 ± 19.45 d	1.264 ± 0.1494 ef
3	300	90	2	24.675 ± 1.979 d	9.99 ± 0.12 ab	-180.56 ± 12.85 ab	1.852 ± 0.0934 def
4	200	60	2	52.408 ± 0.941 ab	7.72 ± 0.27 d	-37.53 ± 11.59 f	1.707 ± 0.2462 def
5	200	90	3	57.839 ± 2.490 a	7.54 ± 0.06 d	-35.83 ± 0.55 f	2.241 ± 0.2495 de
6	400	120	2	5.861 ± 0.243 e	10.44 ± 0.1 a	-192.43 ± 12.6 a	8.749 ± 1.173 a
7	400	90	3	20.499 ± 1.572 d	10.01 ± 0.05 ab	-177.06 ± 4.25 abcd	6.027 ± 0.5163 b
8	300	90	2	25.530 ± 0.488 d	9.62 ± 0.38 abc	-153.2 ± 2.6 bcd	1.791 ± 0.179 def
9	200	90	1	23.237 ± 8.045 d	6.60 ± 0.27 e	0.266 ± 5.08 g	0.74 ± 0.074 f
10	300	90	2	25.144 ± 2.672 d	9.43 ± 0.13 bc	-159.80 ± 12.5 abcd	2.083 ± 0.208 de
11	300	120	3	37.230 ± 1.028 c	9.89 ± 0.51 ab	-173.9 ± 1.82 abcd	2.203 ± 0.22 de
12	400	90	1	3.506 ± 0.579 e	8.88 ± 0.45 c	-106.53 ± 13.15 e	5.582 ± 0.558 bc
13	300	90	2	25.188 ± 1.979 d	9.98 ± 0.47 ab	-183.8 ± 26.74 ab	1.955 ± 0.195 def
14	200	120	2	46.601 ± 5.482 b	7.71 ± 0.20 d	-45.56 ± 10.24 f	1.544 ± 0.154 def
15	300	90	2	24.258 ± 1.032 d	9.98 ± 0.15 ab	-180.03 ± 6.24 abc	1.938 ± 0.193 def
16	300	60	1	10.598 ± 1.107 e	9.46 ± 0.19 bc	-146.06 ± 14.70 cd	1.013 ± 0.101 ef
17	300	60	3	37.539 ± 0.233 c	9.88 ± 0.09 ab	-173.3 ± 1.53 abcd	2.64 ± 0.264 d

EDB: Estado de biomasa (1 húmeda, 2 semi-seca y 3 seca); ORP: potencial de óxido reducción; CE: conductividad eléctrica. Medias con diferente letra en la misma columna son diferentes estadísticamente ($p=0.05$, Tuckey).

Conclusiones

La biomasa vegetal utilizada en este estudio; cáscaras de cacao son ricas en celulosa. El biochar de cáscara de cacao, obtenido mediante proceso de pirólisis media (1.5 h) y temperaturas bajas (200 °C) es un material de pH alcalino (pH 7) con rendimiento de transformación de 57%. El análisis de biochar de cacao resultó en un potencial REDOX dentro del rango adecuado y con diferencias significativas entre en los tratamientos. Para su posible uso en suelos agrícolas es recomendable realizar estudios sobre la respuesta de las plantas en fase de vivero y posteriormente en campo. Las propiedades finales del biochar de cáscara de cacao están influenciadas por el estado de la biomasa antes de la pirólisis, siendo la biomasa seca la más favorable. La temperatura es otro factor determinante en sus características, ya que, a mayor temperatura, se observa un incremento en el pH, por ende, una tendencia reductora y valores altos de conductividad eléctrica.

Referencias bibliográficas

- Escalante A, Pérez G, Hidalgo C, López J, Campo J, Valtierra E, Etchevers J. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A.C. México. Terra Latinoamericana. 2016; 34(3): 367-382.
- García C, Rosas JG, Sánchez ME, Pascual JE, Hernández MT. Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas. Madrid: Editorial Mundi-Prensa; 2014.
- Leonardo; el arte de gestionar los residuos. Cómo contribuyen los residuos al desarrollo sostenible y al cambio climático internet. Disponible en: <https://www.leonardo-gr.com/es/blog/la-importancia-de-una-gesti-n-adecuada-de-los-residuos-para-la-salud-p-blica-y-el-medio/>. 2024.
- R Core Team (2018) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>

Trujillo A Enmer., Christian Eduardo Valencia A., María Cecilia Alegría A., Alejandrina Honorata Sotelo M. Production and chemical characterization of biochar from organic agricultural waste. Rev Soc Quím Perú. 85(4) 2019.



RESPUESTA PRODUCTIVA DE CHILE HUACLE EN TRES DENSIDADES DE PLANTACIÓN

Perpetua García-Martínez^{1*}, Antonio Martínez-Ruiz², Carlos Ramírez-Ayala², Mariela Hada Fuentes-Ponce³, Cándido Mendoza-Pérez¹

¹Colégio de Postgraduados campus Montecillo-Hidrociencias. ²INIFAP, Villa de Etla, Oaxaca.

³Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco

*Autor para correspondencia: Pethus9896@gmail.com

Palabras clave. Rendimiento, densidad, *Capsicum annuum* L.

Introducción

El chile es uno de los cultivos de mayor importancia económica y social en México. Se reporta la existencia de 56 diferentes tipos de chiles criollos en el territorio nacional (Aguilar *et al.*, 2010). La entidad con mayor diversidad de tipos de chile es Oaxaca, se ha identificado al menos 25 diferentes tipos de chiles reconocidos por los diferentes grupos indígenas presentes en las ocho regiones del estado, en la cual se encuentra en chile huacle negro, es una variedad reconocida por su importancia gastronómica (López y Castro, 2005). La producción de Chile Huacle representa un potencial económico para el estado de Oaxaca, sin embargo, enfrenta diversos desafíos, como el bajo rendimiento por unidad de superficie, limitada adopción de tecnologías agrícolas, y problemas fitosanitarios. Una variable clave que influye en la productividad del cultivo es la densidad de plantación, que determina la competencia entre la planta por recursos como luz, agua y nutrientes. La optimización de la densidad de siembra permite un mejor aprovechamiento y aumento del rendimiento por hectárea sin comprometer la calidad del fruto. Estudios en variedades de chile han demostrado que densidades más altas pueden incrementar el rendimiento total, aunque a veces a costa de tamaño individual del fruto (García *et al.*, 2020).

Por ello es necesario la introducción de nuevas tecnologías aplicadas en la producción agrícola, como riego por goteo, cubiertas plásticas, fertirriego y densidades de plantación el cual permite incrementar la productividad, la calidad del producto en menor espacio y cosecha fuera de temporada (Molina y Yang, 2000; Moreno Résendez, *et al.*, 2011).

Objetivos

Determinar el número de frutos y el rendimiento del cultivo de chile huacle (*Capsicum annuum* L.), en tres densidades de plantación, en un sistema hidropónico en invernadero en el estado de Oaxaca.

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación se realizó en el periodo primavera-verano del año 2024, en un invernadero ubicado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agropecuarias y Pecuarias (INIFAP)-CE-Experimental Valles Centrales, en el estado de Oaxaca.

Se estableció una unidad experimental consistente en brindar un manejo óptimo en la solución nutritiva (solución de Steiner al 100%) y riego. Se aplicó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones y tres densidades de plantación: T1 = 3.6 plantas m⁻², T2 = 4.6 plantas m⁻² y T3 = de 5.3 plantas m⁻². Para el experimento se estableció el cultivo de Chile huacle o Chilhuacle negro (*Capsicum annuum* L.). Para la obtención de plántulas, se germinaron las semillas en charolas de polietileno de 200 cavidades. En la fertilización, se usó la solución nutritiva de Steiner al 30%, por un lapso de 50 a 60 días (cuando presentaron de 7-9 hojas verdaderas). El trasplante se realizó en bolsas de 40 x 40 cm, con capacidad de 13 litros de sustrato, el sustrato que se utilizó fue "Tepetzil" (roca volcánica porosa), se mantuvo el experimento durante 170 días, tiempo de duración del ciclo del cultivo.

Para obtener el rendimiento se marcaron 4 plantas al azar por tratamiento, los cuales a medida que alcanzaron su madurez fisiológica se les midió el peso y número de frutos cosechados que alcanzaron la madurez fisiológica. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararán con la prueba de TUKEY (P≤0.05).

Resultados y Discusión

Numero de frutos

A una densidad de 5.3 plantas m^{-2} se obtuvo 186 frutos, resultando ser mayor que los demás tratamientos y significativamente diferente al T2 (figura 1). Martínez- Gutiérrez *et al.*, 2021, encontraron resultados de 29.2 frutos para la densidad de 2 plantas m^{-2} , 38.6 en 3 plantas m^{-2} y 47.4 frutos en 4 plantas m^{-2} siendo estos muy bajos en comparación con los encontrados en este trabajo, sin embargo, es importante mencionar que la tendencia en el incremento del número de frutos al aumentar la densidad de plantación.

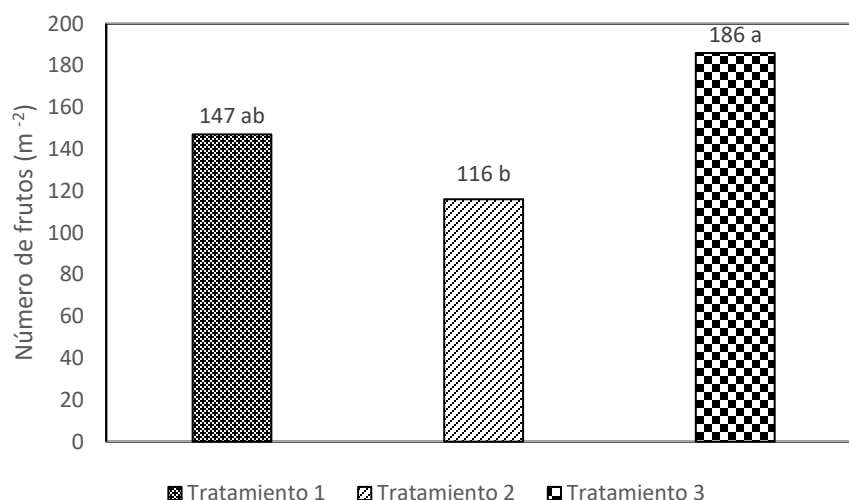


Figura 1. Número de frutos.

Diámetro ecuatorial y polar del chile huacle

En el cuadro 1 se presentan los valores promedio del diámetro ecuatorial (DE) y diámetro polar (DP) de los frutos de chile huacle. El T2 presenta mayor DE que el T1 y T3 con 4.8 mm y 7.67 mm de diferencia respectivamente, además que estadísticamente el T2 es diferente a los T1 y T3. De la misma forma el DP fue superior en el T2, superando al T1 y T3 con una diferencia de 5.69 mm y 4.34 mm respectivamente. No se encontró diferencia significativa en el T2 y T3, pero el T2 fue estadísticamente diferente al T1.

Martínez- Gutiérrez *et al.*, 2021 en el diámetro ecuatorial encontraron valores de 52.17 mm en la densidad de 2 plantas m^{-2} , 50.83 mm en 3 plantas m^{-2} y 48.67 mm en 4 plantas m^{-2} y en diámetro polar valores de 61.73 mm en 2 plantas m^{-2} , 66.43 mm en 3 plantas m^{-2} y 64.27 mm en 4 plantas m^{-2} siendo estos superiores a los encontrados en este trabajo. Caso contrario con Fajardo-Rebollar *et al.*, 2022 quien reporta en su trabajo de Régimen nutrimental en Chile huacle I: ciclo otoño-invierno en condiciones de invernadero la longitud de frutos con valores promedio de 34.87 mm.

Cuadro 1. Diámetro ecuatorial y polar del chile huacle.

Tratamiento	DE	DP
T1 (3.6 plantas m^{-2})	40.62 b	42.02 b
T2 (4.6 plantas m^{-2})	45.42 a	47.71 a
T3 (3.6 plantas m^{-2})	37.75 b	43.37 ab

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. (Tukey, $p \leq 0.05$).

Rendimiento

La figura 2 muestra el efecto de los tratamientos sobre el rendimiento del cultivo. El tratamiento T3 fue el que presentó el mayor rendimiento, alcanzando los 4.57 $kg m^{-2}$. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento T3 y los demás tratamientos evaluados. Es importante señalar que, a pesar de la ausencia de diferencias estadísticas, el tratamiento T3 superó al T1 y T2 en 0.87 $kg m^{-2}$ y 0.77 $kg m^{-2}$, respectivamente.

Los datos obtenidos por metro cuadrado fueron extrapolados a una hectárea ($t\ ha^{-1}$) para facilitar la interpretación del impacto de los tratamientos a escala de campo (cuadro 2). Nuestros resultados superaron a los reportados por Martínez-Gutiérrez *et al.* (2021), quienes trabajaron densidades de 2, 3 y 4 plantas m^{-2} . Diversos autores coinciden en que un aumento de plantas por metro cuadrado, provoca una disminución en rendimiento por planta, pero un mayor rendimiento por unidad de superficie (Cebula 1995; Maboko *et al.*, 2012).

Cuadro 2. Rendimiento en Toneladas.

Tratamientos	$kg\ m^{-2}$	$t\ ha^{-1}$
T1	3.70 kg	37 t
T2	3.80 kg	38 t
T3	4.57 kg	45.7 t

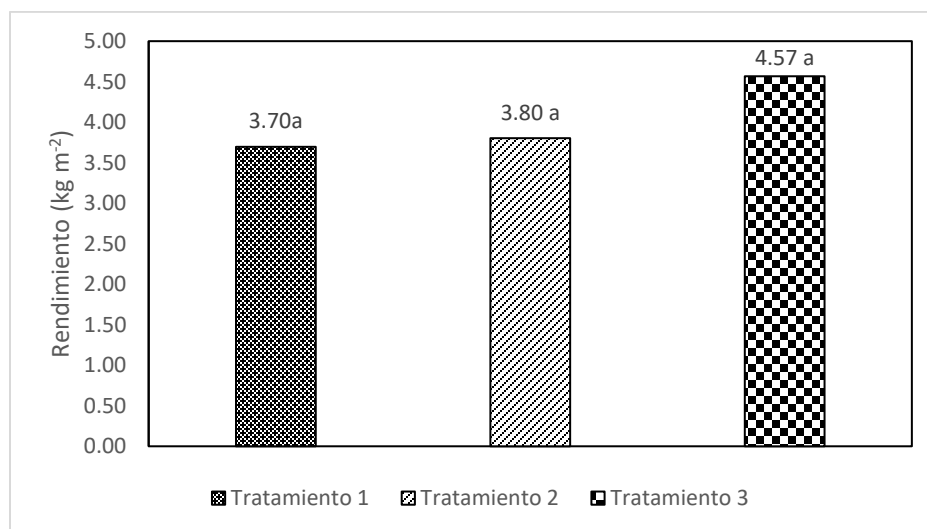


Figura 2. Rendimiento en fresco $kg\ m^{-2}$.

Conclusiones

El cultivo de chile huacle enfrenta desafíos en campo, pero aumentar la densidad de plantación ha mostrado resultados positivos. Este estudio revela que la densidad influye en el rendimiento, alcanzando el mayor rendimiento ($45.7\ t\ ha^{-1}$) con una densidad de 5.3 plantas m^{-2} , superando densidades menores. Se recomienda esta estrategia como práctica agronómica para optimizar el uso del espacio y mejorar la rentabilidad. Además, al fortalecer la producción de esta variedad criolla de alto valor cultural, se contribuye a su conservación, se impulsa la economía local y se preserva un elemento fundamental del patrimonio gastronómico de Oaxaca.

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Rincón V., H.; T. Corona Torres; P. López López. Latournerie Moreno; M. Ramírez Meraz; H. Villalón Mendoza y J. A. Aguilar Castillo. 2010. Los Chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.
- Cebula, S. 1995. Optimization of plant and shoot spacing in greenhouse production of sweet pepper. *Acta Horticulturae*, 412: 321-328.
- López, L., P. y H., Castro, G. 2005. 2004. Al rescate de la diversidad genética del chile (*Capsicum* spp) en Oaxaca, México. In: Segunda Convención Mundial del Chile. Zacatecas, Zacatecas, México. pp 253-258.
- Maboko, M.M.; Du Plooy, C.P.; Chiloeane, S. 2012. Effect of plant population, stem and flower pruning on hydroponically grown sweet pepper in a shadenet structure. *African Journal of Agricultural Research*, 7 (11): 1742-1748.

Martínez-Gutiérrez, Gabino Alberto, Langlé-Argüello, Lucía Armin, Urrestarazu, Miguel, Escamirosa-Tinoco, Cirenio, Hernández-Tolentino, Martín, & Morales, Isidro. (2021). Efecto de la densidad de plantación y la poda en el Chile huacle en invernadero. *Idesia (Arica)*, 39(3), 69-74. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000300069>

Molina, R y Yang, M. (2000). Plásticos agrícolas. Selección de colores. Revista mensual. Agosto: 38–40. Productores de hortalizas. Fresno, CA, USA.

Ramirez- Garcia, A., Torres-Barrera, A., & Hernandez. 2020. Optimización de densidades de plantación para chile serrano en sistemas de producción sustentable. *Ciencia y Agricultura*, 17(2), 111-12.



VALORACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE MAZORCA Y GRANO EN POBLACIONES NATIVAS DE MAÍZ COLECTADAS EN UN TRANSECTO MULTIALTITUDINAL DE TAMAULIPAS

Víctor Manuel Toribio-Solis¹, Mario Rocandio-Rodríguez^{1*}, Yolanda del Rocio Moreno-Ramírez¹, Efraín Neri-Ramírez¹, Julio Cesar Chacón-Hernández¹, Carlos Alexis Urbina-Gaza¹

¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias

*Autor para correspondencia: mrocandio@docentes.uat.edu.mx

Palabras clave. Maíces nativos, diversidad, conservación.

Introducción

En Tamaulipas una parte significativa de la diversidad y variabilidad de maíces nativos se encuentra en el centro-sur de Tamaulipas, en algunas regiones aisladas de los municipios de Jaumave, Ocampo, Gómez Farías y Llera de Canales (González-Martínez *et al.*, 2019). Por lo tanto, realizar recolectas y analizar la diversidad mediante la caracterización de mazorca y grano ayuda a incorporar poblaciones de interés para ser consideradas en programas de mejoramiento genético. A pesar de la reconocida amplitud en la distribución de maíces nativos, los estudios a nivel micro-región en México han sido de menor frecuencia (Contreras-Molina *et al.*, 2016). En Tamaulipas se han reportado 11 de las 59 razas registradas en el país que poseen características distintivas que pueden ser aprovechadas dentro de las comunidades bajo esquemas de manejo tradicional y conservación establecidos bajo sus propias normas y que a la par ha sido mínimamente estudiadas.

Objetivo

Identificar características de interés de mazorca y grano de poblaciones de maíces nativos de un transecto multialtitudinal del estado de Tamaulipas.

Materiales y Métodos

Localización de área de estudio

El estudio se realizó en la parte Occidental de la Reserva de la Biosfera el “El Cielo” ubicada en el estado de Tamaulipas, dicho transecto conecta a comunidades rurales de los municipios de Jaumave y Ocampo que cuentan con cierto grado de aislamiento.

Método de recolección

Se realizaron recorridos exploratorios, mediante un muestro sistemática bola de nieve para recolectar muestras de 10 a 15 mazorcas, para identificar la diversidad de maíces nativos.

Variables de mazorca evaluadas

Se realizó la clasificación racial para cada una de las recolectas con la ayuda de un experto clasificador. Para determinar el análisis de mazorca y grano de las recolectas se utilizaron seis variables cualitativas: forma de la mazorca (FDM), arreglo de hileras de la mazorca (ADH), tipo de grano (TIG), color de grano (COG), color de olote (CO) y forma de la corona de grano (FDLCG) utilizando el descriptor propuesto por Carballo y Ramírez, (2010).

Análisis estadístico

Para determinar la diversidad de mazorca y grano de las poblaciones encontradas se utilizó un análisis multivariado de correspondencia simple, además de estadística descriptiva utilizando un gráfico de tela de araña.

Resultados y Discusión

Se muestran 36 poblaciones de maíces nativos extraídas del transecto multialtitudinal (cuadro 1) resultado de los recorridos exploratorios, se identificaron nueve razas de maíces nativos: Celaya, Ratón, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Bolita, Olotillo, Conico, Tabloncillo, Elotes Occidentales y Elotes Conicos. Además, se agruparon 13 mezclas interraciales: Tuxpeño × Bolita, Bolita × Tuxpeño, Tuxpeño × Conico, Olotillo × Tuxpeño, Tuxpeño Norteño × Ratón, Elotes Conicos × Ratón, Celaya × Tuxpeño Norteño, Ratón × maíz

Descripción de grano y mazorca

En la figura 2 se encontraron 19 poblaciones con forma de mazorca cilíndrica, 17 cónica-cilíndrica, el tipo de grano fue de 17 poblaciones con grano intermedio, 16 semidentados, dos semicritalinos y una dentada. El arreglo de hileras fue de forma recta para las 36 poblaciones, la coloración blanco cremoso se presentó en 24 poblaciones, dos amarillos, dos barrosas, dos mezclas de azules y blanco cremoso y una población en tonalidades rojo oscuro, azul oscuro, azul, amarillo oscuro y combinaciones de granos azules, amarillos y blanco cremoso. Por último, se identificaron 28 poblaciones con color de olote ausente (blanco), seis medias (rojo) y dos en tonalidad débil (semi rojo).

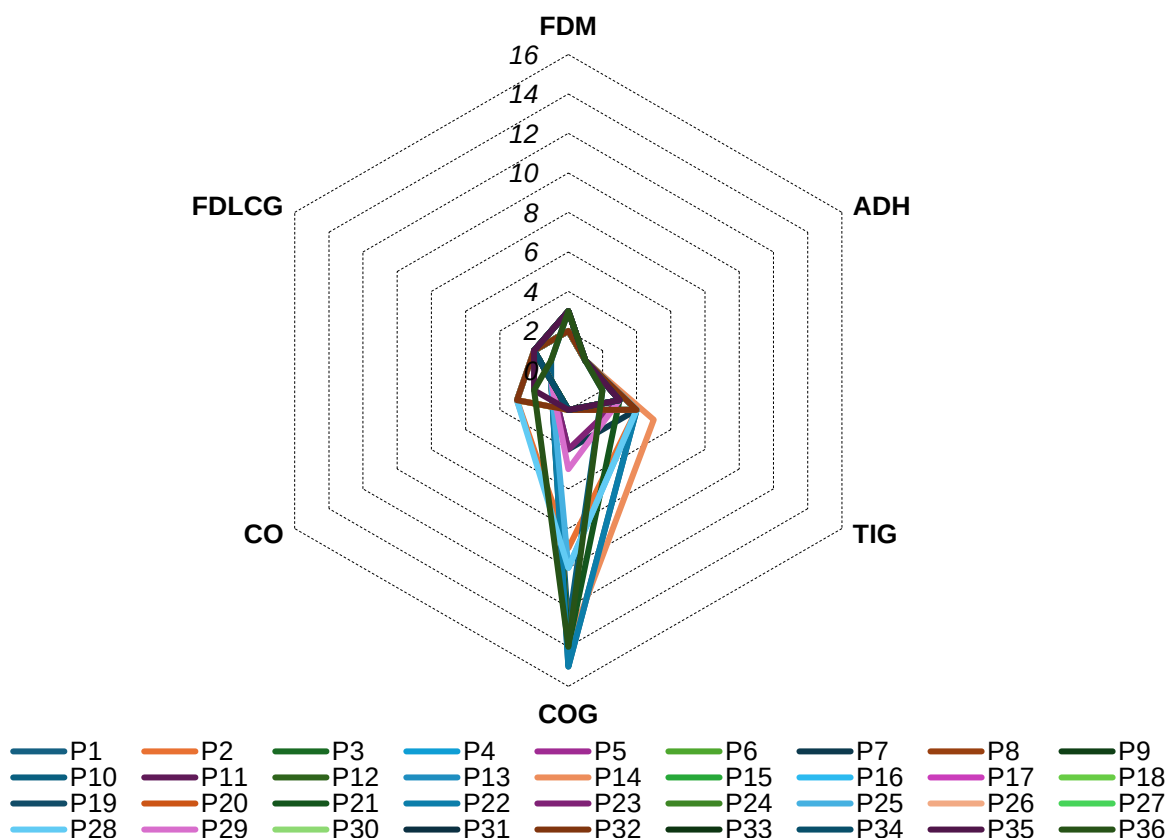


Figura 2. Representación gráfica mediante el modelo tela de araña de 36 poblaciones nativas de maíz de seis variables cualitativas de mazorca.

Se encontraron ocho razas de maíces nativos de 11 reportadas por González-Martínez *et al.* (2018), además de la raza elotes cónicos que no tenía registro previo dentro del Estado. La forma de la mazorca, el tipo de grano y color de grano con mayor presencia dentro de las poblaciones fue cilíndrica, intermedio y blanco cremoso, los resultados encontrados en este estudio coinciden con los reportados por González-Martínez *et al.*, 2019 y González-Martínez *et al.*, 2020, lo que indica la permanencia y el interés de dichas características por parte de los agricultores dentro de las comunidades.

El arreglo de las hileras de las mazorcas fue recta en su totalidad, el color de olote y la forma de la corona de grano dentro de las poblaciones fue de blanco y hendida, la diversidad registrada prevalece gracias a la participación de los agricultores quienes identifican caracteres interés como lo es el tipo de grano, forma y tamaño de mazorca, número de hileras, grosor de olote y precocidad (Cabrera-Toledo *et al.*, 2019). Así mismo la preservación de la diversidad de maíces para su utilización dentro de las comunidades garantiza seguir conservando un pilar en la seguridad alimentaria para sus habitantes quienes participan en las actividades de campo día con día.

Conclusión

Dentro del transecto multialtitudinal predominan mazorcas de forma cilíndrica, granos intermedios, arreglo de hileras recto, color de grano blanco-cremoso y color de olote ausente, características esenciales establecidas por los propios agricultores y que pueden ser aprovechadas en procesos de mejoramiento.

Referencias bibliográficas

- Cabrera-Toledo, J. M., A. Carballo-Carballo, J. A. Mejía-Contreras, G. García-De los Santos y H. Vaquera-Huerta. (2019). caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza zapalote chico. *Revista fitotecnia mexicana*, 42(3):269-279.
- Contreras-Molina, O., A. Gil-Muñoz, P. A. López, D. Reyes-López, J. de Dios Guerrero-Rodríguez. (2016). Caracterización morfológica de maíces nativos de la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (17):3633-3647.
- González-Martínez, J., M. Rocandio-Rodríguez, A. R. Contreras-Toledo, S. Joaquín-Cancino, V. Vanoye-Eligio, J. C. Chacón-Hernández y A. Hernández-Bautista. (2020). Diversidad morfológica y agronómica de maíces nativos del altiplano de Tamaulipas, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 43(4):361-370.
- González-Martínez, J., Rocandio-Rodríguez, M., Chacón-Hernández, J. C., Vanoye-Eligio, V., & Moreno-Ramírez, Y. D. R. (2018). Distribución y diversidad de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el altiplano de Tamaulipas, México. *Agroproductividad*, 11(1), 124-130.
- González-Martínez, J., V. Vanoye-Eligio, J. C. Chacón-Hernández y M. Rocandio-Rodríguez. (2019). Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 14(1):6-17.



ENFOQUE BASADO EN SIG PARA MODELAR UN ECOTIPO DE *Bouteloua curtipendula* (MICHX.) TORR. PROMISORIO PARA LA REHABILITACIÓN DE PASTIZALES EN EL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Alma Delia Baez-Gonzalez^{1*}, José Miguel Prieto-Rivero², Alan Alvarez-Holguín²,
Alicia Melgoza-Castillo², Mario Humberto Royo-Márquez^{3*}, Jesús Manuel Ochoa-Rivero³
¹INIFAP, CE Pabellón; ²Universidad Autónoma de Chihuahua; Facultad de Zootecnia y Ecología,
³INIFAP, CE La Campana

*Autor para correspondencia: baez.alma@inifap.gob.mx

Palabras clave. Modelación del nicho ecológico, biogeografía, desierto Chihuahuense, rehabilitación de pastizales.

Introducción

Los pastizales cubren el 12% del Desierto Chihuahuense dentro del territorio mexicano (INEGI, 2023; Lindstrom et al., 2023), y el 63% de esta área se encuentra en el estado de Chihuahua, donde se ha registrado una pérdida alarmante de este ecosistema. Ante este escenario, la rehabilitación de los pastizales es esencial (Sánchez-Arroyo et al., 2018). Considerando la amplia distribución en América y las ventajas que muestra la especie *Bouteloua curtipendula* para los programas de resiembra, es importante que se generen variedades a partir de genotipos locales de esta especie. Estudios previos han evaluado la diversidad genética dentro del *Bouteloua curtipendula* e identificado ecotipos sobresalientes en algunas características agronómicas, como es el caso del B-31 (Álvarez-Holguín, 2022). El uso de modelos de simulación para determinar la distribución poblacional de especies sobresalientes es una herramienta básica para delimitar áreas donde las condiciones suelo-climagenotipo son las adecuadas para la especie (Baez-Gonzalez et al., 2022a; 2022b), lo que asegura el éxito de un programa de rehabilitación como es la resiembra. El reto del presente estudio fue que solo se contó con un sitio de colecta georreferenciado del ecotipo en Chihuahua por lo que fue necesario desarrollar una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitiera modelar el nicho ecológico del ecotipo bajo estas limitantes.

Objetivos

1) Desarrollar un enfoque basado en un SIG para determinar la distribución poblacional de un ecotipo promisorio de *Bouteloua curtipendula*; 2) identificar las variables edafoclimáticas que definen la distribución del ecotipo; y 3) desarrollar modelos para determinar el área potencial para el uso del ecotipo en la rehabilitación de pastizales en el Desierto Chihuahuense.

Materiales y Métodos

Área Inicial de Estudio. Pastizales del Estado de Chihuahua, México, en áreas cercanas a la comunidad de Hidalgo del Parral (26°55'48" Norte, 105°39'36" Oeste).

Desarrollo del Enfoque Metodológico. Se utilizó el programa ArcGIS para generar un enfoque metodológico (figura 1) que permitiera el desarrollo del modelo del nicho ecológico del ecotipo B-31 del *Bouteloua curtipendula* teniendo disponible un solo sitio georreferenciado. El enfoque cubrió las diferentes etapas de modelación llegando a generar una aproximación de la distribución poblacional del ecotipo en el estado de Chihuahua, así como, la cuantificación del área potencial de rehabilitación en el Desierto Chihuahuense con este ecotipo.

Modelos Generados y Variables Consideradas Los dos modelos de distribución poblacional generados y validados fueron construidos considerando 1) variables directas (T max y min enero, T max de junio, T min de julio, Ppt max agosto, Tipo suelo) y 2) variables derivadas (T diurna min enero, T noc min enero, T diurna max junio, T noc max julio, Ppt max agosto, Tipo suelo). (T= Temperatura en °C; Ppt = Precipitación en mm).

Validación de los Modelos Generados:

- a) Método de Muestreo de Campo: En la etapa de validación en campo, se utilizó el método de muestreo anidado, modificado por Whittaker (Stohlgren et al., 1985).

- b) *Generación de Malla digital para Muestreo Dirigido.* Con el fin de sistematizar el muestreo en campo, se generó una malla digital georreferenciada de 100 hectáreas entre centroides, que permitiera, mediante dato latitud-longitud, ubicar sitios específicos objeto de muestreos de presencia y ausencia del genotipo.

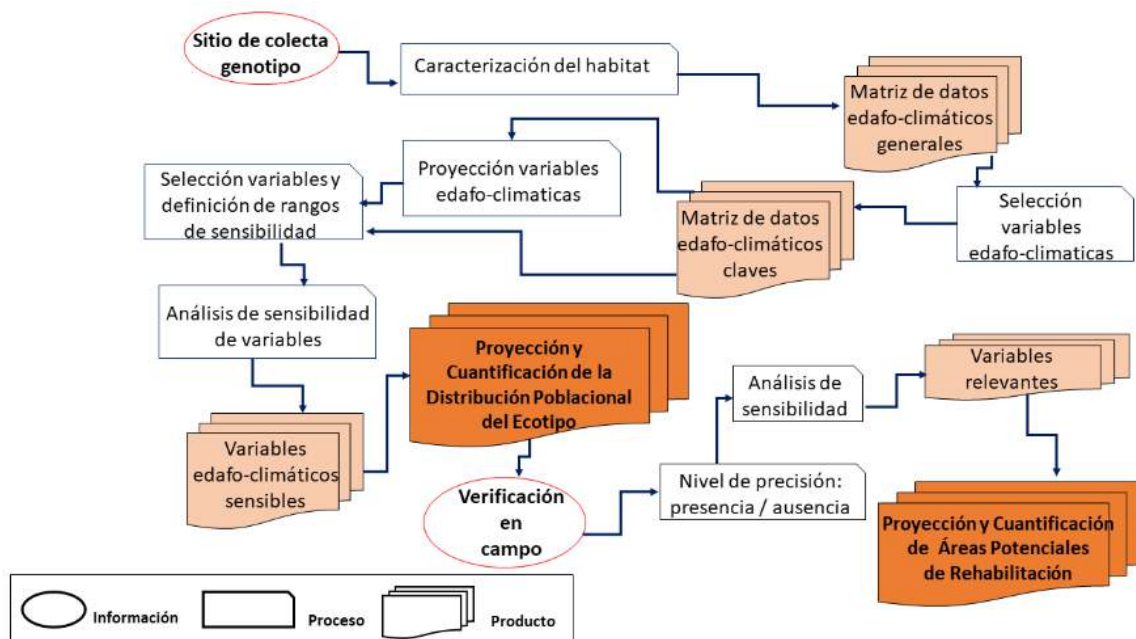


Figura 1. Metodología aplicada en la construcción, calibración y validación del modelo de distribución poblacional del ecotipo B-31 de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. en los pastizales de Chihuahua, México.

Análisis Estadístico: Se generó la matriz de confusión y se analizó con pruebas estadísticas no paramétricas determinado para cada modelo: precisión general, error, especificidad, poder predictivo positivo, poder predictivo negativo, sensibilidad y proporción impar.

Resultados

Se utilizó el programa ArcGis para generar una metodología que permitió desarrollar dos modelos de distribución potencial: el Modelo A, con variables obtenidas directamente de un conjunto de datos climáticos vectoriales, y el Modelo B, con variables derivadas. Ambos modelos presentaron una precisión y sensibilidad general superiores al 70% y un poder predictivo positivo superior al 80%. Las áreas de distribución poblacional predichas, en forma de parches discontinuos, coincidieron con las de informes previos sobre la distribución de *B. curtipendula*. Las variables edafoclimáticas que influyeron en la distribución del ecotipo fueron el tipo de suelo, la temperatura mínima y máxima promedio de enero, la temperatura máxima promedio de junio, la temperatura mínima promedio de julio y la precipitación promedio de agosto. El análisis de sensibilidad mostró que el tipo de suelo es la variable más importante en limitar la distribución del ecotipo, seguido por la temperatura mínima promedio en julio. El área potencial de rehabilitación con este material genético es de 7,181,735 ha en el Desierto Chihuahuense (figura 2). El estudio desarrolló y validó un enfoque para modelar el nicho ecológico de un ecotipo de interés comercial, a pesar de las severas limitaciones en el número de sitios georreferenciados disponibles para el modelado. El definir las variables climáticas que influyen en la distribución de un ecotipo puede facilitar futuros estudios sobre el impacto del cambio climático en sus poblaciones.

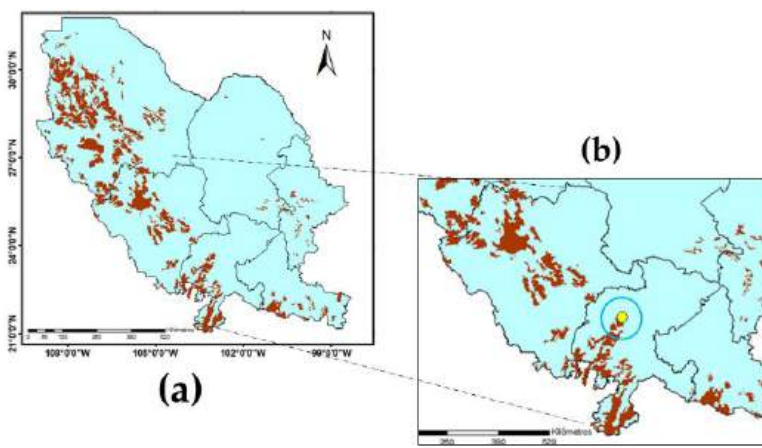


Figura 2. Proyección de áreas potenciales de rehabilitación con *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., ecotipo B-31 (áreas marrones) en la región del Desierto Chihuahuense (a). Ubicación en campo (b) de un ejemplar del ecotipo B-31 (punto amarillo con círculo azul) en el área proyectada como potencial de rehabilitación en el Desierto Chihuahuense, lo que confirma la precisión de la predicción de áreas potenciales de rehabilitación.

Conclusiones

Esta investigación generó y validó un enfoque que puede ser utilizado en el modelaje del nicho ecológico de un ecotipo, particularmente cuando la mayor limitante es la poca cantidad de sitios georreferenciados disponibles para las diferentes fases del modelaje. Los resultados sugieren que la variable tipo de suelo podría ser un factor dominante en la distribución del ecotipo, seguida de la variable climática, temperatura mínima promedio en julio. Considerando el tipo de suelo como un factor limitante en el establecimiento del ecotipo B-31 de *B. curtipendula* (Michx.) Torr., se estima que el área potencial para la rehabilitación de pastizales en el Desierto Chihuahuense utilizando este material genético es de 7,181,735 ha.

Fuente financiera

Esta investigación fue financiada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México, Proyecto número 1023334741.

Referencias bibliográficas

- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Síntesis de Información geográfica del estado de Chihuahua. México 2023.
- Lindstrom J, Ahlering M, Hamilton J. Seed sourcing for climate-resilient grasslands: The role of seed source diversity during early restoration establishment. *Ecology and Evolution*. 2023;13(11):e10756.
- Sánchez-Arroyo JF, Wehenkel C, Carrete-Carreón FO, Murillo-Ortiz M, Herrera-Torres E, Quero-Carrillo AR. Establishment attributes of *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. populations native to Mexico. *Revista fitotecnica mexicana*. 2018;41(3):237-43.
- Álvarez-Holguín A. Registro varietal de nuevos genotipos élite y generación de tecnología para producción de semilla de pastos. Proyecto de Investigación. Documento interno. 2019. INIFAP.
- Baez-Gonzalez AD, Melgoza-Castillo A, Royo-Márquez MH, Kiniry JR, Meki MN. Modeling the Distribution of Wild Cotton *Gossypium aridum* in Mexico Using Flowering Growing Degree Days and Annual Available Soil Water. *Sustainability*. 2022a;24;14(11):6383.
- Baez-Gonzalez AD, Alcala-Carmona KA, Melgoza-Castillo A, Titulaer M, Kiniry JR. Loss and Gain in Potential Distribution of Threatened Wild Cotton *Gossypium thurberi* in Mexico under Future Climate. *Sustainability*. 2022b;13;14(20):13144.
- Stohlgren TJ, Bull KA, Otsuki Y. Comparison of rangeland vegetation sampling techniques in the Central Grasslands. *Journal of Range Management*, 1998;51(2), 164-172.

EFFECTO *in vitro* DE *Trichoderma* spp. CONTRA HONGOS FITOPATÓGENOS DE NANCHE (*Byrsonima crassifolia* L.)

Denise Moran-Giron¹, Pablo Noé Núñez-Aragón^{1*}, Luis Antonio Flores-Hernández², Marco Antonio Otero-Sánchez¹, Petra Andrade-Hoyos³, José Luis Díaz-Núñez⁴.

¹ CEP-CSAEGRO, ² INIFAP-CE Iguala, ³ INIFAP-CE Zacatepec, ⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: pablo.aragon@csaegro.edu.mx

Palabras clave. *Trichoderma* spp., Nanche, *Bipolaris* spp.

Introducción

El nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) pertenece a la familia Malpighiaceae, su fruto se consume en fresco por su exquisito sabor agri dulce, aunque también se utiliza en la industria para la elaboración de ates, refrescos embotellados, mermeladas, almíbares, helados, licores, cremas, gelatinas, o pasteles, entre otros (Martínez-Moreno et al., 2008), y de la madera, corteza y hojas para elaboración de artesanías, así como su utilización como medicina tradicional, actualmente ha adquirido considerable importancia debido a que puede ser aprovechado por diferentes sectores.

El nanche es una especie endémica de Mesoamérica donde es posible encontrar una enorme variación genética, las poblaciones de esta especie se distribuyen por toda la zona tropical, es una especie que está adaptada a condiciones de sequía y rusticidad de suelos, de acuerdo al SIAP (2023) en México se produjeron 7713 t, las principales entidades productoras fueron: Guerrero 4,148 t (55%), Nayarit 1,154 t (16%) y Veracruz 783 t (10%). En el estado de Guerrero se ha valorado su variación genética mediante la colecta de poblaciones en el municipio de Cuajinicuilapa, donde se determinó que la variación morfológica depende de los fenotipos y de las condiciones ambientales en las que desarrolla el genotipo (Rojas-García et al., 2021).

Sin embargo, se ha observado una disminución considerable de la sanidad y productividad de esta especie frutícola, principalmente al aumento de enfermedades fúngicas, especialmente a la mancha foliar del nanche. Estas enfermedades no solo afectan la salud de los árboles, provocando su muerte, sino que también impactan negativamente en la economía de las comunidades que depende de este cultivo. El uso excesivo de agroquímicos para el control de estas enfermedades ha generado preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental y la salud del suelo, además de contribuir a la resistencia de los patógenos. Por lo tanto, surge la necesidad de tratamientos más sostenibles y efectivos para el manejo de estas enfermedades. Entre las distintas alternativas el control biológico es una opción primordial y en particular el uso de *Trichoderma* spp., se presenta como una estrategia prometedora. Por esta razón el objetivo del presente trabajo es identificar los agentes fitopatógenos causales de la mancha foliar del nanche y evaluar el efecto antagonista de *Trichoderma* spp.

Materiales y Métodos

Las muestras aéreas de hojas y ramas con signos de enfermedad fueron colectadas en la localidad de Xicatlacotla, situada en el municipio de Tlaquiltenango, Morelos. Para el aislamiento de fitopatógenos se realizaron los cortes de 1 x 1 cm, seleccionando tanto de los tejidos enfermos como sanos. Estos tejidos se sumergieron en hipoclorito de sodio (1%) por un minuto, para después ser enjuagados con agua destilada estéril. Las muestras fueron colocadas en medio de agar papa dextrosa (PDA) por 7 días a temperatura ambiente 28±3°C bajo un fotoperiodo de luz/oscuras de 12 horas.

Para el aislamiento de *Trichoderma* spp. se obtuvieron cuatro submuestras de suelo, de la misma localidad, cada una extraída de una profundidad de 20 cm, mezcladas y homogeneizadas adecuadamente para alcanzar un 1 kg. A partir de esta muestra se pesó 1 g y se realizaron diluciones seriadas (1:10) en ocho tubos de ensayo, tomando 1 ml de cada dilución en cajas con PDA, se cultivaron en las mismas condiciones que para los fitopatógenos.

Se seleccionaron las muestras más representativas y sembraron para su purificación. Una vez obtenidas las colonias puras, se realizaron las preparaciones necesarias para la identificación utilizando un microscopio compuesto, se compararon morfológicamente las cepas aisladas con organismos de referencia y claves taxonómicas. Se determinó la eficiencia de la cepa de *Trichoderma*, mediante la siembra

de cultivos duales. En cada caja Petri se inocularon discos de micelio de 5 mm de diámetro de *Trichoderma* sp y del hongo fitopatógeno, con 60 mm de separación. Para este estudio se incluyeron tres replicas por cada cultivo, así como cultivos monospóricos como testigo. Se evaluó el porcentaje de inhibición y el porcentaje de colonización, el día de primer contacto, así como la clase de antagonismo de acuerdo con Bell *et al.*, (1982). Con la información obtenida, se realizó análisis de varianza (ANOVA) seguido de un análisis múltiple de comparación de medias mediante una prueba Tukey con el programa GraphPad Prism 8.0, para determinar diferencias estadísticas significativas $p > 0.05$.

Resultados y Discusión

Se aislaron veintidós hongos, y de acuerdo a las características observadas, se identificaron cuatro: *Bipolaris* sp., *Aspergillus* sp., *Macrophomina* sp. y *Pestalotia* sp. Estos hongos presentan características que coinciden con la descripción morfológica y microscópica ya reportadas. Por otro lado, se aisló una cepa nativa de *Trichoderma* sp., que presentó un crecimiento rápido y la formación de anillos de color verde, complementados por un micelio blanco bien desarrollado (Barnett *et al.*, 1972).

En la figura 1 se observa el efecto en la inhibición del crecimiento de cada fitopatógeno contra *Trichoderma* sp., teniendo un efecto similar en el promedio de inhibición de 3 de ellos a excepción de *Aspergillus* sp., mientras que el primer contacto fue a los 6 días, no habiendo diferencia significativa entre ellos. La zona de intersección para las cepas de *Bipolaris* sp. y *Aspergillus* sp. fue similar en comparación con *Macrophomina* sp. y *Pestalotia* sp., finalmente, la clase de antagonismo para los cuatro fitopatógenos está entre el 75 y 100%.

Los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado, las especies de *Trichoderma* se caracterizan por impedir el crecimiento del fitopatógenos, al producir metabolitos inhibidores de crecimiento micelial (Khan *et al.* 2020). A su vez, *Trichoderma* sintetiza una gran variedad de enzimas líticas que, al desintegrar la pared celular, facilitan la penetración de los metabolitos promoviendo un efecto antagonismo más eficiente.

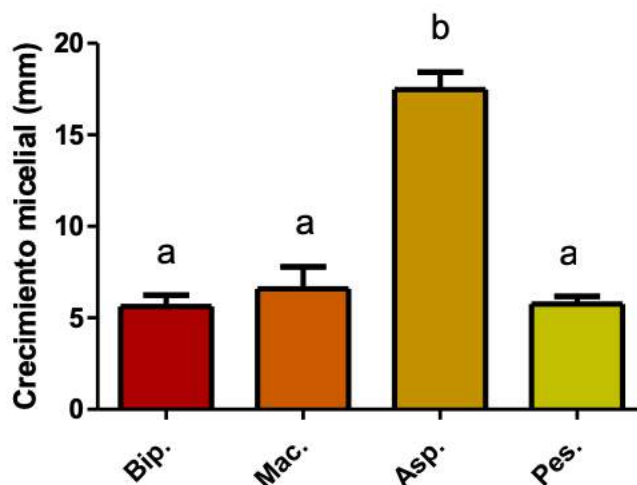


Figura 1. Efecto antagónico de *Trichoderma* spp. frente a hongos fitopatógenos de nanche. Diferente literal indica diferencia significativa, ANOVA seguida de una prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Conclusiones

Se aislaron veinte hongos de los cuales se identificaron cuatro patógenos asociados como posibles causantes de la mancha foliar presente en el nanche: *Bipolaris* sp., *Macrophomina* sp., *Aspergillus* sp. y *Pestalotia* sp., los cuales presentan inhibición frente a una cepa nativa de *Trichoderma*.

Agradecimiento y Fuente financiadora

A la Dra. Petra Andrade Hoyos por su valiosa participación en la identificación de los hongos fitopatógenos. Los resultados forman parte de la tesis de licenciatura del primer autor.

Referencias bibliográficas

- Barnett, H. L., and Hunter B. B. (1972). Illustrated *Genera* of imperfect fungi. St. Paul, Minnesota, USA. The American Burgess Publishing Company.
- Bell, H. D., Wells, and C. R. Markham. (1982). In vitro antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology*. 72:379-382.
- Khan R. A. A., Najeeb S, Hussain S. (2020). Bioactive secondary metabolites from *Trichoderma* spp. against phytopathogenic fungi. *Microorganisms* 8: 817
- Martínez-Moreno E., Santiaguillo-Hernández J. F. y Cuevas-Sánchez J. A. 2008. Principales usos del nanche (*Byrsonima crassifolia* L.) HBK. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 57 p.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2023) Cierre de la producción agrícola por cultivo del año 2023. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/> junio 2025.



CONTRASTE TÉRMICO Y LATENCIA EN SEMILLA DE *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

Raúl Plascencia-Jiménez^{1*}, Adrián Raymundo Quero-Carrillo¹, Salvador Carranza-González¹, Leonor Miranda Jiménez¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: raulplascencia83@hotmail.com

Palabras clave. Germinación, velocidad de germinación, energía germinativa.

Introducción

El Guaje, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. (*Leucaena*), es una leguminosa arbustiva perenne de regiones subtropicales originaria de México y Centroamérica, con uso potencial para zonas áridas. *Leucaena* es una planta tetraploide de autopolinización; su semilla, tiene testa dura, lo que impide el intercambio de humedad y gases hacia/desde el embrión, lo que evita la activación del proceso de germinación. Esta testa limita la rápida germinación de semilla, por lo que esta presenta latencia física. Por tanto, es necesario escarificar la semilla para aumentar la germinación y que esta manifieste su potencial para establecimiento de praderas. Es indispensable determinar calidad fisiológica, viabilidad y vigor de semilla para conocer la cantidad de semilla de calidad para establecer las plantas requeridas por área. Existen variables que miden eficiencia germinativa y vigor de semilla; así mismo, determinan la rapidez y capacidad de producir plántulas vigorosas para un establecimiento adecuado en campo, bajo diversas condiciones; de igual forma, este proceso garantiza la disponibilidad de semilla de calidad para el consumidor.

Objetivo

El objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes temperaturas y tiempos de inmersión en agua caliente, con contraste térmico, sobre variables que determinan la germinación y potencial establecimiento de plántulas.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Semilla del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México: 19° 27' N y 98° 54' O, a 2220 msnm. Se colectó semilla de *Leucaena leucocephala* Lam. de Wit., manualmente, en febrero del 2023 en el Sitio Experimental "El Verdineño" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Santiago Ixcuintla, Nayarit, a 40 msnm, clima tropical subhúmedo (Aw₂), precipitación media de 1201 mm anuales y temperatura media anual de 24° C. La época de estiaje fluctúa de siete a ocho meses al año (SEMAN, 2007). Se recolectaron al azar vainas maduras (coloración café oscuro); las cuales, se depositaron en recipiente plástico para coleccionar las semillas de forma natural. Posteriormente, se eliminaron hojas y ramas. La semilla se depositó en bolsas de tela a temperatura ambiente, para su posterior análisis. La semilla se almacenó en San Pedro Lagunillas, Nayarit (entre 21°13'54"-21°11'06"N y 104°50'24"-104°39'59"O) a 1283 msnm, durante 14 meses. Antes de realizar las pruebas, la semilla se desinfectó en Cloro al 10% (v:v), durante un minuto y fue enjuagada en agua destilada durante tres minutos. Se determinó viabilidad (VT) y calidad fisiológica de semilla, mediante la prueba de germinación (GE). Para determinar VT, se evaluaron cuatro repeticiones de 100 semillas. Se colocó semilla en osmoacondicionamiento en agua destilada por 18 h a temperatura ambiente; posteriormente, se removió la testa de esta y después, se desechó uno de los cotiledones, conservando el cotiledón con el embrión adherido. Estos últimos se colocaron en vaso de precipitado, depositando solución de cloruro-2-3, 5-trifenil tetrazolio (1% p/v; Delouche *et al.* 1971), de tal forma que las semillas se cubrieron por completo con la solución. Los vasos de precipitado conteniendo semilla y solución, se colocaron a 25 °C, en oscuridad, por 18 h; posteriormente, la semilla se enjuagó con agua destilada y se depositó en cajas Petri con agua destilada, para evitar su deshidratación y rápidamente se realizó la evaluación de la tinción de semillas y se clasificaron: viables y no viables. Las determinaciones se realizaron en estructuras del embrión y cotiledón, con apoyo de microscopio estereoscópico. Para GE, se contaron cuatro repeticiones de 100 semillas seleccionadas al azar, las pruebas se establecieron utilizando el método "sobre papel" (ISTA, 2005), las semillas se

colocaron en cajas petri usando como sustrato papel toalla tipo “sanitas”. El sustrato de germinación se humedeció, inicialmente, con agua destilada y durante el ensayo, se mantuvieron constantes los niveles de humedad. Las pruebas se realizaron en cámara germinadora de ambiente controlado donde con temperatura constante de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Se efectuaron tres conteos de plántula germinada a siete (G7), 14 (G14) y germinación acumulada, a 21 dds (G21).

Se registraron plántulas normales (PN), anormales (PA21), semillas duras (SD21), semillas frescas (SF21) y semillas muertas (SM21). Las plántulas normales, consistieron en aquellas que presentaron raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Las variables evaluadas incluyeron: germinación diaria (GD; %), plántulas germinadas por fecha de muestreo; velocidad de germinación (VeG; semillas d^{-1}), como la división de GD entre los DDS en cada fecha de muestreo; germinación total (GT; %), como la suma total de germinación durante el periodo de evaluación de 26 DDS; tasa de germinación diaria máxima (TGDM), momento en donde los tratamientos alcanzaron su tasa de germinación diaria máxima; periodo de energía (PE; días), como la cantidad de días requeridos para alcanzar la TGDM; energía germinativa (EG1; semillas d^{-1}), cociente donde se obtiene la mayor GD entre los DDS donde se observó el mayor porcentaje de germinación; el cual, en este estudio, se registró a 14 DDS; índice de velocidad de germinación (IVG; semillas d^{-1}); tiempo medio de germinación (TMG) y coeficiente de velocidad de germinación (CVG), como la integración de los tiempos de germinación de la semilla en cada uno tratamiento; el cual, se calculó con las fórmulas:

$$\text{IVG} = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$
 donde: G_i = número de semillas germinadas el i -ésimo día; N_i = número de días de muestreo (Maguire, 1962).

$$\text{TMG} = \frac{\sum (n_i \cdot d_i)}{\sum N}$$
 donde: n_i =número de semillas germinadas; d_i =número de días en germinación; N =número total de semillas en la prueba.

$$\text{CVG} = \frac{\sum (n_i \cdot d_i)}{\sum N_t}$$
 donde: n_i =número de semillas germinadas; d_i =número de días en germinación; N_t =número total de semillas germinadas en la prueba.

$$\text{CVG} = \frac{\sum (n_i \cdot d_i)}{\text{NTD}}$$
 donde: n_i =número de semillas germinadas; d_i =número de días en germinación; NTD =número total de días que duró la prueba (21 dds).

La escarificación evaluada (21 Tratamientos; cuadro 1) incluyó métodos manuales y tiempos en agua caliente (AC), con o sin contraste térmico (shock térmico; inmersión única e inmediata, en agua fría a 5°C , por 5'' (cuadro 1). Se utilizó un diseño completamente al azar, con 21 tratamientos y cuatro repeticiones de 100 semillas. Se utilizó el procedimiento GLM y prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias. Previamente al análisis, los datos se transformaron en arco seno mediante el paquete estadístico SAS (2010).

Cuadro 1. Tratamientos de escarificación evaluados en semilla de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

Método de escarificación	Tiempo de Inmersión	Shock térmico*	Tratamiento
Sin escarificación	Testigo natural	No	TNSE (T_1)
Agua 80°C	Un minuto	No	$T_{80^\circ\text{C}}$ (T_2)
Agua fría 5°C	Sin agua caliente	No	$T_{5^\circ\text{C}}$ (T_3)
Manual con pinzas	Sin agua caliente	No	Pinzas (T_4)
Agua 60°C	1, 3, 5 y 7 minutos	Si	60°C , (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C (T_5 - T_8)
Agua a 70°C	1, 3, 5, 7 minutos	Si	70°C , (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C (T_9 - T_{12})
Agua a 80°C	1, 3, 5 7 minutos	Si	80°C , (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C (T_{13} - T_{16})
Agua a 90°C	1, 3, 5 y 7 minutos	Si	90°C , (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C (T_{17} - T_{20})
Agua a 100°C	1 minuto	Si	100°C , 1' + 5'', 5°C (T_{21})

*Inmersión por 5 segundos en agua a 5°C .

Resultados y Discusión

Para VT, se obtuvo 77% de semilla viables. Los porcentajes de germinación reportados, para las variables evaluadas, se ajustaron para VT. Para GD, se obtuvieron diferencias significativas ($P<0.01$; cuadro 2). Siendo T₁₀, (agua caliente a 70 °C por 3 minutos con shock térmico con 5°C por 5") donde se obtuvieron valores desde 1 hasta 14.8 veces mayores, comparado con los diferentes tratamientos. El agua caliente de 70 hasta 90 °C incrementó la GD. Para VeG, se observaron diferencias ($P<0.01$; cuadro 2), los mayores promedios se encontraron en T₄, de 1.2 a 13.5 veces mayor a los demás tratamientos. Para esta variable se incrementa la germinación al romper la testa de la semilla; sin embargo, el uso de agua caliente a 70 °C por 3 min (T₁₀) y 80 °C por 3 min (T₁₅) con contraste "shock" térmico, respectivamente incrementan la germinación. Para GT, los mayores promedios se obtuvieron en T₁₁ ($P<0.01$; cuadro 2) y los menores promedios se obtuvieron en el testigo sin escarificación. Esto demuestra que la semilla de Leucaena necesita escarificación para incrementar la germinación y el uso de agua caliente con shock térmico es una opción para obtener mayor número de semillas viables germinadas. Para TGDM, se encontraron diferencias ($P<0.01$; cuadro 2) siendo T₄ donde se obtuvieron valores desde 1.8 a 15.8 veces mayor comparado con los demás tratamientos.

Cuadro 2. Variables evaluadas en semilla de Leucaena con shock térmico.

Tto*	GD	VeG	GT	TGDM	PE	EG1	IVG	TMG	CVG	VGT
1	2.3 ^d	0.30 ^f	7 ^f	0.75 ^g	7	0.18 ^e	1.0 ^f	0.35 ^f	5.43 ^{cd}	0.033 ⁱ
2	29.5 ^{ab}	2.40 ^{bcd}	89 ^{abc}	4.25 ^{bcd}	21	2.15 ^{abc}	12.7 ^{ab}	6.18 ^{ab}	11.38 ^{a**}	0.615 ^{abc}
3	3.2 ^{cd}	0.40 ^f	10 ^f	1.10 ^{fg}	7	0.23 ^e	1.4 ^f	0.70 ^{ef}	6.88 ^{bcd}	0.06 ^j
4	29.0 ^{ab}	4.05 ^{a**}	87 ^{abc}	11.85 ^{a**}	7	2.08 ^{abc}	12.4 ^{abc}	5.28 ^{abc}	6.15 ^{bcd}	0.51 ^{abcde}
5	6.5 ^{cd}	0.77 ^{ef}	20 ^{ef}	1.75 ^{efg}	7	0.48 ^{de}	2.85 ^{ef}	1.0 ^{ef}	4.15 ^d	0.10 ^{hi}
6	19.0 ^{abcd}	2.02 ^{bcd}	58 ^{bcd}	4.05 ^{bcd}	7	1.37 ^{abcde}	8.15 ^{bcd}	4.35 ^{abcd}	9.45 ^{abc}	0.43 ^{def}
7	11.5 ^{bcd}	1.35 ^{cdef}	35 ^{def}	3.15 ^{cdefg}	7	0.83 ^{bcde}	4.9 ^{def}	2.7 ^{cdef}	8.70 ^{abc}	0.26 ^{fgh}
8	16.5 ^{abcd}	1.83 ^{bcd}	49 ^{cdef}	4.15 ^{bcd}	7	1.17 ^{abcde}	6.95 ^{cde}	3.65 ^{bcd}	8.80 ^{abc}	0.36 ^{efg}
9	22.8 ^{abc}	2.23 ^{bcd}	69 ^{abcd}	4.70 ^{bcd}	14	1.65 ^{abcd}	9.8 ^{abcd}	4.78 ^{abcd}	9.0 ^{abc}	0.47 ^{bcd}
10	33.3 ^a	3.25 ^{ab}	100 ^a	6.55 ^b	14	2.40 ^a	14.35 ^a	6.58 ^{ab}	8.68 ^{abc}	0.65 ^{ab}
11	34.7 ^{a**}	2.97 ^{ab}	100 ^{a**}	6.15 ^{bc}	14	2.47 ^{a**}	14.85 ^{a**}	6.90 ^a	9.63 ^{ab}	0.68 ^{a**}
12	29.5 ^{ab}	2.77 ^{abcd}	88 ^{abc}	5.55 ^{bcd}	14	2.10 ^{abc}	12.65 ^{ab}	6.28 ^{ab}	9.55 ^{ab}	0.61 ^{abcd}
13	26.7 ^{ab}	2.35 ^{bcd}	80 ^{abc}	5.15 ^{bcd}	14	1.92 ^{abc}	11.45 ^{abc}	6.30 ^{ab}	11.13 ^a	0.62 ^{abc}
14	33.2 ^a	2.93 ^{abc}	99 ^{ab}	6.05 ^{bc}	14	2.35 ^a	14.1 ^a	5.80 ^{abc}	9.55 ^{ab}	0.66 ^a
15	31.2 ^{ab}	3.08 ^{ab}	94 ^{ab}	5.90 ^{bc}	14	2.23 ^{ab}	13.35 ^{ab}	7.35 ^{a**}	8.70 ^{abc}	0.61 ^{abcd}
16	30.3 ^{ab}	2.83 ^{abc}	91 ^{ab}	5.90 ^{bc}	14	2.13 ^{abc}	12.9 ^{ab}	6.0 ^{ab}	8.78 ^{abc}	0.58 ^{abcd}
17	31.8 ^a	2.70 ^{abcd}	96 ^{ab}	5.95 ^{bc}	14	2.27 ^a	13.6 ^{ab}	6.5 ^{ab}	9.70 ^{ab}	0.63 ^{abc}
18	30.7 ^{ab}	2.88 ^{abc}	93 ^{ab}	6.25 ^{bc}	14	2.22 ^{abc}	13.15 ^{ab}	6.3 ^{ab}	8.95 ^{abc}	0.61 ^{abcd}
19	28.7 ^{ab}	2.67 ^{abcd}	86 ^{abc}	5.60 ^{bcd}	14	2.03 ^{abc}	12.2 ^{abc}	4.80 ^{abcd}	7.30 ^{abcd}	0.46 ^{cde}
20	11.5 ^{bcd}	1.23 ^{def}	34 ^{cdef}	2.55 ^{defg}	7	0.82 ^{cde}	4.9 ^{def}	2.10 ^{def}	7.53 ^{abcd}	0.21 ^{ghi}
21	30.2 ^{ab}	2.98 ^{ab}	91 ^{abc}	6.40 ^{bc}	14	2.15 ^{abc}	12.95 ^{ab}	6.53 ^{ab}	9.25 ^{abc}	0.64 ^{ab}

AC, Agua Caliente; Germinación diaria (GD; %); Velocidad de germinación (VeG; plántulas d⁻¹); Germinación total (GT; %); Tasa de germinación diaria máxima (TGDM; Plántulas d⁻¹); Periodo de energía (PE); Energía germinativa (EG1; plántulas d⁻¹); Índice de velocidad de germinación (IVG; plántulas d⁻¹); Tiempo medio de germinación (TMG); Coeficiente de velocidad de germinación (CVG); Velocidad de germinación total (VGT). ** Literales diferentes dentro de columna indican diferencia significativa ($P<0.01$). Los tres mejores valores (columna) por variable de respuesta se muestran en cuadro obscuro. *Ver Cuadro 1 para asignación de tratamientos.

Romper la testa de semilla (T₄) incrementó la germinación en esta variable; por lo tanto, muestra los valores máximos potenciales a alcanzar con otros métodos prácticos de escarificación. Para PE, los valores variaron en los diferentes tratamientos; sin embargo, esto indica que los tratamientos que alcanzaron la máxima tasa de germinación a 7 días después de siembra (dds), son una opción para evaluar el vigor y el potencial de establecimiento en campo que se puede obtener a pocos dds. Para EG1, los mayores promedios se encontraron en T₁₁; por el contrario, los menores promedios fueron para T₁ y T₃ ($P<0.01$; cuadro 2). Esta variable es un indicador de la velocidad de germinación y vigor de semilla; por lo tanto, temperaturas de 70 a 90 °C con shock térmico incrementan la germinación de semilla. Para IVG, se observaron diferencias significativas ($P<0.01$; cuadro 2), T₁₁ presentó los mayores valores siendo T₁ y T₃ donde se encontraron aquellos menores de hasta 14 veces. Para TMG, se obtuvieron los mayores promedios para T₁₅ y, los menores valores, para T₁, con hasta 21 veces ($P<0.01$; cuadro 2). Para CVG, se

obtuvieron diferencias ($P<0.01$; cuadro 2), los mayores valores fueron para T_2 y los menores para T_5 , hasta 2.7 veces. La aplicación de agua caliente de 70 a 90 °C con shock térmico, incrementa los promedios en esta variable. Para VGT, los mayores promedios se obtuvieron en T_{11} , por el contrario, los menores valores fueron para T_1 , de hasta 21 veces ($P<0.01$; cuadro 2).

Conclusiones

Un refinamiento de la germinación hacia el alcance del total de la viabilidad se logró con el contraste térmico.

La semilla de *Leucaena* presentó hasta 93% de latencia y su tipo de latencia es física; lo anterior, por testa demasiado dura que impide el intercambio de humedad y gases al interior, protegiendo de una forma adecuada el embrión de la semilla.

Con el uso de agua caliente a 70 °C, con shock térmico, se logró que 100% de las semillas viables germinaran.

El uso de agua caliente de 70 a 90 °C (tres minutos), con shock térmico, fue la mejor opción para incrementar la germinación en *Leucaena*.

Romper manualmente la testa de semilla de *Leucaena* incrementa la velocidad de germinación y manifiesta el vigor de semilla, por lo tanto, el potencial máximo a alcanzar; sin embargo, este método es impráctico para grandes cantidades de semilla.

El agua caliente a 90 °C por 7 min con shock térmico incrementó la mortandad de semilla de *Leucaena*.

Referencias bibliográficas

Delouche, J. C.; T. Wayne; M. Raspet; M. Lienhard. 1971. Prueba de viabilidad de semillas con tetrazol. CRAT, AID. Buenos Aires, Argentina. p.256.

ISTA (International Seed Testing Association). (2005). International Rules for Seed Testing. Zurich, Switz. 243p.

Maguire JD. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for Seedling Emergences and Vigor. Crop Science 2: 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>

SAS (Statistical Analysis System). 2010. User's Guide: statistics. Version 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline. USA.

SEMAN (Sistema Estatal de Monitoreo Agroclimático Nayarit). 2007. Estación Meteorológica: El Verdineño-INIFAP. Santiago Ixcuintla, Nayarit.

GERMINACIÓN DE SEMILLA DE *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, APLICANDO ESCARIFICACIÓN Y CONTRASTE TÉRMICO

Raúl Plascencia-Jiménez^{1*}, Adrián Raymundo Quero-Carrillo¹, Salvador Carranza-González¹, Leonor Miranda-Jiménez¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: raulplascencia83@hotmail.com

Palabras clave. Germinación diaria acumulada, tasa de germinación diaria, valor germinativo.

Introducción

El guaje, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, árbol nativo y de usos múltiples que presenta ventajas importantes y usos diversos: rápido crecimiento, fijación de N, forraje, abono; madera para leña, postes o espaldera en hortalizas, conservación del suelo, usos en sistemas agroforestales y silvopastoriles (plantación en callejones, bancos de proteína, cercas vivas, árboles dispersos), reducción de GEI por rumiantes, etc. Se realizan esfuerzos para la rehabilitación de tierras y producción de biomasa con esta especie. Se le considera maleza en países donde se ha introducido. Estos usos y beneficios combinados con abundante producción de semilla con fuerte latencia y, a pesar de amplios avances para eliminar latencia, aún requiere manipulación en pro de su establecimiento asertivo en campo. Existen diferentes métodos para eliminar latencia en *Leucaena*. Además, diversas variables miden la eficiencia de su germinación; por tanto, para determinar, con mayor precisión el método de escarificación adecuado, se deben evaluar estas. La energía germinativa, puede evaluar la velocidad de germinación y vigor de semilla; así mismo, la velocidad de germinación de plántulas resultantes. El interés de evaluar eficiencia germinativa se basa en que solo las semillas que germinan con rapidez (mayor vigor) tendrán la capacidad de generar plántulas resilientes y capaces de permear en ambientes desafiantes.

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue evaluar tratamientos pregerminativos para romper latencia en semilla de *Leucaena*, sobre variables que influyen diversos atributos inherentes a la germinación.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Semilla del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México: 19° 27' N y 98° 54' O, a 2220 msnm. Se colectó semilla de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, manualmente, en febrero del 2023 en el Sitio Experimental "El Verdineño" del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Santiago Ixcuintla, Nayarit, a 40 msnm, con clima tropical subhúmedo (Aw₂), precipitación media de 1201 mm y temperatura media anual de 24° C. La época de estiaje fluctúa de siete a ocho meses al año (SEMAN, 2007). Se recolectaron al azar vainas maduras (coloración café oscuro); las cuales se depositaron en recipiente plástico para colectar semillas de forma natural. Posteriormente, se eliminaron hojas y ramas y la semilla se depositó en bolsas de tela a temperatura ambiente, para su posterior análisis. La semilla se almacenó en San Pedro Lagunillas, Nayarit (entre 21°13'54"-21°11'06"N y 104°50'24"-104°39'59"O) a 1283 msnm, durante 14 meses. Antes de realizar las pruebas, las semillas se desinfectaron en cloro al 10%, durante un minuto y se enjuagaron en agua destilada durante tres minutos. Se evaluó la calidad fisiológica mediante la determinación de la viabilidad de la semilla (VT) y una prueba de germinación (GE). Para determinar la VT, se evaluaron cuatro repeticiones de 100 semillas. Se colocó semilla en osmoacondicionamiento en agua destilada por 18 h a temperatura ambiente; posteriormente, se removió la testa de esta y se desechó uno de los cotiledones, conservando aquel con el embrión adherido. Este último se colocó en un vaso de precipitados con una solución de cloruro-2-3, 5-trifenil tetrazolio (1% p/v; Delouche *et al.* 1971); lo anterior, de tal forma que la semilla se cubriera por completo con la solución. Los vasos de precipitados conteniendo semilla y solución, se colocaron en una estufa a 25 °C, en oscuridad, por 18 h; posteriormente, la semilla se enjuagó con agua destilada y se depositó en cajas Petri con agua destilada, para evitar deshidratación y realizar rápidamente la evaluación de tinción de semilla y clasificarlas en viables y no viables. Las observaciones se realizaron en estructuras del embrión y cotiledón con apoyo

de microscopio estereoscópico. Para la GE, se evaluaron cuatro repeticiones de 100 semillas seleccionadas al azar, las pruebas se establecieron utilizando el método “sobre papel” (ISTA, 2005), las semillas se colocaron en cajas petri usando como sustrato papel toalla tipo “sanitas”. El sustrato de germinación fue humedecido inicialmente con agua destilada y durante el ensayo se mantuvieron constantes los niveles de agua. Las pruebas se realizaron en una cámara germinadora, de ambiente controlado, con temperatura constante de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Se efectuaron tres conteos de plántula germinada: a los 7 (G7), 14 (G14) y germinación acumulada, a los 21 días después de la siembra (dds) (G21). Se registraron plántulas normales (PN), anormales (PA21), semillas duras (SD21), semillas frescas (SF21) y semillas muertas (SM21). Se consideraron plántulas normales, a aquellas que presentaron raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y libres de malformaciones. Las variables evaluadas incluyeron: germinación diaria acumulada (GDA; %), determinada como la sumatoria del porcentaje de germinación diario, al día de conteo; tasa de germinación diaria máxima (TGDM), momento en que los tratamientos alcanzaron su máxima tasa de germinación diaria; tasa de germinación diaria (TGD; semillas d^{-1}), la división de la GDA entre los DDS en que se realizó el muestreo; tasa de germinación media diaria final (TGMDF; semillas d^{-1}), la TGD calculada a 26 DDS; período de energía (PE; días), cantidad de días requeridos para alcanzar la TGDM; energía germinativa (EG; %), se estima de manera indirecta en la GDA al momento en que la mayoría de los tratamientos alcanzaron su PE (Sánchez *et al.*, 2018), el día 14 después de iniciado el estudio; valor germinativo (VG), se obtuvo con la ecuación $\text{VG} = \text{TGMDF} \times \text{EG}$; eficiencia germinativa (EF), la multiplicación de $\text{TGMDF} \times \text{TGMDF}$; poder germinativo (PG), la multiplicación de $\text{TGD} \times \text{TGMDF}$. La escarificación evaluada (21 Tratamientos; cuadro 1) incluyó métodos manuales y tiempos en agua caliente (AC), con o sin contraste (shock) térmico por inmersión inmediata en agua fría a 5°C , por 5'' (cuadro 1). Se utilizó un diseño completamente al azar, con 21 tratamientos y cuatro repeticiones de 100 semillas, se empleó el procedimiento GLM y prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias; previamente, los datos se transformaron en arco seno mediante el paquete estadístico SAS (2010).

Cuadro 1. Tratamientos de escarificación evaluados en semilla de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.

Método de escarificación	Tiempo de inmersión	Contraste térmico*	Tratamiento
Sin escarificación	Testigo natural	No	TNSE; (T ₁)
Agua 80°C	Un minuto	No	T80°C; (T ₂)
Agua fría 5°C	Sin agua caliente	No	T5°C; (T ₃)
Manual con pinzas	Sin agua caliente	No	Pinzas; (T ₄)
Agua 60°C	1, 3, 5 y 7 minutos	Si	60°C, (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C; (T ₅ -T ₈)
Agua a 70°C	1, 3, 5, 7 minutos	Si	70°C, (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C; (T ₉ -T ₁₂)
Agua a 80°C	1, 3, 5 7 minutos	Si	80°C, (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C; (T ₁₃ -T ₁₆)
Agua a 90°C	1, 3, 5 y 7 minutos	Si	90°C, (1', 3', 5', 7') + 5'', 5°C; (T ₁₇ -T ₂₀)
Agua a 100°C	1 minuto	Si	100°C, 1' + 5'', 5°C; (T ₂₁)

*Inmersión por 5 segundos en agua a 5°C . T₁, T₂, T₃, ...T₂₁, tratamiento de escarificación correspondiente.

Resultados y Discusión

Para VT, se obtuvo 77%. Todos los porcentajes de germinación reportados, para las variables evaluadas, se ajustaron a este resultado de viabilidad. Para GDA, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$; cuadro 2), siendo T₄ y respecto a los demás tratamientos, hasta 13.6 veces mayor; sin embargo, el uso de agua caliente de 70 a 90°C con shock térmico incrementó los promedios de GDA. Romper la testa de la semilla es la meta alcanzar con otros métodos de escarificación. Para TGDM, los mayores valores fueron para T₄ ($P < 0.01$; cuadro 2) hasta 15.8 veces mayor, comparado con los demás tratamientos. Para TGD, se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.01$; cuadro 2) y T₄ fue hasta 13.5 veces mayor respecto a los demás tratamientos. Para TGMDF, los mayores valores fueron para T₁₁ ($P < 0.01$ cuadro 2) hasta 14.1 veces mayor que los demás tratamientos. Para EG, se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.01$; cuadro 2) T₁₀ fue 13.1 veces mayor respecto a los demás tratamientos. Con T₁₀ se alcanzó hasta 92% de las semillas germinables a 14 dds. Sánchez *et al.*, (2018) evaluaron diferentes tratamientos para escarificar semilla de *Leucaena* e indican 10.3% para EG en el tratamiento de agua caliente a 80°C por 3 min; resultado 5.3 veces menor a los del presente estudio con agua caliente a 80°C por 1 min (T₁₃). Para VG, se encontraron

diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.01$; Cuadro 2), los mayores promedios fueron para T_{10} y, los menores para el testigo, promedio 175.7 veces mayor. Por su parte, Sánchez *et al.*, indicaron valores que variaron de 4 a 8.9, muy inferiores a los encontrados en el presente estudio. Para EF, los mayores valores fueron para T_4 ($P < 0.01$; cuadro 2) hasta 164 veces mayor. Para PG, se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.01$; cuadro 2) siendo en T_4 donde se encontraron los mayores valores, 195.4 veces mayor.

Cuadro 2. Variables evaluadas en semilla de *Leucaena* con shock térmico.

Tto	GDA	TGDM	TGD	TGMDF	EG	VG	EF	PG
1	6.3 ⁱ	0.75 ^g	0.55 ⁱ	0.35 ^b	7 ^b	2.5 ^u	0.3 ^t	0.13 ⁱ
2	55.5 ^{bcde}	4.25 ^{bcdef}	3.8 ^{cdefg}	4.25 ^{ab}	55 ^{ab}	231.6 ^m	18.1 ^l	17.5 ^{cde}
3	8.3 ^{hi}	1.10 ^{fg}	0.72 ⁱ	0.45 ^b	8 ^b	3.6 ^t	0.5 ^s	0.28 ⁱ
4	85.7 ^{a**}	11.85 ^{a**}	7.42 ^{a**}	4.15 ^{ab}	87 ^{ab}	361.1 ^h	49.2 ^{a**}	25.4 ^{a**}
5	17.2 ^{ghi}	1.75 ^{efg}	1.37 ^{hi}	0.95 ^b	20 ^b	18.5 ^s	1.7 ^r	0.93 ⁱ
6	47.0 ^{def}	4.05 ^{bcdef}	3.55 ^{defg}	2.7 ^{ab}	55 ^{ab}	148.5 ^o	10.9 ⁿ	10.5 ^{fg}
7	30.3 ^{fg}	3.15 ^{cdefg}	2.42 ^{fgh}	1.6 ^{ab}	35 ^b	55.2 ^q	5.0 ^p	3.83 ^{hi}
8	41.7 ^{ef}	4.15 ^{bcdef}	3.28 ^{efg}	2.3 ^{ab}	47 ^b	108.1 ^p	9.5 ^o	8.34 ^{gh}
9	53.3 ^{cde}	4.70 ^{bcde}	3.87 ^{cdef}	3.25 ^{ab}	66 ^{ab}	212.9 ⁿ	15.3 ^m	13.3 ^{efg}
10	76.7 ^{ab}	6.55 ^b	5.62 ^b	4.8 ^a	92 ^{a**}	439.2 ^{a**}	31.4 ^b	24.83 ^{ab}
11	72.5 ^{abc}	6.15 ^{bc}	5.0 ^{bcd}	4.95 ^{a**}	87 ^{ab}	428.2 ^b	30.4 ^c	24.13 ^{ab}
12	65.5 ^{abcd}	5.55 ^{bcd}	4.72 ^{bcde}	4.2 ^{ab}	78 ^{ab}	327.6 ^j	23.3 ⁱ	19.58 ^{bcd}
13	57.5 ^{bcde}	5.15 ^{bcd}	4.0 ^{bcdef}	3.8 ^{ab}	72 ^{ab}	271.7 ^l	19.6 ^k	17.37 ^{cde}
14	70.8 ^{abc}	6.05 ^{bc}	4.97 ^{bcd}	4.7 ^a	85 ^{ab}	397.2 ^c	28.4 ^d	21.51 ^{abc}
15	71.7 ^{abc}	5.90 ^{bc}	5.32 ^{bc}	4.45 ^a	83 ^{ab}	367.1 ^g	26.3 ^g	22.18 ^{abc}
16	68.3 ^{abcd}	5.90 ^{bc}	4.88 ^{bcde}	4.3 ^{ab}	83 ^{ab}	356.9 ⁱ	25.4 ^h	20.7 ^{abc}
17	67.2 ^{abcd}	5.95 ^{bc}	4.58 ^{bcde}	4.55 ^a	84 ^{ab}	379.9 ^f	27.1 ^f	21.79 ^{abc}
18	70.2 ^{abc}	6.25 ^{bc}	5.0 ^{bcd}	4.4 ^a	88 ^{ab}	385.0 ^e	27.5 ^e	21.0 ^{abc}
19	64.3 ^{abcd}	5.60 ^{bcd}	4.6 ^{bcde}	4.1 ^{ab}	79 ^{ab}	321.9 ^k	23.0 ^j	14.78 ^{def}
20	28.0 ^{fgh}	2.55 ^{defg}	2.15 ^{ghi}	1.6 ^{ab}	33 ^b	52.0 ^r	4.1 ^q	2.84 ^{hi}
21	71.8 ^{abc}	6.40 ^{bc}	5.22 ^{bcd}	4.3 ^{ab}	90 ^{ab}	387.0 ^d	27.5 ^e	22.68 ^{abc}

AC, Agua Caliente; Germinación diaria acumulada (GDA; %); Tasa de germinación diaria máxima (TGDM; plántulas d⁻¹); Tasa de germinación diaria (TGD, plántulas d⁻¹); Tasa de germinación media diaria final (TGMDF; plántulas d⁻¹); Energía germinativa (EG; %); Valor germinativo (VG); Eficiencia germinativa (EF); Poder germinativo (PG). ** Letras diferentes dentro de columna indican diferencia significativa ($P < 0.01$).

Conclusiones

Romper la testa de la semilla de *Leucaena* incrementa los promedios de las diferentes variables en estudio, manifestando el potencial genético; este es el potencial alcanzar por otros diferentes tratamientos; sin embargo, este método es impráctico para grandes cantidades de semilla.

El uso de agua caliente de 90 °C por 7 min con shock térmico disminuye los valores de las diferentes variables evaluados, lo que contribuye a la muerte de los embriones de la semilla.

El uso de agua caliente de 60 °C con shock térmico no alcanza a reblandecer la testa de la semilla de *Leucaena*.

El agua caliente de 70 °C con 3 y 5 min con shock térmico incrementa los promedios de TGMDF, EG y VG.

Referencias bibliográficas

- Delouche, J. C.; T. Wayne; M. Raspet; M. Lienhard. 1971. Prueba de viabilidad de semillas con tetrazol. CRAT, AID. Buenos Aires, Argentina. p.256.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2005). International Rules for Seed Testing. Zurich, Switz. 243p.
- Sánchez, G. A., Ponce, A. R., Vargas, J. M., Rosales, R. F., Platas, D. E., & Becerril, C. M. 2018. Energía germinativa en guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia*, 52, 863-874.
- SAS (Statistical Analysis System). 2010. User's Guide: statistics. Version 9.4. SAS Institute Inc. Cary, North Caroline. USA.
- SEMAN (Sistema Estatal de Monitoreo Agroclimático Nayarit). 2007. Estación Meteorológica: El Verdineño-INIFAP. Santiago Ixcuintla, Nayarit.

ANTAGONISMO *IN VITRO* DE *Trichoderma* spp. CONTRA *Rhizoctonia solani* ASOCIADO A LA MARCHITEZ DE CHILE

Alma Leticia Salas-Gómez¹, Moisés Ramírez-Meraz¹, Cesar Alejandro Espinoza-Ahumada^{2,3}, Reyna Ivonne Torres-Acosta^{3*}

¹INIFAP, CE Las Huastecas. ²Tecnológico Nacional de México Instituto Tecnológico Superior de El Mante.

³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Académica Multidisciplinaria Mante,

*Autor para correspondencia: ritorres@docentes.uat.edu.mx

Palabras clave. *Capsicum annuum*, microorganismos benéficos, enfermedades fitopatógenas.

Introducción

El género *Capsicum* comprende más de 40 especies de chile, que presentan diferentes formas, tamaños, color y composición química, se consumen en fresco, secos, encurtidos y en salsa (Vázquez-Espinoza *et al.*, 2023). En México se siembran alrededor de 100 variedades de chile (*Capsicum annuum* L.), ya que se considera un cultivo altamente redituable y representa una actividad económica de importancia nacional (Andrade-Hoyos *et al.*, 2019), además a México se le considera como centro de origen de algunas especies, identificándose una gran diversidad de tipos que se encuentran ampliamente distribuidos en todo el territorio nacional. El interés por este cultivo se debe a su importancia económica y consumo humano; se ha demostrado que es una fuente excelente de colorantes naturales, minerales y vitaminas A, C y E. Además, es utilizado en la elaboración de productos farmacéuticos hechos a base de extracto de chile para aliviar dolores musculares y en la elaboración de gases lacrimógenos, pinturas, barnices, entre otros (De la Cruz Ricárdez, 2020). Como todos los cultivos, el chile es susceptible de presentar daño por enfermedades bióticas y no bióticas, en cualquier etapa de su desarrollo, aunque no todas las enfermedades se presentan en las diferentes regiones en donde se cultiva chile, éstas reducen la producción y calidad del fruto (Chew-Medinaveitia *et al.*, 2008). Las principales enfermedades del cultivo del chile encontradas en el centro y norte de México son: pudrición de raíz, marchitez del chile por hongos, nemátodos, ahogamiento de los almácigos, mancha foliar, cenicilla polvorienta, mancha bacteriana y algunas enfermedades provocadas por virus y fitoplasmas (Velásquez-Valle *et al.*, 2013). La enfermedad del marchitamiento, causada por *Rhizoctonia solani*, es responsable de las pérdidas de rendimiento del cultivo de chile, por lo general este patógeno lo controlan con pesticidas químicos, generando contaminación ambiental y resistencia al ingrediente activo debido a su uso continuo (Huang *et al.*, 2017). La agricultura orgánica se caracteriza por la utilización de técnicas que evitan el uso de fertilizantes y plaguicidas sintéticos. El uso de *Trichoderma* se traduce en una disminución de las pérdidas para el agricultor, ya que es uno de los métodos más eficiente para el control de enfermedades fungosas (Cruzat y Lonannidis, 2010). *Trichoderma* spp., es un hongo cosmopolita cuya importancia radica en su capacidad de adaptación, utilizado como agente de biocontrol contra hongos fitopatógenos debido a sus múltiples mecanismos de acción, destacando la antibiosis, el mico parasitismo, la competencia por espacio y nutrientes, y la producción de metabolitos secundarios (Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

Objetivo

Seleccionar cepas nativas de *Trichoderma* spp., para el control de *Rhizoctonia solani* asociada al cultivo de chile (*Capsicum annuum*) en el sur de Tamaulipas.

Materiales y Métodos

Muestreo

La colecta de suelo se realizó en diferentes municipios del estado de Tamaulipas, utilizando la técnica de cinco oros se tomaron las muestras de suelo en el área de cultivo de los lugares mencionados. Las muestras de suelo fueron colectadas en bolsas plásticas etiquetadas con nombre del lugar, el cultivo y la fecha, posteriormente se trasladó en bolsas plásticas al laboratorio de biotecnología de la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante (UAMM) de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Aislamiento de microorganismos

Para realizar el aislamiento de los microorganismos, a partir de muestra de suelo, se utilizó la técnica de diluciones seriadas, estas consistieron en tomar 100 µL de la dilución -4 y -5, colocarlas en cajas Petri con medio de cultivo PDA, cada dilución se distribuyó en la caja con una varilla, se sellaron las cajas y se colocaron en la incubadora. Se realizaron observaciones diariamente hasta que se presentó crecimiento de hongo con características de *Trichoderma*, se realizó la purificación por la técnica de punta de hifa en cajas Petri con el mismo medio de cultivo.

Confrontación de microorganismos

Para el experimento de confrontación con *Trichoderma* spp. se utilizó *Rhizoctonia solani*, aislado de cultivo de chile proporcionado del cepario del INIFAP-CEHUAS, de siete días de crecimiento en PDA. Para la confrontación de los microorganismos se colocó un disco de micelio del patógeno y del antagonista de 5 mm de diámetro a una distancia de 20 mm de la orilla de la caja y a 40 mm de distancia entre ellos, se sellaron y se colocaron en cámara de incubación a una temperatura de 24 °C ± 2. Las observaciones y mediciones se hicieron diariamente y se terminó de evaluar hasta que el testigo del patógeno llenó la caja, después se calculó el porcentaje de inhibición del antagonista sobre el patógeno, se utilizó la fórmula propuesta por Salazar et al. (2012).

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{\text{Diámetro del patógeno} - \text{Diámetro del antagonista creciendo con el patógeno}}{\text{Diámetro del patógeno}} \times 100$$

Parasitismo de *Trichoderma* spp. sobre los patógenos

Se determinó cualitativamente el parasitismo de *Trichoderma* spp. sobre los patógenos, esto se evaluó y se categorizó en cinco clases de antagonismo, acorde con la escala cualitativa desarrollada por Bell, et al. 1982, la cual establece cinco clases:

Clase 1. *Trichoderma* sobrecrece completamente al patógeno y cubre totalmente la superficie.

Clase 2. *Trichoderma* sobrecrece las dos terceras partes de la superficie del medio.

Clase 3. *Trichoderma* y el patógeno colonizan cada uno aproximadamente la mitad de la superficie y ningún organismo parece dominar al otro.

Clase 4. El patógeno coloniza las dos terceras partes de la superficie del medio y parece resistir a la invasión de *Trichoderma*.

Clase 5. El patógeno sobrecrece completamente a *Trichoderma* y ocupa toda la superficie del medio.

El experimento se estableció bajo un diseño completo al azar con cuatro repeticiones por tratamiento y un testigo comercial.

Se realizaron pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianzas, cuando los supuestos fueron aceptados, se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias LSD (diferencia mínima significativa) a un nivel de confianza del 95 % utilizando el programa estadístico rStudio.

Resultados y Discusión

De las muestras de suelo colectadas en diferentes localidades de Tamaulipas, se aislaron cinco cepas de *Trichoderma* spp., las cuales solamente se identificaron a nivel género, pero se clasificaron de acuerdo con el lugar de aislamiento

Cepa 1: Victoria, Cepa 2: Llera, Cepa 3: Comercial, Cepa 4: Mante, Cepa 5: Padilla y Cepa 5: Xicoténcatl, todos municipios de Tamaulipas.

Inhibición de *Rhizoctonia solani* con cepas de *Trichoderma* spp.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la prueba no paramétrica de bondad y ajuste llamada Shapiro-Wilks indican que la distribución de los datos es normal, por lo tanto, cumplen con la normalidad (W=0.96419. p-value=0.5282). Los valores obtenidos de la prueba de Levane indican que las varianzas presentan una homogeneidad entre las varianzas (F=0.496, df=5.18, p=0.7751).

La prueba de LSD confirma que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos, donde la cepa aislada del municipio de Mante fue la que presentó mayor porcentaje de inhibición contra *Rhizoctonia solani* (62.08 %), seguido por las cepas aisladas de Padilla (60.41 %), Llera (60.00 %), Xicoténcatl (58.33 %) y Victoria (56.66 %), la cepa que presentó el menor porcentaje de inhibición fue la cepa comercial (56.25 %). Pérez-González et al. (2023) realizaron una evaluación in vitro del antagonismo de cuatro cepas de *Trichoderma* sobre *R. solani* donde los resultados obtenidos fueron superiores al 57 %, estos valores son similares a los obtenidos en esta investigación.

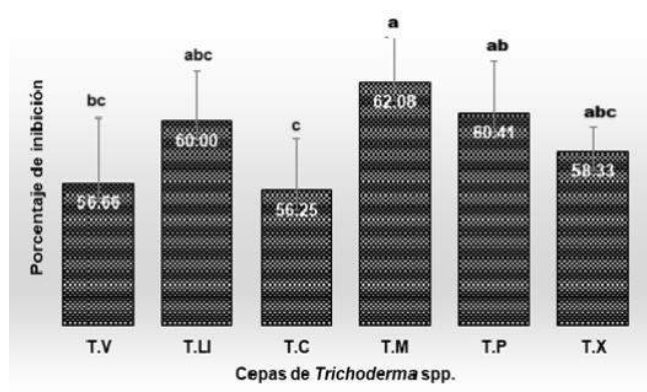


Figura 1. Porcentaje de inhibición del crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani*, con *Trichoderma* spp.

El grado de parasitismo (figura 2) se determinó mediante la escala de Bell *et al.* (1982), donde la mayoría de los tratamientos se ubicó en clase 2, excepto T.M que se ubicó en clase 1 y T.C en clase 3 ya que después de hacer contacto los hongos, el *Trichoderma* sobrecreció las dos terceras partes cubriendo casi en su totalidad a *R. solani*. En todos los tratamientos se observó la formación de halos de antibiosis, esto por lo general se debe a la presencia de sustancias antibióticas producidas por el hongo en respuesta al estímulo del antagonismo que tiene con el fitopatógeno (Solorzano *et al.*, 2021).

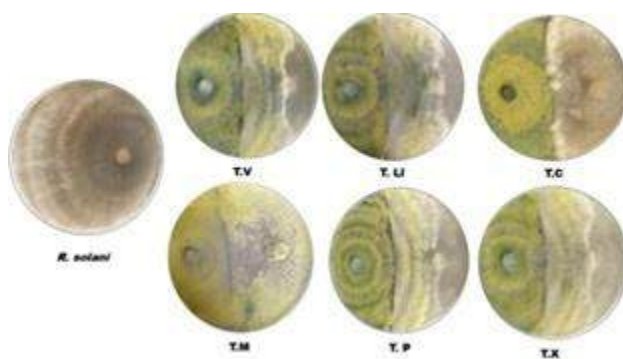


Figura 2. Grado de parasitismo de *Trichoderma* spp. sobre *R. solani*.

Conclusión

Este estudio demostró la eficacia de las 6 cepas evaluadas, destacando la cepa aislada de El Mante que mostró un efecto inhibitorio significativo sobre *R. solani*, lo que sugiere su potencial como agente de control biológico para el manejo de este patógeno en cultivo de chile.

Agradecimientos

A la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, al INIFAP Campo Experimental Las Huastecas y al Instituto Tecnológico Superior de El Mante, por los recursos y materiales proporcionados para la realización de la investigación.

Referencias bibliográficas

- Bell, D.K., Wells, H.D., Markham, C.R. (1982). *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens. *Phytopathology* Vol 72(4): 379-382.
- Pérez-González, J. O., Ramírez-Rojas, S. G., Rocha-Rodríguez, R., Ornelas-Ocampo, K., Vázquez-Alvarado, J. M. P., Hernández-Guzmán, F. J., & Garduño-Audelo, M. (2023). *In vitro* antagonism of *Trichoderma* against *Rhizoctonia solani*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 41(3), 514-523.

DIVERSIDAD DE FORMAS DE FRUTO DE CHILE JALAPEÑO PROCEDENTE DEL SUR DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

Felipe Santamaría-Basulto^{1*}, Carolina Isabel Basto-Pool¹, José Ángel García-Sandoval², Rubén Darío Góngora-Pérez².

¹INIFAP, CE Mocochoá. ²INIFAP, CE Chetumal

*Autor para correspondencia: santamaría.felipe@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Capsicum annuum*, variedades, calidad de fruto.

Introducción

La mayor parte de la producción de jalapeño en Quintana Roo se ha realizado con el cultivar criollo regional, éste presenta una alta mezcla de los subtipos provenientes de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, contiene diversidad de hábitos de crecimiento, altura de planta, mayor o menor precocidad a primera cosecha, tamaño, forma y color de frutos (García y Nava, 2009).

Los productores de chile jalapeño del sur de Quintana Roo cultivan a pequeña escala, el rango del tamaño de la parcela va desde 0.5 ha hasta 4.0 ha, con producción de fruto de tamaño chico y mediano. La producción de frutos de tamaño grande y extragrande no tendría dificultades para su comercialización, los comercializadores pueden desplazar frutos de mayor tamaño (Santamaría y Góngora, 2023) lo que estaría acompañado de mejor precio.

En los intentos de mejorar la producción, en esta zona se han establecido variedades comerciales como Kohunlich, Don Benito y Don Pancho (García y Nava, 2009) e híbridos de alto potencial como Dante, Orizaba y Mixteco (García y Góngora, 2024) con diferente forma y mayor tamaño de fruto. Es muy posible la combinación de los caracteres de estos materiales con genotipo criollo en algún grado.

En 2019 se colectaron frutos de 5 parcelas del Municipio de Othón P. Blanco. Se encontraron 9 formas de fruto: triangular corto con ápice romo, triangular con ápice romo, triangular con ápice puntado, moderadamente triangular corto, cilíndrico, moderadamente triangular, forma de cuerno, triangular estrecho, curvado. El peso promedio fue desde 10.2 g en los frutos de tipo curvado a 22.2 g en los frutos moderadamente triangular corto. Los tipos curvado y triangular estrecho son de tamaño chico y los demás tipos son de tamaño mediano (Santamaría et al., 2021). Se seleccionaron frutos de las colectas con buenas características de forma y tamaño, se extrajo semilla y se evaluaron en 2020 para hacer una comparación de la descendencia. Dos colectas tuvieron descendencia con forma y tamaño de fruto similar, cuatro colectas tuvieron forma de fruto similar, pero de menor tamaño, una colecta produjo frutos de forma diferente y de menor tamaño, una colecta produjo frutos de diferentes formas y de menor tamaño. Esto mostró que el cambio de ambiente de temporal en cielo abierto a fertirriego en invernadero, no fue suficiente para mejorar la calidad del fruto del cultivar criollo (Santamaría et al., 2021).

En mayo de 2023 se hizo un recorrido por una parcela de chile jalapeño en la localidad de Río Verde establecida en el ciclo otoño-invierno 2022-2023, el interés en esta parcela fue que se encontraron frutos de mayor tamaño que los muestreos realizados en 2019 en parcelas establecidas en primavera-verano.

Objetivos

Evaluar la homogeneidad y caracterizar morfológicamente las accesiones de chile jalapeño colectadas en Quintana Roo.

Materiales y Métodos

Colecta. En mayo de 2023 se realizó una colecta de frutos en la localidad de Río Verde, Quintana Roo, las muestras de frutos se agruparon de acuerdo con su forma y tamaño, se obtuvieron 5 accesiones: RV01, RV02, RV03, RV04 y RV05.

Los frutos se dejaron madurar, posteriormente se extrajo la semilla, se lavó y se desinfectó con cloro comercial al 3 % durante 3 minutos y se enjuagó con agua destilada. Luego las semillas se colocaron en bolsas de malla y se dejaron secar hasta obtener un contenido de humedad del 10±2%, finalmente se envasaron en bolsas laminadas hasta el momento de la evaluación.

Homogenización. La accesión se considera homogénea cuando sea suficientemente uniforme en sus caracteres pertinentes. Para la homogenización en los caracteres del fruto, se partió de la semilla resguardada, estableció y luego de evaluaron los caracteres relativos al fruto de acuerdo con las directrices de la UPOV (2024), se obtuvo semilla de los frutos de las plantas que presentaron las mismas características.

La primera evaluación se realizó dentro del invernadero No.1 del Campo Experimental Mocochoá. De cada accesión se establecieron 23 plantas. La fecha de siembra en semillero fue el 2 de octubre de 2023, el trasplante se realizó el 25 de octubre de 2023, la evaluación de homogeneidad se realizó en febrero de 2024.

La segunda evaluación se realizó con semilla obtenida de frutos de las plantas de la primera evaluación, establecidas en octubre de 2023. La parcela se estableció el 16 de septiembre de 2024 en la casa sombra del Campo Experimental Mocochoá. Los frutos maduraron a partir de enero de 2025 y se obtuvo semilla para una siguiente evaluación.

Resultados y Discusión

Colecta. La agrupación de los frutos colectados dio origen a 5 accesiones de chile jalapeño que fueron introducidos al Banco de Germoplasma de Chiles del Campo Experimental Mocochoá: RV01, con forma de fruto triangular corto y ápice moderadamente agudo (longitud de 4.8 cm); RV02, con forma de fruto triangular bajo con sección transversal angular (longitud de 6.0 cm); RV03, con forma de fruto triangular medio con sección transversal angular y ápice moderadamente agudo (longitud de 7.3 cm); RV04, con forma de fruto triangular medio con sección transversal angular y moderadamente deprimida (longitud de 6.1 cm); RV05, forma de fruto triangular alargado con sección transversal circular y ápice moderadamente agudo (longitud de 8.1 cm).

Estos materiales son prometedores debido a que en el sur de Quintana Roo se producen frutos de tamaño chico y mediano y la preferencia por tamaño de fruto es hacia tamaño mediano y chico (Santamaría y Góngora, 2023), los frutos de estas accesiones son de tamaño chico (RV01), mediano (RV02, RV03, RV04) y grande (RV05).

Primera evaluación. En la primera descendencia se encontraron porcentajes muy bajos de plantas con frutos de forma similar a la forma de fruto de la colecta. Los porcentajes fueron del 4.3% en RV01, 8.7% en RV02, 8.7% en RV03, 18.7% en RV04 y 4.7% en RV05. Dentro de la población también se encontraron 10 plantas con frutos con características que pueden ser de interés por la forma y por el tamaño del fruto. La forma del fruto es triangular en todas las variantes, pero difieren en la relación largo/ancho y la forma del ápice, así tenemos plantas con frutos triangulares, pero con relación largo ancho baja media, media, media a alta y alta, con forma del ápice moderadamente aguda y redondeada.

Segunda evaluación. En la segunda descendencia los porcentajes de plantas con frutos de forma similar a la forma de fruto de la colecta fueron del 50.0% en RV01, 16.0% en RV02, 11.0% en RV03, 25.0% en RV04 y 88.0% en RV05. Con respecto a las plantas con frutos con características de interés, 5 de éstas produjeron descendencia con características similares, las cuales se continuarán evaluando.

En sólo 2 ciclos, la accesión RV05 presentó un alto porcentaje de uniformidad, por lo que es candidata a realizar los trabajos de rendimiento y caracterización morfológica completa, si los resultados son positivos, se podrá solicitar el registro como variedad. La accesión RV01 tiene un 50% de uniformidad por lo que es necesario continuar con su uniformización para lograr un alto porcentaje de homogeneidad. Respecto a las otras accesiones, se observó que son diferentes en forma, pero su homogeneidad es muy baja, es necesario continuar los ciclos de selección.

De las 10 plantas con características de interés, 5 de ellas mantuvieron sus características en su descendencia en diferente porcentaje, por lo que se incluirán en los siguientes trabajos

	COLECTA	1ª DESC	2ª DESC		1ª DESC	2ª DESC
RV01				F22p2		
RV02				F22p3		
RV03				F20p1		
RV04				F20p3		
RV05				F19p7		
Figura 1. Diferentes formas de fruto de chile jalapeño de 5 colectas y sus 2 descendencias				Figura 2. Diferentes formas de fruto de chile jalapeño de plantas seleccionadas y su descendencia		

Conclusiones

Se confirma la gran diversidad de formas de fruto de chile jalapeño en la zona sur de Quintana Roo. Dentro de esta variabilidad hay caracteres que posibilitan la selección y diferenciación de los materiales para el desarrollo de variedades criollas.

La accesión RV05, presentó un alto porcentaje de uniformidad, por lo que es candidata a continuar su homogenización para su registro como variedad criolla.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Esta publicación es producto del proyecto “Caracterización morfológica, de rendimiento y calidad de fruto de accesiones de *Capsicum annuum* del Banco de Germoplasma de Chiles del CE Mocochoá” número SIGI 1015336296 financiado con recursos fiscales

Referencias bibliográficas

García, S. J. A., & Góngora, P. R. D. (2024). Validación de la protección física de plagas en chile jalapeño bajo riego, uso de híbridos y siembras de otoño-invierno en Quintana Roo. En: H. D. Inurreta Aguirre, R. L. Rebolledo García, L. R. Muro (comp.) *XIV Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Aguascalientes*, pp. 413-415.

García, S. J. A., & Nava, P. R. J. (2009) *El chile jalapeño: su cultivo de temporal en Quintana Roo*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Sureste. Chetumal, Quintana Roo, México. Folleto Técnico No. 2.

Santamaría, B. F., & Góngora, P. R. D. (2023). Características de calidad de fruto de chile jalapeño que se solicitan a productores y comercializadores en el Sur de Quintana Roo, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 6(3), 2179-2190. DOI: 10.34188/bjaerv6n3-016

Santamaría, B. F., Ramírez, M. M., Góngora, P. R. D., García, S. J. A., & Tepal, Ch. J. A. (2021) Variedades comerciales para el incremento del rendimiento y calidad de fruto del sistema productivo de chile jalapeño en Quintana Roo, México. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(4), 6340-6351. DOI: 10.34188/bjaerv4n4-120

UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2024). TG/76/9. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Sweet pepper, hot pepper, paprika, chile. UPOV Code CAPSI_ANN *Capsicum annuum* L. 66 p.

DIVERSIDAD DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NATIVOS PROPAGADOS MEDIANTE CULTIVO TRAMPA EN SORGO, MAÍZ Y BRACHIARIA

Kenzy Iveth Peña-Carrillo¹, Aracely Mena-Echevarría¹, Carlos Miguel Ramos-Cruz¹, Reyna Patricia Hipólito-Piedras², Heriberto Méndez-Cortés²

¹INIFAP, CIRNE, CEGET. ²UASLP, Facultad de Agronomía y Veterinaria

*Autor para correspondencia: mena.aracely@inifap.gob.mx

Palabras clave. Consorcios de HMA, índices de diversidad, cultivos.

Introducción

El uso de los biofertilizantes ha alcanzado gran importancia debido al impacto positivo que tienen en los cultivos y en la restauración de los suelos agrícolas. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA), son algunos de los microorganismos más empleados en la elaboración de los biofertilizantes, ya que desempeñan un papel clave al regular los ciclos de nutrientes y del carbono, además de que establecen asociaciones simbióticas mutualistas con la mayoría de las plantas (Van der Heijden *et al.*, 2015). Aunque el estudio de la diversidad de especies de HMA en México es un tema de actualidad, que se enfoca principalmente a identificar especies de ecosistemas naturales (Chimal-Sánchez *et al.*, 2016; Álvarez-Lopezello *et al.*, 2018; Hipólito-Piedras *et al.*, 2024). Existen muy pocos estudios donde se identifiquen las especies de HMA presentes en suelos cultivados o perturbados por el manejo intensivo de los sistemas agrícolas, y como estas prácticas pueden ocasionar la pérdida de estos microorganismos benéficos (Mendoza-Churape *et al.*, 2021). Actualmente, han sido registradas cerca de 363 especies de HMA a nivel mundial (Wang y Liu, 2017), sin embargo, esta cifra puede ser mayor. De acuerdo con Chimal-Sánchez *et al.* (2021), en México en los últimos 10 años se registraron 17 especies nuevas de HMA reportadas en diferentes condiciones edáficas. Por otra parte, se ha reportado que los HMA responden de manera diferente ante diversos hospederos, debido a sus diferenciales funcionales (Šmilauer *et al.*, 2021; Mena-Echevarría *et al.*, 2024). Sin embargo, algunas especies han demostrado ser más efectivas que otras y su respuesta puede ser en función del tipo de suelo, la fertilidad y en menor medida a la planta que colonizan (Aguilera-Gómez *et al.*, 1999). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la diversidad de especies de HMA de un suelo cultivado con sorgo, y evaluar la propagación de estas especies de HMA en tres cultivos hospederos diferentes (cultivos trampa). Bajo la hipótesis que existen especies de HMA que reflejan gran especificidad con el cultivo hospedero que colonizan, incrementando la replicación de esporas.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló en un invernadero del Campo Experimental General perteneciente al INIFAP. El suelo estudiado se encuentra General Terán, N.L. ubicado en las coordenadas 25°15'54.3"N, 99°40'42.9"W, en donde se encontraba establecido el cultivo de sorgo. Se realizó el análisis de las características de las físicas y químicas del suelo (cuadro 1) en Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición, Fertilab. El consorcio de HMA presente en el suelo colectado se propagó en un cultivo trampa, empleándose como hospederos sorgo, maíz y brachiaria. Se utilizó un diseño experimental con cuatro repeticiones por cultivo, y cinco plantas fueron sembradas en cada maceta.

Cuadro 1. Resultados del análisis de las características químicas-físicas del suelo colectado

Textura	pH	E.C.	MO	K *	N-NO	P	Fe	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	B	S
		dS/m	%		3					(mg/kg)					
F-A	8.4	0.73	4.6	48	8.1	25.	5.5	1.2	0.7	4.9	472	23	<2	1.0	0.
			7	7	0	2	2	2	8	4	3	0	5	8	1

F-A: suelo Franco-Arcilloso

Colecta de los suelos. Las muestras de suelos se colectaron a una profundidad entre los 10 y 20 cm, cerca del sistema radical. En el área de estudio se identificaron cinco sitios de muestreo y en cada sitio se tomaron cuatro submuestras de 1 kg, que fueron homogenizadas y colocadas en bolsas de plástico para su traslado al laboratorio y posterior procesamiento.

Establecimiento de los cultivos trampas. La propagación de los HMA se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Trejo-Aguilar y Banuelos (2020) para el establecimiento de cultivo trampa. Se utilizaron macetas de 1 kg de capacidad y una mezcla de arena estéril y el suelo colectado (1.5:1) en la propagación de las especies. La fertilización se realizó empleando la solución nutritiva Long Ashton (LANS) (Hewitt, 1966) baja en fósforo (22 mg L^{-1}), de acuerdo con la necesidad y etapa fisiológica del cultivo.

Caracterización e Identificación de las especies de hongos micorrízicos arbusculares. Las esporas se caracterizaron con base en las características morfológicas básicas propuestas por Walker (1983) y Morton (1988), que incluyen forma, tamaño, características de la pared externa, estructuras de germinación, hifa de sostén y reacción al reactivo de Melzer. La identificación de las especies de HMA se realizó con base a la colección internacional de cultivos de hongos micorrízicos arbusculares y vesiculares disponible en <http://invam.caf.wvu.edu>; además se usaron publicaciones originales de las especies, y se empleó como referencia la clasificación del Phylum Glomeromycota propuesto por Redecker *et al* (2013).

Número de esporas de HMA. Se realizó un conteo de esporas en el suelo antes de establecer los cultivos trampas y a los 108 días después de ser desmontados los cultivos trampas. Se empleó método de decantado húmedo (Gerdemann y Nicholson, 1963) para la extracción de esporas, se analizaron cinco repeticiones por tratamiento, a las cuales se les realizó el conteo de esporas. Las esporas extraídas se suspendieron en 100 ml de agua, de esta solución se tomó 1 ml para realizar la lectura, empleándose una placa de conteo con círculos concéntricos.

Índices de diversidad. La diversidad de especies de HMA propagadas en sorgo, maíz y brachiaria, se calculó a partir de 100 g de suelo de cada cultivo trampa, realizando el conteo de esporas de cada especie identificada. Para ello, se suspendieron las esporas extraídas del suelo en 100 ml de agua, y se tomaron cinco mililitros para cuantificar las esporas sobre una placa de conteo. Los conteos se repitieron cinco veces por cada cultivo trampa, con ellos se creó una matriz de datos con los conteos de las esporas redondeados, la matriz se utilizó para calcular los índices de diversidad de Shannon y Simpson. Para probar la existencia de diferencias significativas entre los conteos de esporas de cada una de las especies de HMA identificada por cultivo trampa, se empleó el estadístico de prueba Kruskal-Wallis.

Análisis Estadístico. Los datos del número de esporas se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), empleándose la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para la comparación múltiple de medias y el software para Windows Minitab15 v12.0.0.58849. El número de esporas se transformó mediante la raíz de cuadrada ($\sqrt{x}$) por presentar distribución binomial. Los índices de diversidad y la prueba de Kruskal-Wallis se calcularon en el programa en Rstudio CRAN v 4.3.2 y con el programa vegan v.2.6.4.

Resultados y Discusión

Características del suelo. El suelo presentó textura media, pH alcalino, y con niveles muy altos de fósforo y materia orgánica. El contenido de carbonatos moderado alto, libre de sales y muy bajo en azufre. En cuanto a los micronutrientes, el hierro, zinc y manganeso presentaban contenidos moderadamente bajos. Los valores elevados de fósforo y de materia orgánica, al parecer no afectaron la simbiosis micorrízica con los diferentes hospederos, a pesar de que se ha reportado una disminución en la simbiosis cuando existen altos contenidos de nutrientes en los suelos. Ha sido reportado que existen factores que influyen en la abundancia y diversidad de especies de HMA, siendo el pH y las propiedades químicas del suelo los que impulsan variaciones de las comunidades de HMA en el suelo (Bainard *et al.*, 2014). La abundancia de esporas y la colonización de HMA también son influenciadas por diferentes propiedades físicas y químicas del suelo (Carrillo Aguilar *et al.*, 2021).

Identificación de las especies de HMA. La caracterización de las esporas de HMA del suelo colectado permitió identificar nueve morfotipos especies de HMA: *Funneliformis mosseae* (T.H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & Schuessler); *Septoglomus constrictum* ((Trappe) Sieverd., G.A. Silva & Oehl); *Glomus microcarpum* (Tul. & C.Tul. 1844); *Sclerocystis sinuosa* ((Gerd. & B.K. Bakshi) R.T. Almeida & N.C. Schenck 1990); *Archaeospora spainiae* ((Oehl, Palenz., Sánchez-Castro & G.A. Silva) A. Schüßler & C. Walker); *Rhizophagus aggregatus* ((N.C. Schenck & G.S. Sm.) C. Walker); *Sieverdingia tortuosa* ((N.C. Schenck & G.S. Sm.) Błazsk., Niezgoda & B.T. Goto); *Entrophospora clarioidea* ((N.C. Schenck & G.S. Sm.) Błazsk., Niezgoda, B.T. Goto & Magurno) y *Ambispora granatensis* (Palenz., N. Ferrol & Oehl (2010). Todas

pertenecientes al Phylum Glomeromycota; el 99 % de los géneros pertenecían a la familia Glomeraceae, seguido equitativamente por las familias Archaeosporaceae, Ambisporaceae y Diversisporaceae. En México los géneros *Rizhophagus septoglomus*, *Funneliformis*, *Diversisporas* se encuentran frecuentemente en casi todos los ecosistemas, siendo el género *Glomus* el más reportado (Herrera-Monroy et al., 2023).

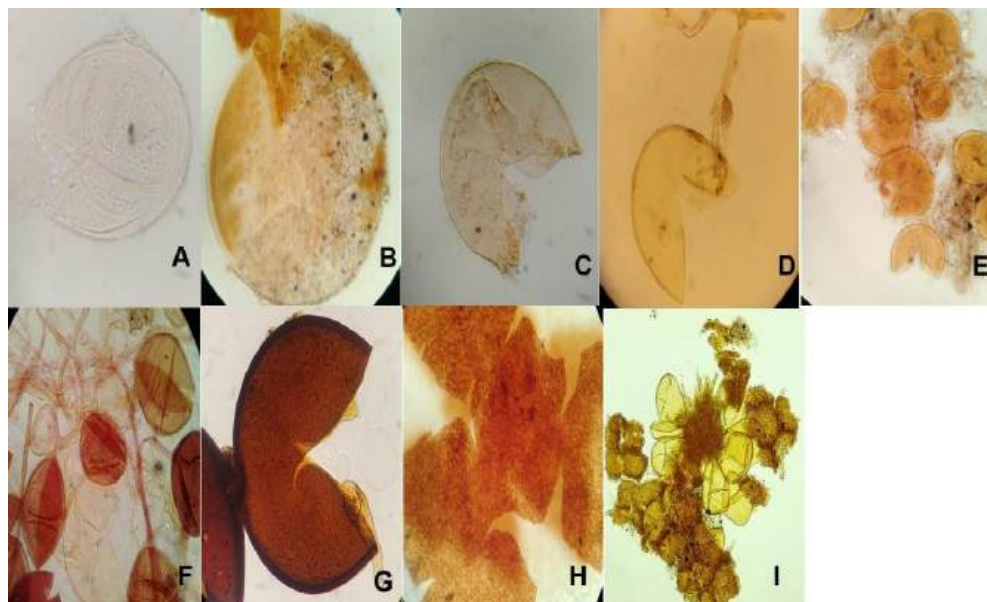


Figura 1. Imágenes de las especies identificadas: A: *Ambispora granatensis*; B: *Archaeospora spainiae*; C: *Entrophospora claroidea*; D: *Funneliformis mosseae*; E: *Glomus microcarpum*; F: *Rhizophagus aggregatus*; G: *Septoglomus constrictum*; H: *Sieverdingia tortuosa*; I: *Sclerocystis sinuosa*.

Número de esporas de HMA. Los resultados del análisis de varianza reflejaron diferencias estadísticas significativas en el número de esporas (cuadro 2). El análisis inicial del suelo colectado mostró una menor cantidad de esporas, en comparación con el incremento encontrado en los diferentes cultivos hospederos. La replicación de esporas de HMA fue más efectiva con el maíz como cultivo hospedero, superando en un 30.5 % y 54.1 % a los cultivos hospederos sorgo y brachiaria, respectivamente (figura 2).

Cuadro 2. Resultados del ANOVA del número de esporas

Número de esporas g ⁻¹	
Análisis de Varianza	
Valor F	158,42
P value	0,000

*P < 0.05; ** P < 0.01; *** P < 0.001 y ns: no existen diferencias significativas.

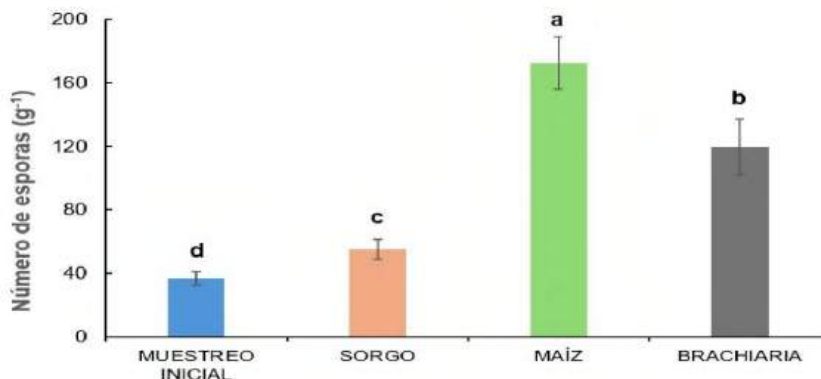


Figura 2. Resultados del número de esporas en el suelo inicial y después de establecido los cultivos hospederos: sorgo, maíz y brachiaria. Letras iguales indican que no existen diferencias significativas. Barras indican $\pm$ el error estándar.

El incremento de esporas en el maíz sugiere que existe cierta especificidad entre los HMA y los hospederos que colonizan. Sin embargo, la mayor parte de los estudios resaltan la importancia de las características de suelo en la eficiencia de la simbiosis micorrízica, dejando en un segundo plano al hospedero. La alta dependencia micorrízica del maíz puede incrementar las estructuras encargadas de la absorción de los nutrientes y el agua favoreciendo al cultivo, y al hongo (Sangabriel-Conde *et al.*, 2015). Robles-González *et al.* (2023) reportaron resultados similares con especies de HMA provenientes de un cafetal orgánico propagadas mediante un cultivo trampa. Estos autores demostraron que el maíz y frijol son plantas hospederas con potencial para la propagación de HMA nativos provenientes de cafetos.

Índices de diversidad.

El índice de diversidad de Simpson indicó que el cultivo de maíz fue el más diverso (0.705) de los tres cultivos trampa (sorgo = 0.583, brachiaria = 0.555). Mientras que en el caso de la diversidad Shannon, los tres cultivos trampa tuvieron índices de diversidad cercanos entre ellos (sorgo = 1.127, maíz = 1.339, brachiaria = 1.016). Por otra parte, con los conteos de esporas por cultivo trampa, se determinó que el número de esporas no difirió significativamente (Kruskal-Wallis test = 0.107, $p = 0.947$) entre ellos. Por lo tanto, se infiere que, aunque existan diferencias en la diversidad de especies de HMA entre los cultivos trampa, el número de esporas de cada una de las especies no difiere significativamente (figura 3).

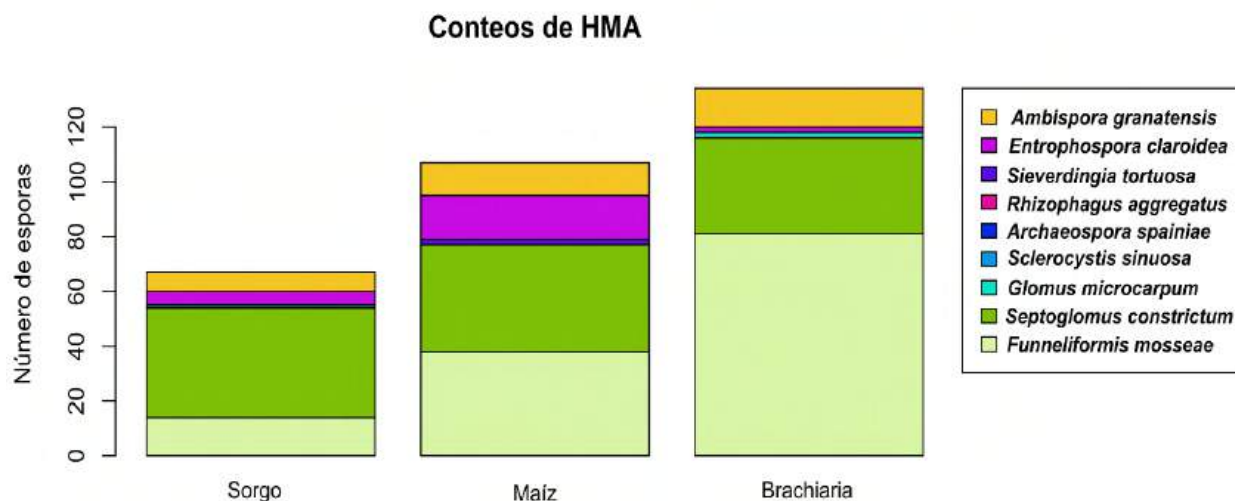


Figura 3. Número de esporas encontradas por especies de HMA identificadas en el suelo de General Terán, N.L., agrupados por cultivo trampa.

Conclusiones

Se identificaron nueve morfotipos de especies de HMA pertenecientes al Phylum Glomeromycota, el 99 % de los géneros pertenecían a la familia Glomeraceae, seguido equitativamente por las familias Archaeosporaceae, Ambisporaceae y Diversisporaceae. Los cultivos trampa incrementaron significativamente el número de esporas. El cultivo de maíz reflejó una mayor eficiencia en la replicación de esporas de HMA, superior en un 30.5 % y 54.1 % al sorgo y la brachiaria, respectivamente. Por otra parte, aunque el cultivo de maíz fue ligeramente más diverso con respecto al sorgo y la brachiaria, el número de esporas que se encontró en los diferentes cultivos trampa se mantuvo más o menos constante para las diferentes especies de HMA identificadas.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Esta investigación fue realizada como parte del proyecto.1017936588, titulado “Colecta, caracterización e identificación de especies de hongos micorrízicos arbusculares del noreste de México” financiado por el INIFAP.

Referencias bibliográficas

Carrillo Aguilar, Dulce Guadalupe, Hernández Ortega, Herminia Alejandra, Franco Ramírez, Alicia, Vallejo Jiménez, Benjamín, Guzmán González, Salvador, Manzo Sánchez, Gilberto, & Sánchez Rangel, Juan Carlos. (2021). Influencia de las propiedades edáficas en la abundancia de esporas y colonización de hongos micorrízicos arbusculares en banano en dos temporadas del año. *Scientia fungorum*, 51, e1306.

Herrera-Monroy, S., Herrera-Monroy, M., & Rivera-Ramírez, J. M. (2023). Systematic review on arbuscular mycorrhizal fungi and their ecological importance. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 3(2).

Redecker, D., Schüßler, A.H., Stockinger, S., Stürmer, J.M., & Walker, C. (2013). An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*). *Mycorrhiza* 23, 515-531.

Trejo-Aguilar, D., & Banuelos, J. (2020). Isolation and culture of arbuscular mycorrhizal fungi from field samples. *Methods Mol. Biol* 2146, 1–18.

Wang, Y., & Liu, R. (2017). A checklist of arbuscular mycorrhizal fungi in the recent taxonomic system of Glomeromycota. *Mycosystema*, 36(7), 820-850.

CONSERVACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS DE *Coffea arabica* EN EL SITIO EXPERIMENTAL TEOCELO, VERACRUZ

Edgar Couttolenc-Brenis^{1*}, Marco Antonio Toral-Juárez¹, Rosalio López-Morgado¹

¹INIFAP, CIRGOC, CE Cotaxtla, SE Teocelo

*Autor para correspondencia: couttolenc.edgar@inifap.gob.mx

Palabras clave. Café, germoplasma, catálogo.

Introducción

Las variedades de café (*Coffea arabica*) cultivadas en el México han evidenciado una estrecha cercanía genética, debido a su origen limitado al Subgrupo Typica y al Subgrupo Bourbon, predominando la variedad Typica, seguida de las variedades Borbón y Caturra rojo. Estas variedades convencionales son susceptibles a la roya (*Hemileia vastatrix*) por lo que se han desarrollado variedades resistentes, las cuales son un componente tecnológico incorporado a la producción de café. Estas variedades resistentes o tolerantes a roya derivan del cruzamiento entre el Híbrido de Timor y las variedades Caturra y Villa Sarchí, generándose los catimores, sarchimores y colombianos, mismos que entrañan genes de resistencia de *C. canephora*. Otra fuente de variación en los materiales son los conocidos como Etiopes, los cuales son variedades que se desarrollaron en las poblaciones nativas del centro de origen de este cultivo. Actualmente el Banco de Germoplasma de Café (BG-Café) en el Sitio Experimental Teocelo cuenta con 87 accesiones, de estos 26 materiales provenientes del Campo Experimental Rosario Izapa en Tuxtla Chico Chis. Otros 26 materiales fueron traídos en semilla del BG-Café de la UACH de sus instalaciones en Huatusco, Ver. En 2015 se introdujo la variedad Obatá y en 2017 la variedad Tupí, provenientes también del CRUO/UACH. Finalmente 33 materiales se introdujeron mediante la colaboración en el ensayo multilocalidad de Word Coffe Research (WCR). Sin embargo, solo se contaba con el nombre de la variedad o en su defecto la clave numérica con la cual había sido identificada por la institución obtentora, por lo que a partir del año 2020 se inició un proceso de catalogación y registro de información sobre el grupo y familia genética a la cual pertenece cada accesión, el país de origen del material y las característica sobre resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix*), enfermedad de la cereza del café (CBD) causado por *Colletotrichum kahawae* y el ataque de nematodos de los genero *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. Lo que permitió identificar materiales de interés para ser evaluados dentro del programa de mejoramiento genético de Café.

Objetivo

Hacer la catalogación de 87 accesiones de *Coffea arabica*, e identificar materiales de interés para el programa de mejoramiento genético del programa de investigación en Café.

Materiales y Métodos

El Sitio Experimental Teocelo (SETeo) del INIFAP, se localiza en la zona centro del estado de Veracruz. Su dirección es Km 4.3, Carretera estatal Teocelo-Xico, cerca de la comunidad de El Zapote, municipio de Teocelo, Ver (figura 1). La altitud es de 1,250 msnm., precipitación anual de 2,063 milímetros, temperatura promedio de 20°C, con máxima media de 25°C y mínima media de 14°C. El suelo dominante es Andosol. El presente trabajo se realizó mediante la revisión del catálogo de variedades de WCR (WCR, 2024), la guía de variedades de café y selección de semilla de la ANACAFE Guatemala (Velásquez, 2021) y memorias de las reuniones de la red de mejoramiento del Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico de la Caficultura. En estos documentos se corroboró el nombre registrado de la variedad y su clave alfanumérica con la finalidad de identificar errores en los registros. Una vez validadas las identidades de los materiales del B.G. del S.E. Teocelo, con la información presente en la documentación consultada se elaboró una base de datos conteniendo los siguientes parámetros: grupo genético al que pertenecen; nivel de resistencia a roya del café (*H. vastatrix*), CBD causado por *C. kahawae* y el ataque de nematodos de los genero *Meloidogyne* y *Pratylenchus*; país de origen y el porte de la planta. De esta base datos se realizó un análisis descriptivo para determinar cómo se distribuyen las variedades presentes en la colección de acuerdo con estos parámetros.

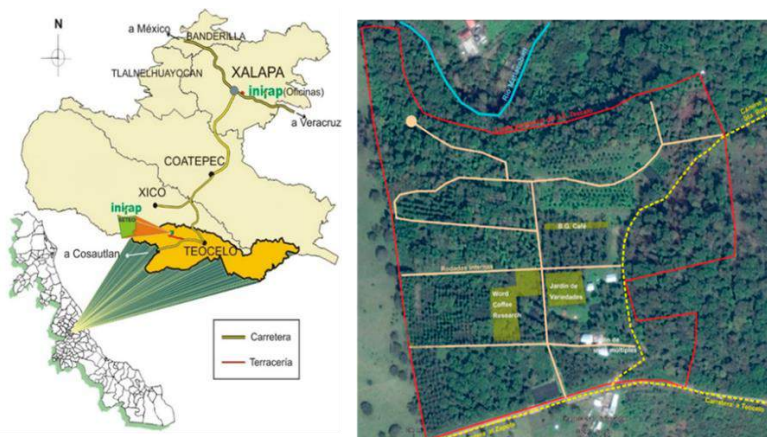


Figura 1. Localización del SETEO en el municipio de Teocelo, estado de Veracruz y ubicación del BG-Café.

Resultados y Discusión

Las 87 accesiones catalogadas en el banco de germoplasma se distribuyen en 18 grupos genéticos, siendo Bourbon, Catimor, Typica y Sarchimor los cuatro grupos con mayor número de accesiones (figura 2), lo que representa el 60 % de los materiales con los que cuenta el banco. De estos cuatro grupos los pertenecientes a los Sarchimores tienen el mayor potencial para el desarrollo de nuevas variedades, ya que este grupo de materiales, derivados de la cruce del Híbrido de Timor con el cultivar Villa Sarchi, son los que hasta el momento han mostrado mayor resistencia a factores de estrés biótico y abiótico (Sera et al., 2022). De este grupo destaca la accesión 31-6-F3 (CIFC H 361/3), la cual proviene de una línea diferente a las variedades comerciales de Sarchimor, que fue introducida en 1972 en la generación F2 y que en las evaluaciones hechas en la siguiente progenie F3 mostro el mejor comportamiento de los materiales evaluados (Rivera et al., 1990). En lo que se refiere a Bourbon y Typica, son materiales apreciados por la calidad, sin embargo, son susceptible a la roya, por lo que podrían usarse para la generación de variedades mediante la cruce con los Sarchimores o Catimores. En cuanto a los Catimores aun representan un fuente de resistencia a la roya, aunque han mostrado una tendencia a presentar un nivel moderado de la misma en contraste con los Sarchimores (Sera et al., 2022).

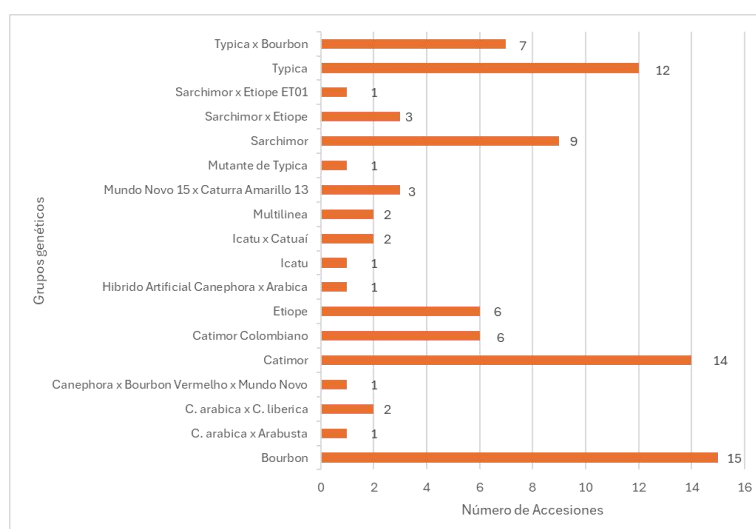


Figura 2. Número de accesiones por grupos genéticos a presentes en el Banco de Germoplasma de Café en el S.E. Teocelo.

En cuanto al país de origen de las accesiones el 65 % de las accesiones proviene de Brasil, México, Colombia, El Salvador y Etiopia (figura 3). Los grupos genéticos que destacan de accesiones originadas en estos países son: Brasil las accesiones pertenecientes al grupo Sarchimor y las relacionadas con Icatu, México Garnica obtenida del cruce entre Mundo Novo 15 x Caturra Amarillo 13. Colombia los Catimores colombianos obtenidos del cruce Caturra CCC135 con el Híbrido de Timor CIFIC 1343. El Salvador los Bourbones y Etiopia aporta cuatro de las seis accesiones identificadas como Etiopes.

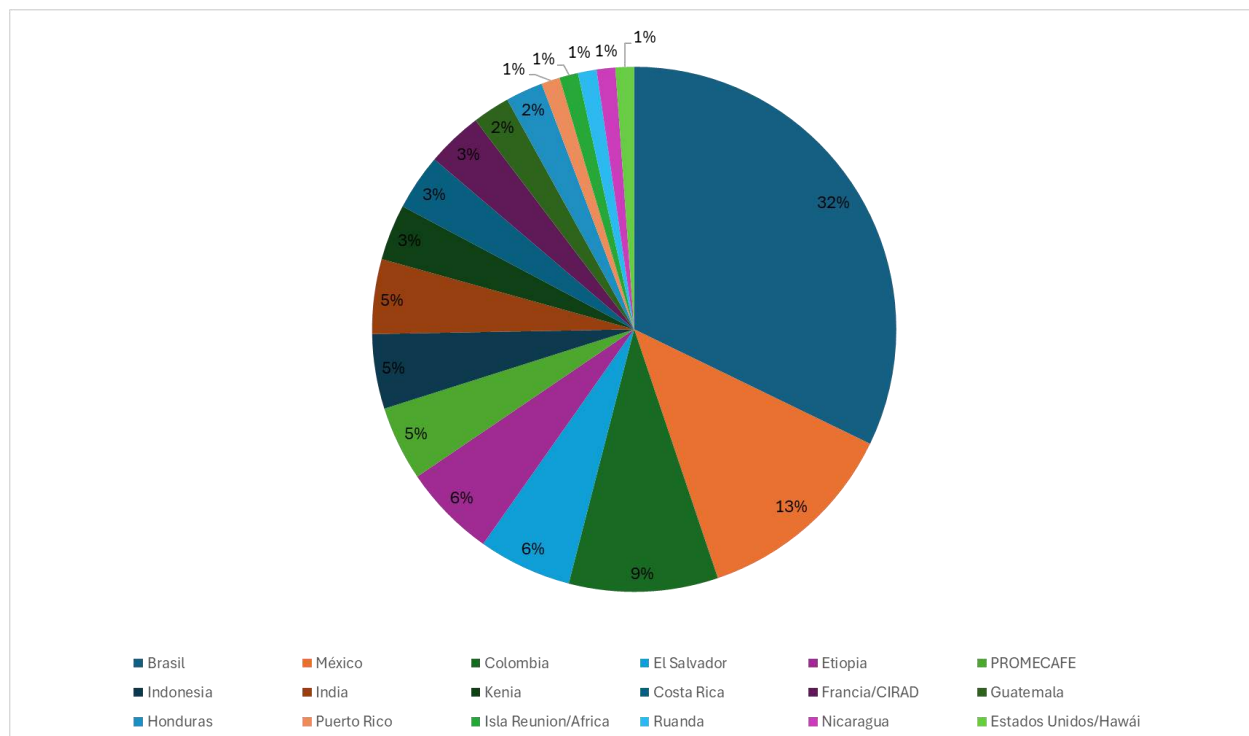


Figura 3. Distribución de las accesiones del banco de germoplasma de café según el país de origen de los materiales.

En lo referente a la resistencia a roya del café (*H. vastatrix*), CBD (*C. kahawae*) y nematodos (*Meloidogyne* y *Pratylenchus*), de las 87 accesiones, la mayoría, 49 accesiones registran resistencia a roya del café ente alta y moderada (figura 4), lo que contrasta con las 218 accesiones que estaban presentes en los bancos de germoplasma de café del Instituto Mexicano del Café (IMECAFE) en 1980 (Echeverri, 1980), lo que representa una disminución considerable de materiales con resistencia a la roya disponibles en el país. En el caso del CBD y los nematodos la mayoría son susceptibles, sin embargo, para un numero importantes de accesiones también se desconoce esta información, 32 en el caso de CBD y 33 en el caso de los nematodos (cuadro 1). Lo que muestra la necesidad de caracterizar estos materiales en relación a la resistencia a estas dos enfermedades.

Conclusiones

A pesar de que en México se perdió entre el 70 y 80 % de los recursos genéticos de Café por la desaparición del IMECAFE, el S.E. Teocelo representa un reservorio importante de germoplasma ya que posee materiales con características deseables como: resistencia a enfermedades, productividad y calidad, para la generación de las variedades que los productores de este aromático. De igual manera cuenta con una amplia diversidad de orígenes de las accesiones, tanto por su grupo genético, como por el país de origen de los mismos.

Cuadro 1 Número de accesiones según nivel de resistencia a CBD y Nematodos.

	Resistencia	Nematodos			Total
		Alta	Susceptible	Desconocido	
CBD	Alta	0	1	0	1
	Moderada	4	4	1	9
	Susceptible	3	42	0	45
	Desconocido	0	0	32	32
	Total	7	47	33	87

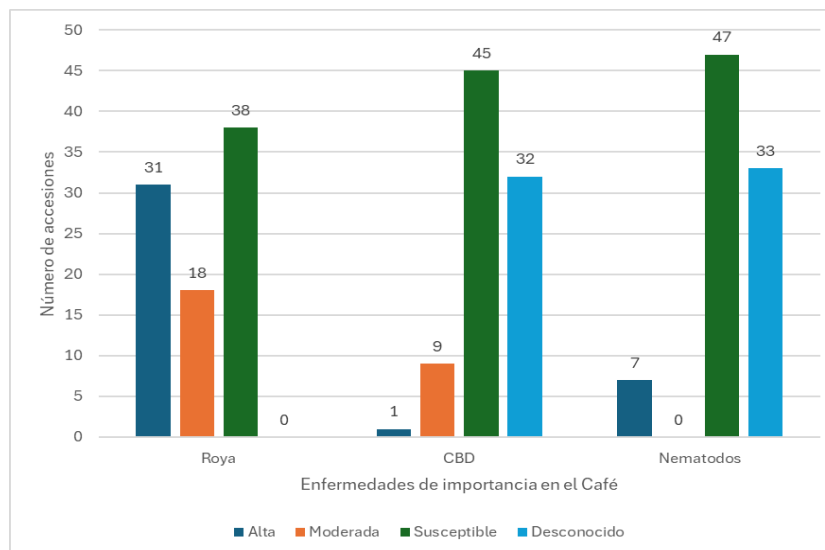


Figura 4. Nivel de resistencia a Roya, Enfermedad de la Cereza del Café (CBD) y Nematodos, de las 87 accesiones del Banco de Germoplasma de Café.

Agradecimientos y Fuente financiera

El mantenimiento del Banco de Germoplasma de Café se realiza con los fondos asignados por la Coordinación de Investigación, Innovación y Vinculación (CIIV) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Referencias bibliográficas

- Echeverri, J. (1980). Fitomejoramiento genético del café con énfasis en resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) en México, Centroamérica y Panamá. IICA.
- Rivera Fernández, A., & García Ortiz, L. (1988). Evaluación de poblaciones de porte bajo con genes del Híbrido de Timor. Memoria, 11–18. <https://books.google.com.mx/books?id=1-kNAQAAIAAJ&pg=RA2-PA11&dq=CIFC+H+361/3&hl=es&ei=q65LaPbZO-uTJMcPwwCFsQw&cd=1#v=onepage&q=CIFC%20H%20361%2F3&f=false>
- Sera, G. H., de Carvalho, C. H. S., de Rezende Abrahão, J. C., Pozza, E. A., Matiello, J. B., de Almeida, S. R., Bartelega, L., & dos Santos Botelho, D. M. (2022). Coffee Leaf Rust in Brazil: Historical Events, Current Situation, and Control Measures. *Agronomy*, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020496>
- Velásquez, O. (2021). Guía de variedades de café y selección de semilla (4a ed.). Anacafé. <https://www.anacafe.org/uploads/file/4f91ff8c819a44548ce5f54900fb4e88/Guia-variedades-y-seleccion-semilla>
- World Coffee Research. (2024). Variedades de Árabis: Un catálogo global de las variedades de café Árabis de todo el mundo. World Coffee Research. <https://cdn2.assets-servd.host/worldcoffee-research/production/pdf/catalogSpanish/Combined/arabica-1738926266.pdf?dm=1738926266>

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE DIFERENTES VARIEDADES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CULTIVADAS EN EL ESTADO DE GUANAJUATO

Karina Juliette Gallegos-Tovar¹, Ma. Magdalena Crosby-Galván², Ma. del Rosario Tovar-Gómez^{*3}, Claudia Pérez-Mendoza³, Ma. Lorena Cassis-Nosthas¹, Ernesto Preciado-Ortiz⁴, Arturo González-Orozco⁴, Ricardo Rivera-Vázquez⁴

¹Universidad La Salle, Facultad de Ciencias Químicas. ²Colegio de Postgraduados. ³INIFAP, CIRCE, CE Valle de México. ⁴INIFAP, CIRCE, CE Bajío

*Autor para correspondencia: tovar.rosario@inifap.gob.mx

Palabras clave. Maíz, grano, valor nutricional.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más representativo de México por su importancia económica, social y cultural. Es el alimento que representa por excelencia nuestras raíces, nuestro presente y seguramente el futuro, nos conecta con nuestra identidad como mexicanos y es protagonista de libros, de mitos, de leyendas; el maíz, es el cereal que alimenta a todo un país (Rosado y Villasante, 2021).

El maíz, uno de los tres granos básicos que alimentan a la humanidad, tuvo su origen y diversificación inicial en las montañas y valles de México (Kato *et al.*, 2009). Brown y Goodman (1977) y Vigouroux *et al.* (2008) citados por Kato *et al.* (2009) consideraron que en el continente americano existen entre 220 y 300 razas de maíz. De acuerdo con la CONABIO, de las 64 razas que se reportan para México, 59 se pueden considerar nativas y 5 fueron descritas primeramente en otras regiones, pero también se han colectado o reportado en el país. Este cultivo es considerado como una fuente importante de energía desde el punto de vista nutrimental por el gran contenido de carbohidratos; estos componentes representan el 75% de los constituyentes químicos del maíz (Villegas *et al.*, 2014).

La superficie sembrada de maíz grano en México, de acuerdo al SIAP, para el año 2023, fue de 6,941,031 ha de las cuales 366,732 ha fueron sembradas en el estado de Guanajuato y, en cuanto a la producción nacional se obtuvieron 27,549,917 toneladas, en donde Guanajuato ocupó el quinto lugar con una producción de 1,762,462 toneladas.

Con el fin de contribuir al incremento de la producción del maíz en las diferentes regiones del país, los fitomejoradores del Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), han generado híbridos y variedades mejoradas con mayor rendimiento, con tolerancia a plagas y enfermedades, adaptadas a situaciones de estrés abiótico, con resistencia al acame, entre otros. Identificar el valor nutricional de las variedades generadas de maíz, es trascendental tanto para el consumo humano como para la industria alimentaria; así como también, se podría incidir en revalorar y fortalecer la dieta original de los mexicanos con los diferentes productos elaborados a base del grano de maíz y, además, para la selección de maíces con mayor calidad nutricional que puedan utilizarse para la generación de nuevos materiales en los Programas de Mejoramiento Genético.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la composición química del grano de nueve variedades de maíz.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos etapas y, en colaboración con tres instituciones: la Universidad Lasalle-Facultad de Ciencias Químicas, el Colegio de Postgraduados (COLPOS; Campus Montecillo) y el INIFAP. La primera etapa se llevó a cabo de manera conjunta entre el personal investigador del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) y del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP. El CEBAJ está ubicado en Roque, Celaya, Guanajuato dentro del área de los 20° 37' 19.3" latitud norte y 100°45' 09.3" longitud oeste con una altitud de 1754 m y el CEVAMEX está localizado en Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, dentro del área de los 19° 29' de latitud norte, 98° 53' de longitud oeste y una altitud de 2240 msnm.

En el CEBAJ se estableció el ensayo para la evaluación de nueve variedades de maíz con germoplasma subtropical, el material genético utilizado fue proporcionado por investigadores del CEBAJ-INIFAP y por productores de la región; estuvo constituido por nueve cultivares, de los cuales cinco fueron variedades

(VS204, VS535, VS334C, V323, CAFIME), dos variedades experimentales (SPFB1, SPFB2) y dos variedades criollas Moroleón (CMORO) y Celaya (CAGU). El paquete tecnológico aplicado fue el recomendado por el INIFAP para la región y las variedades fueron cultivadas hasta la cosecha del grano de maíz, realizada en la etapa de corte a madurez fisiológica.

La segunda etapa correspondió a la determinación del análisis químico del grano de las nueve variedades de maíz cosechadas en CEBAJ, el cual se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería del COLPOS en Montecillo, Texcoco, Estado de México, ubicado geográficamente a 19° 29' de latitud norte, 98° 54' de longitud oeste y una altitud de 2250 msnm. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, en donde los tratamientos fueron las variedades evaluadas. Las variables de valor nutricional evaluadas en el grano de las diferentes variedades de maíz fueron las siguientes: contenidos de materia seca (MS) y de materia orgánica (MO), cenizas (CEN), extracto etéreo (EE), proteína total (PC), fibra cruda (FC), almidón (ALM) y extracto libre de nitrógeno (ELN). Todos los análisis se llevaron a cabo por triplicado y de acuerdo con las técnicas reportadas por la AOAC (2005), a excepción del análisis de almidón que se realizó por duplicado y se llevó a cabo por el método de Herrera y Saldaña (1987).

Los datos registrados fueron examinados por medio del análisis de la varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de 0.05% y comparados mediante la prueba de Tukey (0.05%). Para el caso de las relaciones entre las variables analizadas se determinaron mediante la prueba de correlación de Pearson, con un nivel de significancia $p < 0.05$. Adicionalmente, se realizaron análisis de regresión lineal utilizando el programa estadístico de SAS® 9.2 (SAS, 2011).

Resultados y Discusión

El análisis de varianza realizado a las variables de composición nutrimental del grano de nueve variedades de maíz utilizadas en este estudio, se presenta en el cuadro 1. Los resultados obtenidos indicaron diferencias significativas para el contenido de materia seca ($P \leq 0.05$) y para las concentraciones de proteína, extracto etéreo, fibra cruda, almidón y extracto libre de nitrógeno ($P \leq 0.001$) en el grano de las diferentes variedades de maíz. No se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) en el contenido de cenizas y materia orgánica.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables de composición nutrimental del grano de maíz de las diferentes variedades evaluadas.

Factor	MS	CEN	MO	PC	EE	FC	ALM	ELN
Var	0.77*	0.097ns	0.097ns	1.17**	2.66**	11.99**	102.7**	11.96**
CV	0.46	18.37	0.26	3.37	2.57	4.66	1.82	2.94
R ²	0.81	0.60	0.60	0.94	0.99	0.96	0.98	0.75

MS=materia seca, CEN= cenizas, MO=materia orgánica, PC= Proteína cruda, EE=extracto etéreo, FC= fibra cruda, ALM= almidón, ELN= extracto libre de nitrógeno, **, * significancia estadística al 0.001 y 0.05 de probabilidad, ns = no significativo.

Respecto al coeficiente de variación (CV) se registraron valores bajos en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en el contenido de cenizas que registró el valor más alto con 18.37%, lo cual indica que existe variabilidad entre las variedades de maíz. El coeficiente de determinación (R²) osciló entre 0.60 a 0.99, valores cercanos a 1, lo que indica un buen ajuste del modelo estadístico, ya que permite describir la relación que existe entre las variables de estudio.

De acuerdo a la comparación de medias de Tukey, el contenido de cenizas o minerales del grano de las nueve variedades de maíz evaluadas oscilaron entre 11 y 18 g kg⁻¹ MS con un valor promedio de 13.8 g kg⁻¹ MS, siendo la variedad CAFIME la que tuvo el mayor contenido de cenizas, mientras que la variedad SPFB2 fue la de menor concentración.

Para el contenido de proteína se observó que la variedad VS204 y el Criollo Moroleón (CMORO) presentaron la mayor concentración de proteína (91 g kg⁻¹ MS) con respecto a la V323 y al Criollo Celaya (CAGU) en donde se registró una menor concentración, respectivamente con 73 y 71 g kg⁻¹ MS. Esa

diferencia entre el contenido de proteína de las variedades evaluadas de maíz, puede depender, por una parte, de las características genéticas del grano de cada variedad y por otra a la fertilización nitrogenada recibida, además de las condiciones climáticas existentes, entre otros factores (figura 1a).

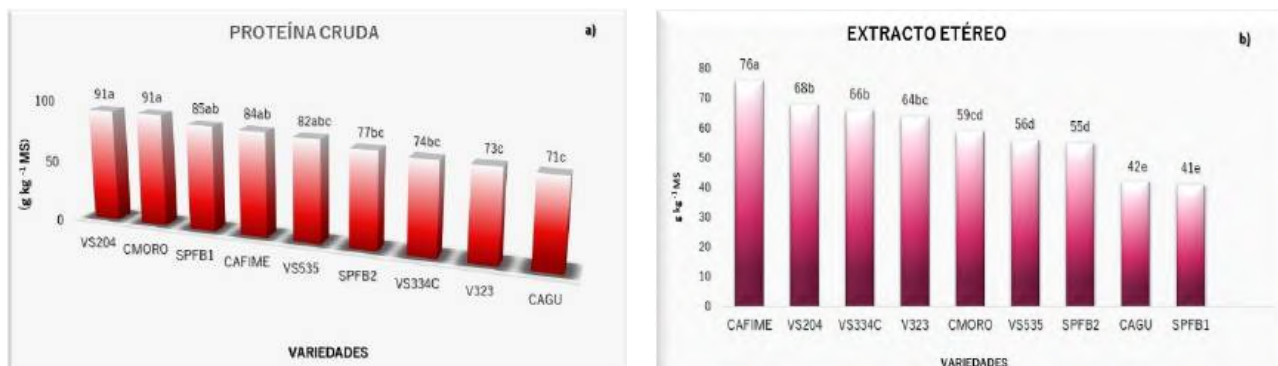


Figura 1. Comparación de medias de las diferentes variedades de maíz para proteína total (a) y extracto etéreo (b). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

La concentración de extracto etéreo (EE) varió de 76 a 41 g kg⁻¹ MS entre los maíces evaluados, en donde la variedad CAFIME presentó el mayor contenido de extracto etéreo, mientras que las variedades CAGU y SPFB1 presentaron los valores más bajos (figura 1b).

En cuanto al contenido de fibra cruda, se observó que la variedad SPFB2 mostró la mayor concentración con 18 g kg⁻¹ MS y la variedad VS535 la menor cantidad con un 11 g kg⁻¹ MS (figura 2a).

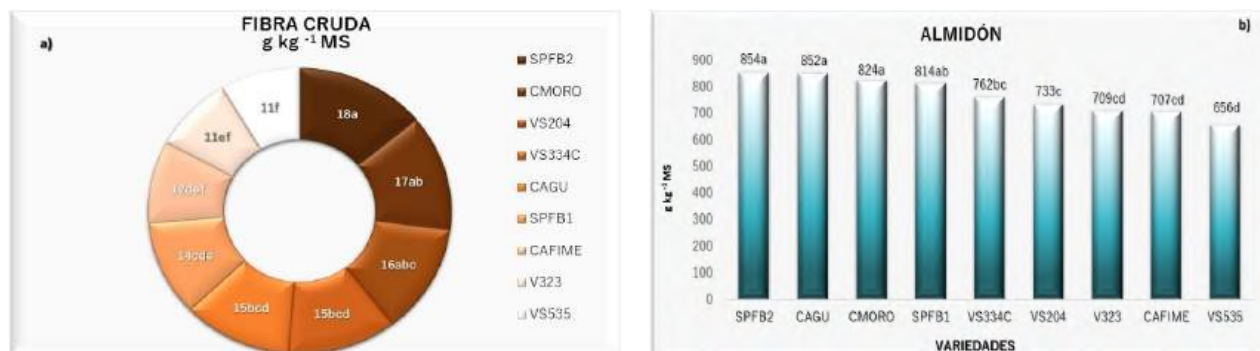


Figura 2. Comparación de medias de las diferentes variedades de maíz para fibra cruda (a) y almidón (b). Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

Por otra parte, el contenido de almidón, se observaron diferencias entre las variedades de maíz, siendo SPFB2, CAGU, CMORO SPFB1 las presentaron los valores más altos con 854, 852, 824 y 814 g kg⁻¹ MS, respectivamente; la variedad VS535 presentó el menor valor en el ALM (656 g kg⁻¹ MS). En el resto de las variedades de maíz, sus valores fluctuaron de 707 a 824 g kg⁻¹ MS (figura 2b).

Para el caso del contenido de ELN en los granos de maíz, este osciló entre 613 a 682 g kg⁻¹ MS, en donde la mayor concentración de ELN fue en la variedad VS535, mientras que la variedad CMORO presentó el valor más bajo (figura 3).



Figura 3. Comparación de medias de las diferentes variedades de maíz para extracto libre de nitrógeno. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

Por otra parte, se registraron correlaciones significativas entre las variables de composición química de los granos de maíz evaluados, sobresaliendo la de EE con el ALM ($r = -0.60$; $P < 0.008$), lo cual indica que las variedades de maíz que presentaron mayor contenido de almidón tendrán menor porcentaje de aceite. Este resultado coincide a lo reportado por Weber (1991) citado por Morales *et al.* (2010) quienes indican que el incremento de almidón se encuentra correlacionado negativamente con la cantidad de aceite en maíz.

Es importante destacar que se encontró una correlación negativa ($r = -0.69$; $P \leq 0.0014$) entre ELN y FC del grano de las diferentes variedades de maíz, lo que significa que a mayor concentración de ELN menor concentración de FC, también se registró la correlación positiva y significativa entre el almidón y fibra cruda ($r = 0.76$, $P \leq 0.0002$), demostrando así que a mayor concentración de almidón mayor será la concentración de fibra.

Con respecto a los análisis estadísticos de la regresión lineal simple, se observó una estrecha relación lineal entre el EE y ALM y con ella se obtuvo una ecuación de la regresión lineal simple ($Y = 13.25 - 0.097x$), valor que indica que por cada unidad que aumenta de almidón disminuye el 0.097% de extracto etéreo (figura 4).

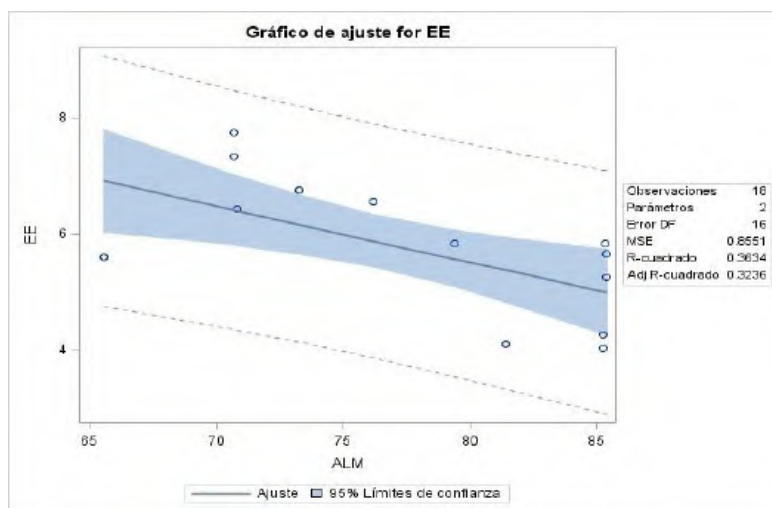


Figura 4. Regresión lineal simple entre el contenido de extracto etéreo y la concentración de almidón del grano de maíz.

Otra relación lineal estrecha se observó entre la FC y ELN ($Y = 54.48 - 0.62x$) esto indicó, que por cada unidad de ELN que aumenta disminuye en 0.62% la FC (figura 5a). Además, se registró una relación lineal simple entre ALM y FC ($Y = 44.96 + 2.18x$) en donde se señala que por cada unidad que incrementa la FC el ALM también aumenta en 2.18% (figura 5b).

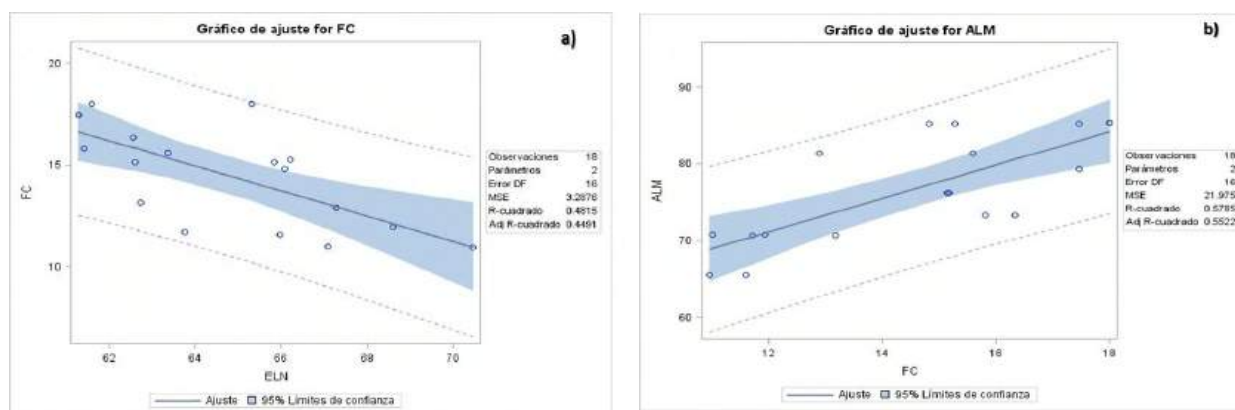


Figura 5. Regresión lineal simple entre la fibra cruda y el extracto libre de nitrógeno (a) y entre la concentración de almidón y la fibra cruda (b).

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que las variedades de maíz evaluadas presentaron diferente composición química, por lo que el tipo de variedad afecta el valor nutricional del grano de maíz. Además, las variedades SPFB2, CAGU, CMORO y SPFB1 presentaron los valores más elevados de almidón lo que resulta útil en la industria alimentaria. Asimismo, las variedades VS204 y CMORO tuvieron los valores más elevados de proteína. CAFIME presentó el mayor contenido de extracto etéreo, lo que resulta útil en la industria para el aceite maíz.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Este estudio fue financiado en el marco del proyecto fiscal apoyado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México (NO. SIGI 13375634106).

Referencias bibliográficas

- Rosado O.A., B.A. Villasante S. 2021. Los herederos del maíz. Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. Ciudad de México. 41 pp.
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera edición. 116 pp. México, D.F.
- Villegas, C. M.A., Cortez, G. E., Molina, R.J.I., Padilla, C.M., López, R. A., Romero, R. G., García, R. M. E. 2014. Caracterización de las estructuras Anatómicas del Maíz y sus Cambios en la Nixtamalización.
- A.O. A. C. 2005. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 12th Edition. Published by the Association of Official Agricultural Chemists. Washington, D.C. USA.
- Herrera-Saldaña, R., Huber, J.T.1987. Enzymatic determination of total starch in feedstuffs. Department of Animal Sci. University of Arizona.
- SAS Institute.2011. SAS/STAT User's Guide, Software Version 9.2. Cary, N.C. USA.

AVANCES Y DESAFÍOS EN LA PRODUCCIÓN Y USO DE BACTERIAS NATIVAS COMO PROBIÓTICOS VEGETALES EN APLICACIONES AGRONÓMICAS

Clara Ivette Rincón-Molina¹, Luis Alberto Manzano-Gómez^{1, 2}, Francisco Alexander Rincón-Molina¹,
Reiner Rincón-Rosales^{1*}

¹TecNM. ²3R Biotec

*Autor para correspondencia: reiner.rr@tuxtla.tecnm.mx

Palabras clave. Biofertilizantes, probióticos rizobianos, transición agrícola.

Introducción

El actual modelo agrícola basado en el uso intensivo de agroquímicos ha contribuido significativamente al aumento de la productividad, pero también ha generado consecuencias negativas sobre la salud del suelo, la biodiversidad microbiana y la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. En México, estas problemáticas son particularmente evidentes en regiones con alta dependencia de fertilizantes nitrogenados y limitaciones técnicas para acceder a insumos más sostenibles. Esta situación plantea un reto urgente: transitar hacia un modelo agrícola más resiliente, bioseguro y adaptado a las condiciones locales (García-Fraile et al., 2012; Rincón-Molina et al., 2022).

Los biofertilizantes formulados con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) representan una alternativa biotecnológica segura para reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Sin embargo, la adopción masiva de biofertilizantes ha sido limitada por diversos factores: alta variabilidad en la calidad de los productos comerciales, falta de estandarización en los procesos de producción, y ausencia de criterios claros de bioseguridad microbiológica en su formulación. El desarrollo y adopción de biofertilizantes en México ha seguido una evolución progresiva desde la década de 1980, cuando comenzaron a aplicarse inoculantes rizobianos en leguminosas con resultados positivos a pequeña escala. Con el tiempo, estos productos fueron incorporándose a otros cultivos estratégicos, conforme aumentaba la evidencia científica sobre los beneficios de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal. (Rincón-Molina Clara Ivette et al., 2025)

En este contexto, el uso de cepas bacterianas nativas previamente caracterizadas funcional y genómicamente, ofrece ventajas claras en términos de adaptación edáfica, eficiencia simbiótica y reducción de riesgos ambientales. Aunado a ello, la posibilidad de escalar la producción de estos biofertilizantes en sistemas de bajo costo y tecnológicamente accesibles, como biorreactores caseros, representa una oportunidad estratégica para democratizar el acceso a tecnologías regenerativas entre pequeños y medianos productores. Por lo anterior, este trabajo presenta una solución práctica y basada en evidencia científica para fortalecer la seguridad alimentaria y avanzar hacia una transición agrícola sustentable en México, mediante el desarrollo de un sistema de producción segura, eficiente y accesible de microorganismos benéficos de uso agrícola (Manzano-Gómez et al., 2023)

Objetivo

Evaluar la viabilidad técnica, económica y biológica de un sistema de producción de biofertilizantes basado en un biorreactor casero, utilizando cepas nativas de *Sinorhizobium* bajo condiciones optimizadas, con énfasis en bioseguridad y eficiencia en pruebas de microcosmos.

Materiales y Métodos

Cepas bacterianas: Las cepas nativas fijadoras de nitrógeno *S. mexicanum* ITTG-R7T (DQ411930) y *S. chiapanecum* ITTG-S70T (EF457949) fueron empleadas en este estudio. Estas cepas pertenecen a especies novedosas del género *Sinorhizobium*, aisladas de la leguminosa arbustiva *Acaciella angustissima* (Rincón-Rosales et al., 2009).

Diseño experimental: Se utilizó un diseño factorial y la metodología de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) para identificar las condiciones óptimas de crecimiento para *S. mexicanum* ITTG-R7T y *S. chiapanecum* ITTG-S70T. Este diseño experimental correspondió a un diseño factorial de tres niveles. Se evaluaron dos variables independientes: el medio de cultivo (X_1) y la velocidad de agitación (X_2).

Sistema de producción en biorreactor: Se diseñó y construyó un biorreactor casero en el que se utilizó un frasco de vidrio de boca ancha con una capacidad nominal de 3.8 L (6.10 pulgadas de diámetro y 9.95 pulgadas de altura). El diseño completo del prototipo cuenta con título de modelo de utilidad actualmente ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), bajo el número de registro MX/u/2023/000331. Evaluación biológica: Con el objetivo de evaluar la efectividad de las cepas bacterianas producidas en el biorreactor casero, se realizó un ensayo de inoculación en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). El ensayo de inoculación se llevó a cabo bajo un diseño completamente al azar, evaluando cuatro tratamientos con seis repeticiones cada uno. El primer tratamiento (T1) y el segundo tratamiento (T2) consistieron en la inoculación con *S. mexicanum* ITTG-R7T y *S. chiapanecum* ITTG-S70T, respectivamente. El tercer tratamiento (T3) consistió en la aplicación de fertilizante triple 17 (17% N, 17% P y 17% K) como control positivo. El cuarto tratamiento (T4) fue el control negativo, conformado por plantas no inoculadas. Las plantas se cultivaron en condiciones controladas dentro de una cámara de crecimiento vegetal. Después de un periodo de cultivo de 60 días, las plantas fueron recolectadas cuidadosamente y se determinaron las siguientes variables: altura total de la planta (cm), peso seco (g), peso radical (g), número de nódulos por planta, contenido total de clorofila y contenido total de nitrógeno (mg por planta seca).

Análisis de datos

Los datos obtenidos a partir de la optimización de las condiciones de crecimiento bacteriano y del ensayo de inoculación fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XV.2 (The Plains, VA, EE. UU.). Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Además, se generaron gráficos de efectos principales y superficies de respuesta con áreas de contorno utilizando el software Minitab V.16 (State College, PA, EE. UU.).

Resultados y Discusión

Los resultados del ensayo de inoculación utilizando las cepas *S. mexicanum* ITTG-R7T y *S. chiapanecum* ITTG-S70T, cultivadas en el biorreactor casero, demostraron que ambas conservaron sus cualidades biológicas, incluida una alta infectividad y eficacia como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (cuadro 1). La cepa ITTG-R7T presentó efectos superiores en varios parámetros de crecimiento, tales como altura total, peso total, peso radical, número de nódulos y contenido total de nitrógeno ($p < 0.05$), superando tanto al control negativo (plantas no inoculadas) como a las plantas tratadas con fertilizante NPK triple 17. Además, la cepa ITTG-S70T incrementó significativamente los niveles de clorofila (3.2 mg g^{-1}) en comparación con los demás tratamientos ($p < 0.05$). Ambas cepas indujeron de manera efectiva la formación de nódulos, destacando la cepa ITTG-R7T con el mayor número de nódulos por planta (51 nódulos). Estos resultados confirman el potencial de las cepas nativas de *Sinorhizobium* como biofertilizantes, al mantener sus atributos biológicos, infectividad y capacidad promotora del crecimiento vegetal cuando son cultivadas en un biorreactor casero.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento de plantas de *P. vulgaris* inoculadas con *S. mexicanum* ITTG-R7T y *S. chiapanecum* ITTG-S70T.

Tratamiento	Altura total (cm)	Peso total (g)	Peso raíz (g)	Número de nódulos	Nitrógeno total (%)	Clorofila (mg/g)
T1: <i>S. mexicanum</i> ITTG-R7T	61.25 A	6.26 A	1.50 A	51 A	6.83 A	2.6 AB
T2: <i>S. chiapanecum</i> ITTG-S70T	45.75 B	3.25 B	0.90 B	32 B	4.07 BC	3.2 A
T3: NPK triple 17	37.25 C	2.62 C	0.66 BC	0.0 C	5.67 AB	1.5 B
T4: No inoculado	26.50 D	2.32 C	0.48 C	0.0 C	3.31 C	1.6 B
p-valor	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0009	0.0035
HSD	6.7242	0.3510	0.2747	14.444	1.777	0.9604

Medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas (prueba de Tukey, $p < 0.05$). HSD, diferencia honestamente significativa.

De manera precisa, los biofertilizantes se definen como productos que contienen microorganismos específicos capaces de promover el crecimiento vegetal, mediante mecanismos como la fijación biológica

de nitrógeno y la solubilización de fosfato, lo que los distingue claramente de otros insumos orgánicos (como compostas, vermicompostas, lixiviados, entre otros). El término "biofertilizante" no incluye extractos vegetales, lixiviados (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos), compostas, vermicompostas, estiércol, aminoácidos, vitaminas y/o minerales. Estos productos no deben clasificarse como biofertilizantes, sino que deben considerarse dentro de la categoría de insumos orgánicos o bioinsumos. Un biofertilizante posee una composición y concentración exacta y conocida del recurso genético con el cual ha sido formulado, mientras que productos como la vermicomposta, aunque contienen carga microbiana, presentan una composición y concentración variables que dependen de múltiples factores como el tipo de materia prima, las condiciones climáticas y el proceso de compostaje.

Muchos bioinsumos se preparan en recipientes inadecuados y sin una consideración adecuada de los riesgos asociados al incremento descontrolado de poblaciones microbianas, las cuales pueden incluir patógenos para humanos, animales y plantas. Con frecuencia, se utilizan tambos, tanques y cubetas de plástico abiertos en instalaciones no aptas, lo que da como resultado productos altamente contaminados e ineficaces (Fig. 1). Si bien estas iniciativas son valorables por su intención de reducir el uso de agroquímicos, a menudo carecen del respaldo científico riguroso necesario para garantizar que los bioinsumos sean efectivos y seguros. Es fundamental implementar métodos de producción más controlados y científicamente validados. Para garantizar la seguridad y eficacia de estos productos se requiere de infraestructura adecuada, capacitación técnica para los productores, así como protocolos estrictos de control de calidad.

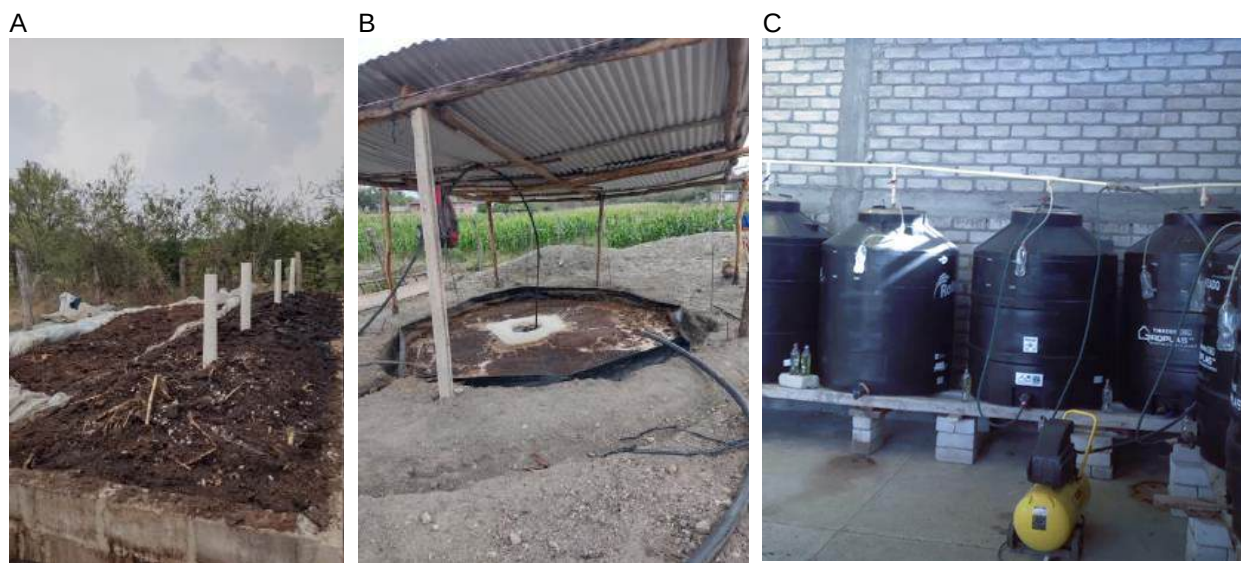


Figura 1. Producción artesanal de bioinsumos en campo. A) Cama de compostaje con estiércol bovino; B) Área de captación y almacenamiento de lixiviados provenientes del compostaje; C) Preparación y fermentación de bioinsumos líquidos en tambos plásticos sin condiciones controladas de higiene, aireación ni temperatura.

La obtención de biofertilizantes con propiedades promotoras del crecimiento vegetal, especialmente la fijación biológica de nitrógeno, mediante sistemas de producción accesibles y de bajo costo, representa una alternativa viable para que los agricultores enfrenten la contaminación ambiental y los desafíos económicos asociados al uso de fertilizantes químicos. En este sentido, es fundamental prestar especial atención a la selección de cepas bacterianas específicas para la formulación y producción de biofertilizantes. Estas cepas deben no solo promover el crecimiento de los cultivos, sino también garantizar la inocuidad para los seres humanos, las plantas, el suelo y el medio ambiente. Aunque los biorreactores caseros son de fácil operación, se recomienda ofrecer orientación técnica para la preparación de medios de cultivo y el manejo de los cultivos bacterianos. El costo de estos biorreactores se justifica considerando los beneficios a largo plazo de producir biofertilizantes de manera económica, reducir la dependencia de fertilizantes químicos costosos y fomentar una agricultura más sostenible. El proceso de producción de biofertilizantes en biorreactores caseros debe ser económicamente factible, facilitando la adopción de estas

biotecnologías por parte de distintos sectores agrícolas vulnerables, en particular en México, con el objetivo de reducir el uso excesivo y la dependencia de fertilizantes sintéticos, mediante la incorporación de nuevas tecnologías (Fig. 2).

A

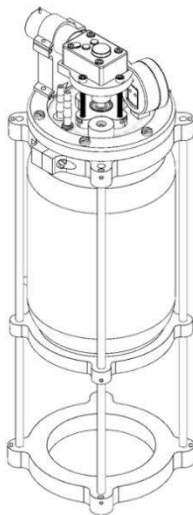


Figura 2. Biorreactor casero de tanque agitado registrado ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI), con el número de registro MX/u/2023/000331 (<https://www.gob.mx/impi>)

Conclusiones

En los últimos años, la demanda de prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente ha aumentado con el fin de mitigar el impacto ambiental de los fertilizantes químicos. La agricultura requiere de estrategias que mejoren la seguridad en la producción de alimentos y las condiciones de fertilidad de los suelos, al tiempo que logren aceptación social. El uso de microorganismos benéficos como biofertilizantes representa una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente para optimizar el crecimiento y la productividad de los cultivos. No obstante, la producción a gran escala de biofertilizantes implica diversos desafíos, como alcanzar altas concentraciones celulares, garantizar la inocuidad del producto mediante la eliminación de contaminantes y reducir los costos de producción. Superar estos desafíos es fundamental para lograr una adopción generalizada de los biofertilizantes como soluciones eficientes y viables en la agricultura moderna.

Agradecimientos

A los colaboradores del trabajo

Fuente financiadora

Tecnológico Nacional de México

Referencias

García-Fraile, P., Carro, L., Robledo, M., Ramírez-Bahena, M.-H., Flores-Félix, J.-D., Fernández, M. T., Mateos, P. F., Rivas, R., Igual, J. M., Martínez-Molina, E., Peix, Á., & Velázquez, E. (2012). Rhizobium Promotes Non-Legumes Growth and Quality in Several Production Steps: Towards a Biofertilization of Edible Raw Vegetables Healthy for Humans. *PLoS ONE*, 7(5), e38122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038122>

Manzano-Gómez, L. A., Rincón-Rosales, R., Flores-Felix, J. D., Gen-Jimenez, A., Ruíz-Valdiviezo, V. M., Ventura-Canseco, L. M. C., Rincón-Molina, F. A., Villalobos-Maldonado, J. J., & Rincón-Molina, C. I. (2023). Cost-Effective Cultivation of Native PGPB Sinorhizobium Strains in a Homemade Bioreactor for Enhanced Plant Growth. *Bioengineering*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/bioengineering10080960>

Rincón-Molina, C. I., Martínez-Romero, E., Manzano-Gómez, L. A., & Rincón-Rosales, R. (2022). Growth Promotion of Guava "Pear" (*Psidium guajava* cv.) by *Sinorhizobium mexicanum* in Southern Mexican Agricultural Fields. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/su141912391>

Rincón-Molina Clara Ivette, Manzano-Gómez Luis Alberto, García-Pérez Luis Galdino, Rincón-Molina Francisco Alexander, & Rincón-Rosales Reiner. (2025). Advances and challenges in the production and use of native bacteria as plant probiotics in agronomic applications: A Mexican review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101917. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2025.101917>

Rincón-Rosales, R., Lloret, L., Ponce, E., & Martínez-Romero, E. (2009). Rhizobia with different symbiotic efficiencies nodulate *Acaciella angustissima* in Mexico, including *Sinorhizobium chiapanecum* sp. nov. which has common symbiotic genes with *Sinorhizobium mexicanum*. *FEMS Microbiology Ecology*, 67(1), 103–117. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2008.00590.x>



CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y GERMINATIVA DE SEMILLAS DE LAS LÍNEAS PARENTALES DEL HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL VAMPIRO H10

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández^{1*}, José Luis Arellano-Vázquez¹, Estela Flores-Gómez¹, Martín Filiberto García-Mendoza¹, Kate D. Eguía-Cruz¹, Fernanda Valdez-Vivar¹

¹Campo Experimental Valle de México

*Autor para correspondencia: gfgutierrez@ipn.mx

Palabras clave. Desarrollo de plántulas, dimensiones de semilla, germinación.

Introducción

Destacan los maíces pigmentados por su contenido de carotenos o antocianinas (López-Martínez et al., 2009), estos maíces tienen propiedades funcionales y nutraceuticas *per se*, es decir, sin necesidad de tratamientos postcosecha y se consideran alimentos biofortificados obtenidos mediante mejoramiento genético convencional; se incluyen junto a cultivos que, a través de cruzamientos genéticos, adición de fertilizantes o por transgénesis, se han enriquecido con vitaminas o minerales (Ofori et al., 2022; Zulfiqar et al., 2024).

Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides (Shah et al., 2016) que confieren el atractivo y peculiar color azul al grano de maíz; esto en una gradación diversa de tonalidades e intensidades (Arellano-Vázquez et al., 2021). Estos pigmentos se localizan en el pericarpio y/o en la aleurona del cariósido.

El grano de maíz azul es ingrediente básico de multitud de platillos de la cocina mexicana tradicional; a esto se suma que las múltiples propiedades nutraceuticas y funcionales reportadas recientemente para las antocianinas (anticancerígenas, reductoras de lípidos, antidiabéticas, antiinflamatorias, antimicrobianas, antioxidantes) (Shah et al., 2016) han incrementado su consumo, por lo que la producción actual no cubre su alta y creciente demanda.

Las líneas endogámicas de maíz constituyen el soporte genético para la formación de híbridos de rendimiento alto y características agronómicas idóneas, mediante los cuales se contribuya a incrementar la producción de este grano sumamente apreciado; por eso, se deben analizar desde perspectivas diversas y concederles la relevancia que intrínsecamente poseen.

Objetivo

En este sentido, el objetivo del presente estudio fue cuantificar la aptitud germinativa y las dimensiones físicas de las semillas de las líneas parentales del híbrido de maíz azul Vampiro H10.

Materiales y Métodos

Material genético

Se emplearon semillas de las líneas del híbrido trilineal de maíz azul Vampiro H10 (cuadro 1) desarrollado en el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Azul del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX, INIFAP).

Cuadro 1. Descripción de las líneas (tratamientos) parentales del híbrido de maíz azul Vampiro H10 (Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Chapingo, México, 2022).

Genotipos	Genealogía	Endogamia (%)
Líneas parentales		
A	NXOAX-19-5-1-1-2	96.87
B	BXCC-54-11-1-1-1	96.87
C	BXCC-5-9-6	87.50

Las semillas mencionadas se produjeron en el 2022 (ciclo primavera-verano), bajo condiciones de temporal, en el CEVAMEX (Chapingo, México, 19° 29' L N y 98° 53' L O), a 2240 m de altitud, con clima

templado, suelo de textura arcillo-arenosa y promedios anuales de precipitación y temperatura de 643 mm y 15.1 °C, respectivamente (García, 2022). La parcela experimental fue de cuatro surcos de 5 x 0.8 m, con 26 plantas por surco y 0.2 m de separación entre ellas. La densidad de población fue de 65 mil plantas ha⁻¹ y la dosis de fertilización (kg ha⁻¹) fue N (120), P (60), K (30).

Características físicas de las semillas

Peso de semillas (PS, mg). Las semillas se pesaron en balanza analítica (AE Adam P W 184, precisión 0.1 mg). La anchura (AS), el espesor (ES) y la longitud (LS) de las semillas se midieron (mm) con vernier digital (Mitutoyo CD-6 CSX). El volumen (VS, mm³), la densidad relativa (DRS, g/cm³) y los cocientes AS/LS y ES/LS de las semillas, se calcularon de acuerdo con las guías de descripción varietal de maíz (González et al., 2014).

Características fisiológicas de las semillas

Germinación

Se utilizó la prueba de germinación estándar (ISTA, 2022). Las semillas se colocaron en papel saturado de humedad, el cual se enrolló y colocó verticalmente, en bolsas de plástico, en cámara de germinación a 25 ± 2 °C y 100 % h. r. Transcurridos siete días de incubación se contabilizaron (%) las plántulas normales generadas (PN), *i. e.*, aquellas que mostraron coleóptilo, plúmula, radícula seminal y al menos dos raíces adventicias; se contaron también las plántulas anormales (PA), clasificadas así porque carecieron de alguna de las estructuras anteriores, y las semillas sin actividad metabólica aparente (SI). La germinación de las semillas se consideró equivalente a la proporción de PN producidas.

Desarrollo de plántulas.

En las plántulas normales, se midieron (mm) las longitudes de plúmula (PLU), radícula (RAD) y total (LT); además, estas estructuras se secaron (80 °C, 3 d) en estufa (RIOSSA H-102. USA) y se determinó (mg) su peso seco (PSP, PSR y PST, respectivamente).

Análisis estadístico

Los experimentos se efectuaron con un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones de 100 semillas. Se probó la significancia de los tratamientos con un análisis de varianza y las medias de tratamientos se compararon mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). El procesamiento estadístico de los resultados se hizo con el programa SAS (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

La mayoría de las variables de respuesta del presente estudio resultaron estadísticamente significativas en el análisis de varianza, a excepción de AS, RAD, LT y PSR (datos no mostrados).

Caracterización física y fisiológica

En la comparación estadística de medias (cuadro 2), los descriptores físicos de la semilla PS, VS, LS y AS fueron más altos en A y B e inferiores ($P \leq 0.05$) en el tratamiento C. En los aspectos fisiológicos, el tratamiento C fue superior ($P \leq 0.05$) en DRS, AS/LS y ES/LS. Los tratamientos A y B tuvieron la cantidad menor ($P \leq 0.05$) de SI y, en contraparte, el C la más alta.

Conclusiones

Las líneas A y B tuvieron semillas más grandes y pesadas que la línea C; además de que evidenciaron una capacidad más elevada para desarrollo de plántula Línea C.

Cuadro 2. Comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) de las características físicas y fisiológicas de las semillas de las líneas parentales del híbrido de maíz azul Vampiro H10 (UPIBI, IPN. Ciudad de México, México, 2023).

Variable	Tratamientos			Tukey
	A	B	C	
PS (mg)	22.06 a	21.70 a	16.66 b	2.26
VS (mm ³)	367.29 a	353.16 a	290.17 b	55.69
LS (mm)	11.55 ab	10.92 b	9.79 c	0.85
AS (mm)	7.23 a	6.35 b	6.58 b	0.55
ES (mm)	4.40 b	5.09 a	4.50 b	0.43
DSR	1.07 b	1.06 b	1.37 a	0.17
AS/LS	0.63 ab	0.59 b	0.67 a	0.08
ES/LS	0.38 b	0.47 a	0.46 a	0.06
PN (%)	50 ab	68 ab	45 b	34.98
PA (%)	5 a	5 a	5 a	13.81
SI (%)	45 ab	27 ab	50 a	31.64
PLU (mm)	9.59 a	7.45 ab	6.23 b	2.79
RAD (mm)	12.80 a	13.45 a	12.50 a	2.57
TL (mm)	22.39 a	20.91 a	18.73 a	4.22
PSP (mg)	0.17 ab	0.16 ab	0.10 b	0.10
PSR (mg)	0.17 a	0.20 a	0.15 a	0.16
PST (mg)	0.34 bc	0.36 abc	0.26 c	0.25

En hileras, letras diferentes indicaron diferencias significativas. Tukey=Diferencia significativa mínima, PS=Peso de semilla, VS=Volumen de semilla, LS=Longitud de semilla, AS=Ancho de semilla, ES=Espesor de semilla, DSR=Diámetro relativo de semilla, PN=Plántulas normales, PA= Plántulas anormales, SI=Semillas inertes, PLU=Longitud de plúmula, RAD=Longitud de radícula, LT=Longitud total, PSP=Peso seco de plúmula, PSR=Peso seco de radícula, PST=Peso seco total, AS/LS=Ancho de semilla/Longitud de semilla, ES/LS=Espesor de semilla/Longitud de semilla.

Referencias bibliográficas

- Arellano-Vázquez, J.L.; Herrera-Zamora, A.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Ceja-Torres, L.F.; Flores-Gómez, E. 2021. Color, contenido de antocianinas y dimensiones de semilla en líneas endogámicas de maíz azul y sus cruces. *IDESIA (Chile)* 39, 3. 75-82.
- García, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Available online: https://cdigital.dgb.uanl.mx/la/1020081042/1020081042_011.pdf. (Accessed on 4 November 2022).
- ISTA (International Seed Testing Association). International Rules for Seed Testing. Rules. Available online: http://www.seedtest.org/en/international-rules-_content---1--1083.html (accessed on 19 October 2022).
- López-Martínez, L.X.; Oliart-Ros, R.M.; Valerio-Alfaro, G.; Lee, C.H.; Parkin, K.L.; García, H.S. 2009. Antioxidant activity, phenolic compounds, and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Sci Tech* 42. 1187–1192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>.
- Ofori, K.F.; Antonello, S.; English, M.M.; Aryee, A.N.A. 2022. Improving nutrition through biofortification—A systematic review. *Front Nutr* 9. 1043655. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1043655>.
- Rocandio-Rodríguez, M.; Santacruz-Varela, A.; Córdova-Téllez, L.; López-Sánchez, H.; Castillo-González, F.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J.J.; Ortega-Paczka, R. 2014. Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Rev Fitotec Mex* 37. 351-361.
- SAS (Statistical Analysis System). SAS/STAT Ver. 9. SAS Inst. Inc. 2002, Cary NC, USA.
- Shah, T.R.; Prasad, K.; Kumar, P.; Yildiz, F. 2016. Maize—a potential source of human nutrition and health: A review. *Cogent Food Agric* 2, 1. <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1166995>
- Zulfiqar, U.; Khokhar, A.; Maqsood, M.F.; Shahbaz, M.; Naz, N.; Sara, M.; Maqsood, S.; Sahar, S.; Hussain, S.; Ahmad, M. Genetic biofortification: advancing crop nutrition to tackle hidden hunger. 2024. *Funct Integr Genomics* 24, 34. <https://doi.org/10.1007/s10142-024-01308-z>.

AVANCES Y DESAFÍOS EN LA BIOSEGURIDAD DE OGM PARA LA CONSERVACIÓN DEL MAÍZ Y ALGODÓN NATIVOS EN MÉXICO

Cinthia Valentina Soberanes Gutiérrez

Secretaría Ejecutiva de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (S Ej Cibiogem)

Palabras clave. Bioseguridad, maíz nativo, algodón silvestre, transgénicos, monitoreo participativo, conservación genética, soberanía alimentaria y textil.

Introducción

México, como centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays*) y del algodón (*Gossypium hirsutum*), enfrenta retos importantes en la conservación de su agrobiodiversidad debido a la dispersión no intencional de organismos genéticamente modificados (OGM). El uso extendido de cultivos transgénicos ha generado impactos ambientales, sociales y culturales, particularmente en regiones donde existen variedades nativas y silvestres que representan un patrimonio biocultural invaluable.

Este trabajo presenta un análisis técnico y contextual de la situación actual del maíz y el algodón nativo en México, enfocándose en regiones clave del sur y sureste del país. Se documentan los mecanismos de introgresión genética a partir de eventos transgénicos liberados, así como los principales vacíos normativos y logísticos que obstaculizan la implementación efectiva de la bioseguridad.

A partir del análisis de experiencias previas de monitoreo en campo, estudios científicos y la revisión de las capacidades de detección en laboratorios nacionales, se propone una estrategia integral que incluye: i) fortalecimiento de redes de monitoreo participativo y molecular, ii) vinculación con comunidades custodias del germoplasma nativo, iii) desarrollo de metodologías de diagnóstico accesibles para regiones rurales, y iv) diseño de políticas públicas con enfoque precautorio, culturalmente pertinente y sustentado en evidencia científica.

La propuesta busca contribuir a la consolidación de una red nacional de bioseguridad comunitaria que promueva el resguardo in situ del maíz y algodón nativos, fomentando la soberanía alimentaria y textil del país frente a los desafíos del modelo agroindustrial.

Objetivos

1. Documentar evidencias científicas sobre la presencia de transgenes en maíz y algodón nativo en México.
2. Proponer estrategias técnicas, normativas y participativas para el fortalecimiento del monitoreo, identificación de contaminación transgénica y acciones de bioseguridad participativa.

Materiales y Métodos

Se realizó un análisis documental y técnico de reportes científicos sobre eventos de contaminación transgénica, además de casos registrados por instituciones públicas y organizaciones comunitarias. Se identificaron laboratorios con capacidades de detección de OGM mediante PCR en tiempo real y convencional. Para proponer estrategias de monitoreo, se consideró la integración de herramientas

moleculares como marcadores universales (P35S, Tnos) y genes endógenos, y se diseñó un modelo de bioseguridad participativa en colaboración con comunidades productoras de maíz y algodón nativo.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis muestran que es necesario fortalecer las capacidades para tener una mayor cobertura de monitoreo sistemático en regiones de alta diversidad genética, desde 2001 se ha identificado la dispersión de transgenes en zonas como la Sierra Norte de Oaxaca y la frontera sur de Chiapas (Quist & Chapela, 2001; Piñeyro-Nelson et al., 2009). Asimismo, la mayoría de los laboratorios necesitan contar con protocolos estandarizados y de financiamiento sostenido. El caso del algodón silvestre es especialmente grave, ya que estudios de la UNAM han reportado presencia de eventos como MON88913 en poblaciones silvestres. Se identificaron vacíos normativos en la Ley de Bioseguridad que dificultan la respuesta oportuna ante eventos de contaminación, así como ausencia de protocolos de remediación. En 2024, se fortaleció el Laboratorio Nacional de Monitoreo y Detección de OGM con ocho laboratorios regionales distribuidos en diversas instituciones públicas, lo cual ha permitido ampliar la capacidad técnica y territorial de detección. Sin embargo, se requieren acciones complementarias como la articulación con redes comunitarias, la capacitación técnica local y protocolos para la contención y remediación. Se destaca la necesidad de fortalecer la vigilancia comunitaria con base en metodologías participativas.

Conclusiones

La consolidación del Laboratorio Nacional de Monitoreo de OGM representa un avance institucional clave, pero es necesario articularlo con políticas públicas territoriales, mecanismos de justicia ambiental y participación de pueblos originarios. Es indispensable priorizar las zonas de alta diversidad genética e implementar estrategias de bioseguridad participativa. La bioseguridad integral debe ir más allá del laboratorio y la norma, y traducirse en acciones preventivas, participativas y de fortalecimiento comunitario. Es necesario fortalecer la red nacional de laboratorios para la detección de OGM, estandarizar las técnicas moleculares, y establecer una estrategia nacional de monitoreo participativo que incluya comunidades campesinas. La actualización del marco normativo debe considerar mecanismos de remediación genética y protección efectiva de los centros de origen.

Agradecimientos

Agradezco el apoyo brindado por la Secretaría Ejecutiva de la Cibiogem y al programa de Investigadoras e Investigadores por México de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI).

Referencias bibliográficas

Quist D and Chapela IH. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* **414**: 541–3. <https://doi.org/10.1038/35107068>

Pérez-López J, Alavez V, Cerritos R, *et al.*, 2023. Residual Effects of Transgenic Cotton on the Intestinal Microbiota of *Dysdercus concinnus*. *Microorganisms* **11**: 261. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020261>.

Dyer, GA; Serratos-Hernández, JA; Perales, HR; *et al.*, 2009. Dispersal of transgenes through maize seed systems in Mexico. *PloS one*, 4(5): e5734. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0005734>

Vazquez-Barrios, V., Boege, K., Sosa-Fuentes, T. G., Rojas, P., & Wegier, A. 2021. Ongoing ecological and evolutionary consequences by the presence of transgenes in a wild cotton population. *Scientific Reports*, 11(1), 1959. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81567-z>.

Wegier, A., Piñeyro-Nelson, A., Alarcón, J., *et al.*, 2011. Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin *Molecular ecology* , 20 (19), 4182-4194. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05258.x>



ASOCIACIÓN DE *Trichoderma* spp. CON CRUZAS AVANZADAS DE MAÍZ Y UNA POBLACIÓN NATIVA

Petra Andrade-Hoyos¹, Arleth Abigail Reyna-Ayala^{2*}, César del Ángel Hernández-Galeno³, Noel Orlando Gómez-Montiel³, José Francisco Díaz-Nájera⁴, Natividad Delfina Herrera-Castro², José Luis Valenzuela-Lagarda², Elías Hernández-Castro², José Alberto Urieta-Velázquez⁵

¹INIFAP, CE Zacatepec. ²Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FCAA-UAGro). ³INIFAP, CE Iguala. ⁴Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO). ⁵INIFAP, CENID-RASPA

*Autor para correspondencia: abigailaara2024@gmail.com

Palabras clave. Bioestimulación, *Trichoderma* spp., maíz nativo.

Introducción

El maíz grano es el cimiento de la alimentación mexicana, cultura y origen de los pueblos y parte de la trilogía de la alimentación prehispánica junto con el frijol y el chile. Es una especie de gramínea anual originaria y domesticada en el centro de México desde hace 10 000 años. Este cereal era esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición. México se encuentra en el 7mo. lugar como productor a nivel mundial con 22, 663. 953 toneladas al año. Gracias a las condiciones orográficas que tiene el estado de Sinaloa, la infraestructura de riego y su avanzada capacidad tecnológica es considerado líder productor de este grano a nivel nacional con 6, 590, 097 millones de toneladas (SADER, 2017), generando el 29.9 % de la producción total de maíz, seguido por Jalisco con el 8.9 %, Guanajuato con el 7.6 % y Michoacán con 7.6 % (SADER, 2023), Guerrero ocupa el sexto lugar en producción de maíz a nivel nacional y durante el 2018 registró una cosecha de 1, 335. 918 toneladas, con 90 % de grano blanco y el resto amarillo y azul (SADER, 2019).

La semilla es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas (Doria, 2010), las semillas pueden portar patógenos que afectan su germinación. Altos porcentajes de infección de semillas con estos patógenos pueden comprometer el establecimiento y el rendimiento de los cultivos y facilitar la introducción de enfermedades en predios sin antecedentes de ellas (Rossi, 2008). Por ello es importante que la semilla mantenga su calidad física, fisiológica, genética y sanitaria (Raya *et al.* 2012). Actualmente el uso de microorganismos promotores del crecimiento vegetal es una considerable herramienta para la agricultura, las interacciones rizosféricas entre plantas y estos son determinantes y fundamentales en la sanidad de los cultivos, la fertilidad del suelo y productividad (Palacios *et al.*, 2023), el género *Trichoderma* es uno de los agentes de control biológico más estudiado, por su habilidad de antagonizar con hongos fitopatógenos en condiciones naturales. Los principales mecanismos de biocontrol atribuidos a este género son el micoparasitismo, la competencia por espacio y nutrientes y la producción de metabolitos secundarios, tales como sideróforos, antibióticos y enzimas (Harman, 2007). Algunas especies de *Trichoderma* producen altas concentraciones de ácido indol-3-acético (AIA), este es una de las fitohormonas más importantes que se distribuye ampliamente y es esencial en las plantas. Las aplicaciones exógenas de AIA estimulan formación de raíces y acrecentamiento de pelos radicales y mejora la absorción de nutrientes, lo que conlleva al aumento de biomasa vegetal (Fu *et al.*, 2015).

Objetivo

El objetivo de la investigación fue inocular con *Trichoderma* sp.}la semilla de maíz para evaluar la germinación, emergencia y presencia de *Trichoderma* en raíces.

Materiales y Métodos

El experimento se estableció en el INIFAP, campo experimental Zacatepec, Morelos, en el laboratorio de Microorganismos, ubicado en el Km 0.5 carretera Zacatepec–Galeana. Se utilizaron las cepas de *Trichoderma* spp. TC2, TC3 y T? aplicados a la semilla de los materiales de maíz LT11, VS535, H565, V236, T12XCLWN247 y una variedad nativa de la raza Pepitilla, obteniendo los siguientes tratamientos: T1.TC2-LT11, T2. TC2-VS535, T3. TC2-H565, T4. TC2-T12XCLWN247, T5. TC2-PEPITILLA, T6. TC3-LT11, T7. TC3-VS535, T8. TC3-H565, T9. TC3-T12XCLWN247, T10. TC3-PEPITILLA, T11. TC?-LT11,

T12. TC?-VS535, T13. TC?-H565, T14. TC?-T12XCLWN247, T15. TC?-PEPITILLA, T16. Testigo-LT11, T17. Testigo-VS535, T18. Testigo- H565, T19. Testigo-T12XCLWN247, T20. Testigo-PEPITILLA, utilizando un diseño completamente al azar con 4 repeticiones. Se seleccionaron veinte semillas de cada material, fueron colocadas en una malla y se sumergieron en hipoclorito de sodio al 2 % durante 3 min para evitar la presencia de patógenos, posteriormente se sumergió en agua estéril para enjuagar el hipoclorito, durante 1 min, este paso se repitió dos ocasiones. Finalmente, la semilla se colocó en una sanita para quitar el exceso de agua y se rotuló. Para la inoculación de *Trichoderma* a la semilla se utilizaron 200 mL de agua estéril de la solución de *Trichoderma* spp. a una concentración de 1×10^6 de UFC el microorganismo. En la campana de flujo laminar con la espátula previamente desinfectada y cercana dos mecheros encendidos se obtuvo la parte superficial de las cajas Petri con *Trichoderma*, hasta obtener el mayor número de conidios, posteriormente se le agrego un poco de agua estéril al interior de la caja para retirar los residuos y se colocó en el vaso de precipitado, se volvió a repetir el mismo procedimiento con la siguiente caja y al terminar se vació lo contenido en el vaso de precipitado al frasco de vidrio en conjunto con los 200 mL de agua, posterior a ello se agregaron 5 mL de la mezcla a la semilla + 1 mL de adherente por tratamiento, respectivamente.

Se tomó la variable porcentaje de germinación (%G), para ello se colocó 5 semillas de manera equidistante en cajas Petri con 2 sanitas húmedas con agua estéril de cada tratamiento, cada 24 horas se registró visualmente cuando el embrión se hincho y rompió la testa de la semilla, hasta el 100% de la germinación de las repeticiones, posterior a ello se obtuvo el porcentaje de germinación con ayuda de la siguiente formula:

$$\%G = \text{No de semillas germinadas} / \text{Total de semillas} * 100.$$

Posteriormente, las semillas fueron sembradas en vasos de unisel del número 10 con 250 gr de sustrato estéril de una mezcla previamente esterilizada en autoclave de peat moss y agrolita, para la variable porcentaje de emergencia (%E), las semillas ya germinadas se colocaron 5 por repetición en cada U.E (unidad experimental/vaso de unisel) y se tomó el dato cada 24 horas con la fórmula:

$$\%E = \text{No. de semillas emergidas} / \text{Total de semillas} * 100$$

y para la variable porcentaje de presencia (%P) de *Trichoderma* en raíz, se tomó al azar un fragmento de la raíz maíz de 1 cm de largo de las 5 plantas con 5 hojas verdaderas obtenidas por repetición de cada tratamiento respectivamente, previamente desinfectadas se procedió la siembra en cajas Petri con PDA, se colocó de manera vertical y equidistante cada una de las raíces en el interior de la campana de flujo laminar, se contabilizo el número de raíces con presencia de *Trichoderma* y se llevó a cabo la siguiente formula:

$$\%P = \text{Raíces colonizadas} / \text{Número total de raíces} * 100.$$

Se efectuó un análisis de varianza y la prueba de Tukey $\alpha \leq 0.05$ con el programa estadístico SAS 9.0.

Resultados y Discusión

En la evaluación de la variable %G la cruza de maíz LT11 (95 %) mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) con respecto a los demás materiales: V236, H565, PEPITILLA, VS535 y T12XCLWN247 (figura 1).

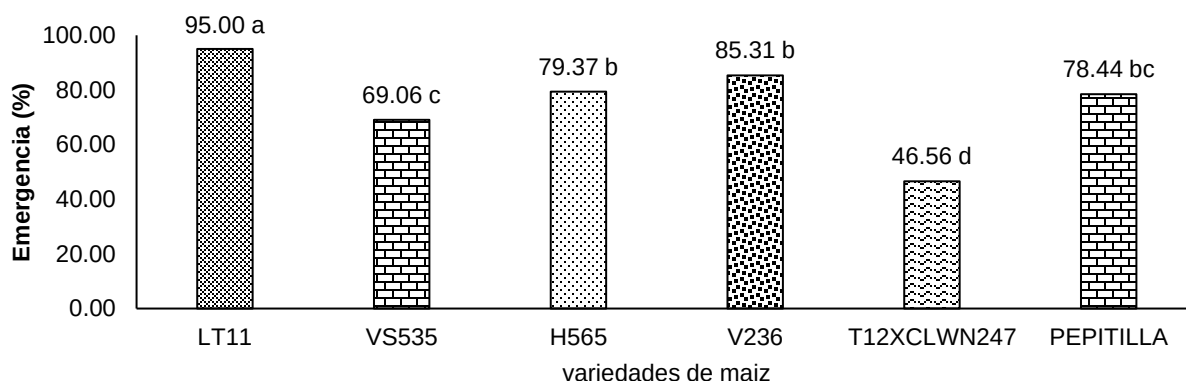


Figura 1. Porcentaje de emergencia de las variedades de maíz.

En relación al porcentaje de germinación no hubo diferencias estadísticas entre las variedades (figura 2).

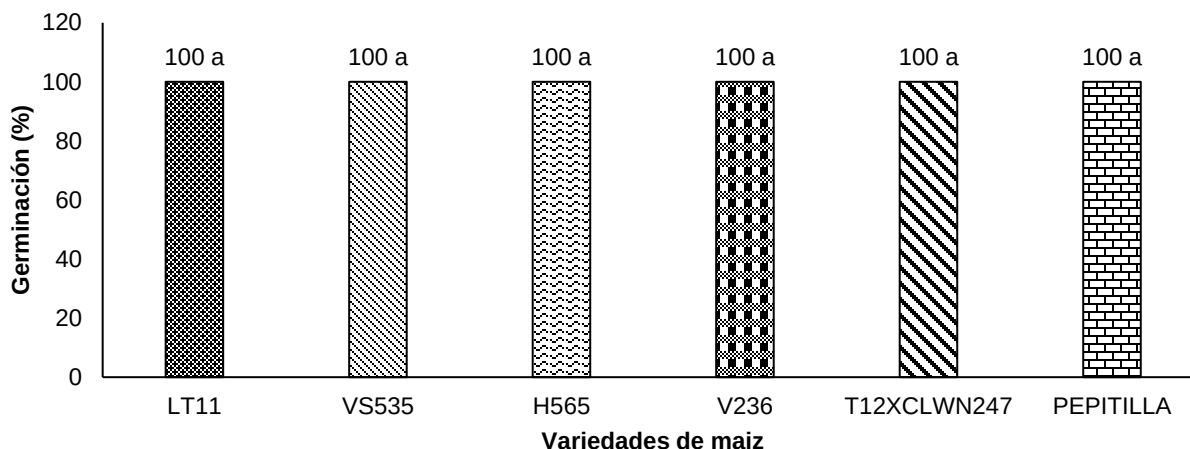


Figura 2. Porcentaje de germinación de las variedades de maíz.

Ortega *et al.*, (2021) al aplicar *Trichoderma* spp. en condiciones *in vitro* en semillas de maíz no tuvieron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) para esta variable; sin embargo, evidencian diferencias entre 39 y 105 conidios/mL de *Trichoderma* frente a 103 conidios/mL donde obtuvo un mayor porcentaje de germinación, en otro cultivo como lo reportaron Cubillos *et al* (2009) al utilizar *Trichoderma harzianum* en maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). Los tratamientos TCN-014 106, TCN-014-108 y TCC-005-108 presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), donde el porcentaje de germinación (PG), con valores de 93.3 %, 91.7 % y 91.1 % respectivamente, y en comparación con el testigo, de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

En la variable %E no se mostraron diferencias entre los tratamientos, similar a los resultados reportados por Tavera *et al.*, 2017 al inocular *Trichoderma harzianum* en *Zea mays*. La variable días a emergencia obtuvo el menor tiempo en las semillas irrigadas solo con agua con 10 días, valor estadísticamente diferente a la semilla con *T. harzianum* 20 g/100 g de semillas en (10 días), 30 g de *T. harzianum* /100 g de semilla (11días) y con 40 g de *T. harzianum*/100 g de semilla (11 días). Por otro lado, Villan *et al.*, 2019 al aplicar *Trichoderma harzianum* en semillas de trigo, en la variable porcentaje de emergencia obtuvo con la dosis de 300 mL del formulado comercial de *T. harzianum* (13.1 %), y el menor (7.8 %) con el tratamiento químico y con la dosis de 100 mL del formulado comercial y para la variable % de presencia de *Trichoderma* sp. presente en la raíz de maíz no se mostraron diferencias entre tratamientos, sin embargo, LT11 (73.75 %) obtuvo el menor porcentaje (figura 3).

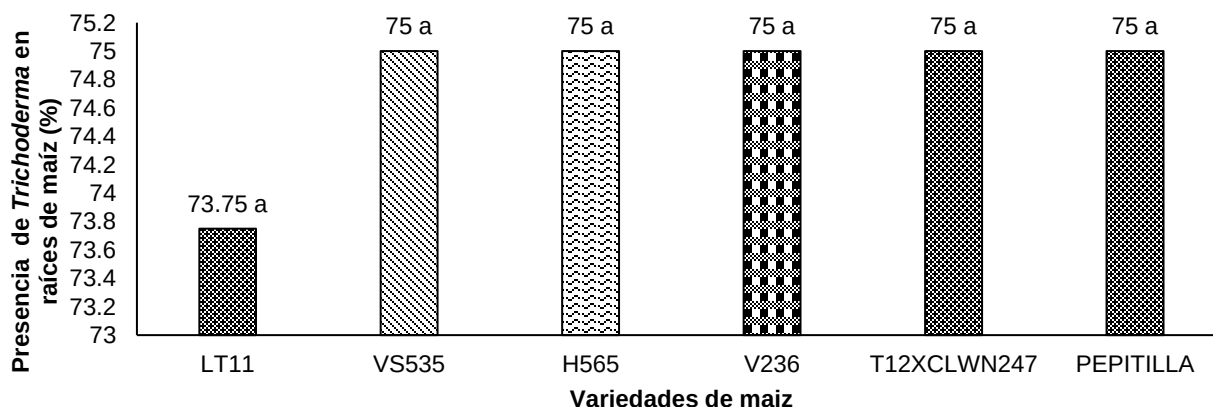


Figura 3. Presencia de *Trichoderma* spp. en las raíces de variedades de maíz.

Conclusiones

La inoculación de *Trichoderma* spp. benefició en el porcentaje de germinación a los materiales de maíz, por lo que el uso de este microorganismo endófito permite mejorar estimular el crecimiento sus características agronómicas de este cultivo, cabe señalar que la concentración de inoculo a la semilla dependerá de los efectos respuesta.

Agradecimientos y Fuente financiadora

En gratitud al INIFAP, Campo Experimental Zacatepec, Morelos por haber permitido la realización del experimento en el interior de las instalaciones del laboratorio Microorganismos, bajo la dirección de la Dra. Petra Andrade Hoyos.

Referencias bibliográficas

- Cubillos-Hinojosa, J., Valero, N., & Mejía, L. (2009). *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*, 27(1), 81-86.
- Fu, S.F., Wei, J.Y., Chen, H.W., Liu, Y.-Y., Lu, H.-Y., & Chou, J.-Y. (2015). Indole-3-acetic acid: A widespread physiological code in interactions of fungi with other organisms. *Plant signaling & behavior*, 10(8), e1048052. <https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1048052>
- Harman, G. E. (2007). Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant disease*, 84(4), 377-393. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2000.84.4.377>
- Ortega, Y. D. M., Collazos, K. S., Torrejano, V. M., Sterling, Y. C. G., Guzmán, Y. R., Tovar, S. A. O., & Ramírez, M. G. (2021). Efecto de la aplicación de *Trichoderma* spp en condiciones *in vitro* en el desarrollo vegetal de semillas de maíz (*Zea mays*). *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 8(1), 34-41.
- Palacios, C. W. S., Sánchez, N. M. R., Rosado, J. T. P., Puga, E. P., Cumbicus, J. J., Olaya, L. A., & Párraga, A. G. D. (2023). Aislamiento y evaluación de cepas nativas de *Trichoderma* spp., como promotor de desarrollo radicular. *CIENCIA UNEMI*, 16(42), 45-54.
- Tavera, D., Escareño, J. J. H., Ulibarri, G., & Yáñez, J. M. S. (2017). Inoculación de *Trichoderma harzianum* en *Zea mays* y su efecto a la adición del fertilizante nitrogenado al 50%. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(2), 115-123.

PRESENCIA DE HUITLACOCHÉ (*Ustilago maydis*) EN LA RUTA ELOTERA: UNA ALTERNATIVA CON POTENCIAL ECONÓMICO EN EL SUR DE QUINTANA ROO

Carmen Zavaleta-Córdova¹, Romeo Alejandro Sánchez-Zavalegui^{2*}, Fernando Arellano-Martín¹, Edgar Enrique Sosa-Rubio¹, Secundino Torres-Lamas¹, Gilberto Esquivel-Esquivel¹

¹ INIFAP. ² Universidad Politécnica de Bacalar

*Autor para correspondencia: romeozav21@gmail.com

Palabras clave. Hongo comestible, agricultura alternativa.

Introducción

El huitlacoche (*Ustilago maydis*) es un hongo comestible que crece de manera parasitaria en la estructura femenina del maíz (jilote y/o elote), tanto en el germoplasma mejorado como en el nativo. Conocido como el "caviar azteca", este producto ha sido parte de la gastronomía mexicana desde la época prehispánica, destacando por su sabor y su alto valor nutricional, ya que es rico en proteínas, aminoácidos esenciales y antioxidantes. En el sur de Quintana Roo, la ruta elotera es un corredor agrícola donde pequeños productores cultivan maíz principalmente para la venta de elotes, los cuales se comercializan en la capital del estado y otros mercados locales. Sin embargo, el precio por pieza de elote es bajo (entre \$2.0 y \$3.0), lo que genera ingresos limitados para los productores. Actualmente, los productores de la ruta elotera enfrentan bajas ganancias debido al incremento de los costos de producción. Mientras tanto, el huitlacoche que, en ocasiones aparece de forma abundante en sus cultivos, tiene un valor comercial significativamente mayor, cotizándose entre \$50.0 y \$150.0 por kilogramo en mercados gourmet y restaurantes especializados. A pesar de esta oportunidad, no existe un aprovechamiento sistemático del hongo en la región, ya que algunos productores lo desechan por desconocimiento de su valor o por falta de técnicas para su producción controlada y su conservación. El aprovechamiento del huitlacoche en la ruta elotera podría diversificar los ingresos de los productores, ofreciendo un producto de alto valor agregado, la comercialización podría integrarse a mercados locales como la zona hotelera de Cancún, donde la demanda de ingredientes gourmet y exóticos va en aumento. Esto sin duda podría mejorar la economía rural mediante precios más justos para los campesinos.

Objetivo

Analizar la presencia natural, aceptación y posible producción del huitlacoche en la ruta elotera del Sur de Quintana Roo.

Materiales y Métodos

Se realizó investigación exploratoria basada en una encuesta a 18 productores de elote en el Sur de Quintana Roo. Empleando la metodología de Montes (2000). La encuesta estuvo basada en preguntas puntuales y abiertas, distribuidas en siete procesos: 1.- Información general, 2.- Sistema de producción de maíz, 3.- Época de siembra, 4.- Establecimiento, 5.- Manejo, 6.- Cosecha, 7.- Consumo. Las encuestas se aplicaron en las localidades: Morocoy, San Pedro Peralta, La Libertad y El Limonar, municipio de Bacalar. Para el procesamiento cuantitativo y cualitativo, se realizó una base de datos con la información de las encuestas y se analizó a través de estadísticas descriptivas que sirvieron para identificar las principales características de distribución de datos a través de cuadros. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico RStudio. Para el geoposicionamiento de las zonas donde se aplicó la encuesta, se empleó inicialmente un receptor GPS Garmin, modelo eTrex 10, el cual presenta una precisión aproximada de ± 5 metros. Posteriormente, las coordenadas geográficas obtenidas fueron procesadas mediante el software Garmin Base Camp, lo que permitió su correcta captura y organización. Con base en esta información, se procedió a la elaboración de un mapa temático (Figura 1).



Las expresiones del hongo no tienen relación con la presencia o ausencia de plagas, por lo que la aplicación de algún insecticida no promueve ni inhibe al hongo. El que se observe mayor incidencia de huitlacoche en maíz nativo que en mejorado es por la composición genética que tiene cada uno. La presencia está directamente relacionada con el genotipo (sí hay maíces con mayor o menor susceptibilidad), la etapa fenológica (inicio del llenado de grano), alta humedad relativa, periodos de nubosidad seguidos de días

soleados con temperaturas de la media hacia arriba. Si no se cumple alguna de estas condiciones, aun inoculando es difícil tener resultados favorables.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la producción de huitlacoche está ampliamente relacionada con el cultivo de maíz nativo o criollo y su presencia es mayor durante el periodo de lluvia (junio a noviembre). La resistencia natural del maíz nativo a plagas, junto con la ausencia de agroquímicos, favorece el desarrollo del hongo.

Un hallazgo relevante es el interés unánime de los productores por aprovechar económicamente el huitlacoche, respaldado por su conocimiento y consumo tradicional. Esto sugiere una oportunidad para impulsar su cultivo controlado como alternativa de ingreso, siempre que se profundice en técnicas que permitan manejar su aparición sin afectar la producción principal.

Agradecimientos

A los productores de las localidades que colaboraron con información.

Fuente financiadora

SECIHTI

Referencias bibliográficas.

Montes G. Metodología y técnicas de diseño y realización de encuestas en el área rural. *Temas Sociales*. 2020. 21:39-50.

Gómez, M., Rodríguez, A., & Torres, E. (2020). *Caracterización del huitlacoche (Ustilago maydis) en maíces criollos del sureste mexicano*. Revista Fitotecnia Mexicana, 43(2), 145-153.

Juárez, L., Sánchez, J., & Mendoza, R. (2018). *Factores climáticos y agronómicos que influyen en la producción de huitlacoche*. Agrociencia, 52(5), 689-701.

Pérez, S., García, H., & Ruiz, M. (2021). *Diversidad de maíces criollos y su relación con la producción de huitlacoche en Quintana Roo*. Universidad Autónoma de Yucatán.

Valdez-Morales, M., Barry, K., & Fahey, G. (2014). *Huitlacoche (Ustilago maydis) as a functional food: Composition and biological properties*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(14), 3296-3304.

DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE TRES ESPECIES DE *SCAPTOTRIGONA* (APIDAE: MELIPONINI) EN MÉXICO, BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Rafael Iván Granados-Argüello^{1*}, Luis Eduardo García-Mayoral², Rosalío López-Morgado³

¹El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal de las Casas, Programa de Doctorado en Ciencias en Ecología y Desarrollo Sustentable. ² INIFAP, CIR Pacífico Sur, CE Valles Centrales. ³INIFAP, C.E.

Cotaxtla, S.E. Teocelo

*Autor para correspondencia: rafa_ivan2@hotmail.com

Palabras clave. Modelado de nicho ecológico, polinizadores, cambio climático.

Introducción

Las abejas sin aguijón del género *Scaptotrigona* representan un componente esencial de los ecosistemas tropicales mexicanos, tanto por su papel como polinizadores como por su valor cultural y económico en la meliponicultura tradicional (Quezada-Euán, 2018). Estudios previos han documentado que su distribución está influenciada principalmente por variables climáticas y la disponibilidad de hábitats idóneos (Ayala et al., 2013). Ante el escenario actual de cambio climático, se ha identificado la necesidad de evaluar los posibles impactos sobre estas especies, particularmente en México donde se concentra una importante diversidad de abejas de la tribu Meliponini (Michener, 2007).

Objetivos

Este trabajo tuvo como objetivos: (1) modelar la distribución potencial actual de tres especies del género *Scaptotrigona*; (2) proyectar cambios en su distribución bajo condiciones de cambio climático; y (3) identificar áreas prioritarias para su conservación.

Materiales y Métodos

Recolección de datos: Las coordenadas geográficas de cada especie para el modelo fueron obtenidas con el software QGIS versión 3.42.00 utilizando el complemento GBIF OCURRENCE. Se obtuvieron 8,702 registros que posteriormente fueron depurados eliminando coordenadas duplicadas para finalmente conseguir: 164 observaciones de *S. hellwegeri*; 402 de *S. mexicana*; y 461 de *S. pectoralis*.

Variables ambientales: Se utilizaron 19 variables bioclimáticas de WorldClim versión 2.1 a una resolución de 2.5 arcos-minuto (4.62 kms), junto con un modelo digital de elevación (DEM). Mediante una matriz de similitud se eliminaron variables altamente correlacionadas ($r > 0.85$) y se ajustaron los valores de los mapas resultantes a una probabilidad de aparición de > 0.70 .

Modelado: El análisis se realizó con el algoritmo MaxEnt, utilizando el 75% de los datos para entrenamiento y el 25% para validación. La evaluación del modelo se realizó mediante curvas ROC (AUC). El primer modelo consideró idoneidad climática en condiciones actuales y la segunda proyección fue con escenario de cambio climático a futuro (periodo 2041-2060) considerando el pronóstico SSP585, que representa una estimación de desarrollo basado en un crecimiento económico rápido y un alto uso de combustibles fósiles.

Resultados y Discusión

Distribución actual: Los modelos mostraron distribuciones específicas para cada especie: *S. mexicana* en regiones del Golfo (Veracruz, Puebla) y Chiapas (AUC = 0.952); *S. hellwegeri* en la Costa del Pacífico (Oaxaca a Nayarit; AUC = 0.923); *S. pectoralis* en el Sureste (Chiapas, Quintana Roo) y centro de Veracruz (AUC = 0.925).



Figura 9. Distribución potencial con idoneidad climática en condiciones actuales.

Impacto del cambio climático: Se proyectaron pérdidas significativas de hábitat idóneo: *S. mexicana* 68.2% (de 1,464,216 ha a 466,041 ha); *S. pectoralis* 54.9% (de 1,524,535 ha a 687,482 ha); *S. hellweyeri* 19.6% (de 2,032,704 ha a 1,634,804 ha).



Figura 10. Distribución potencial con idoneidad climática en condiciones de cambio climático escenario SSP585.

Áreas de traslape: La superficie de distribución compartida entre *S. mexicana* y *S. pectoralis* disminuiría de 456,108 ha a solo 22,729 ha (95% de reducción).

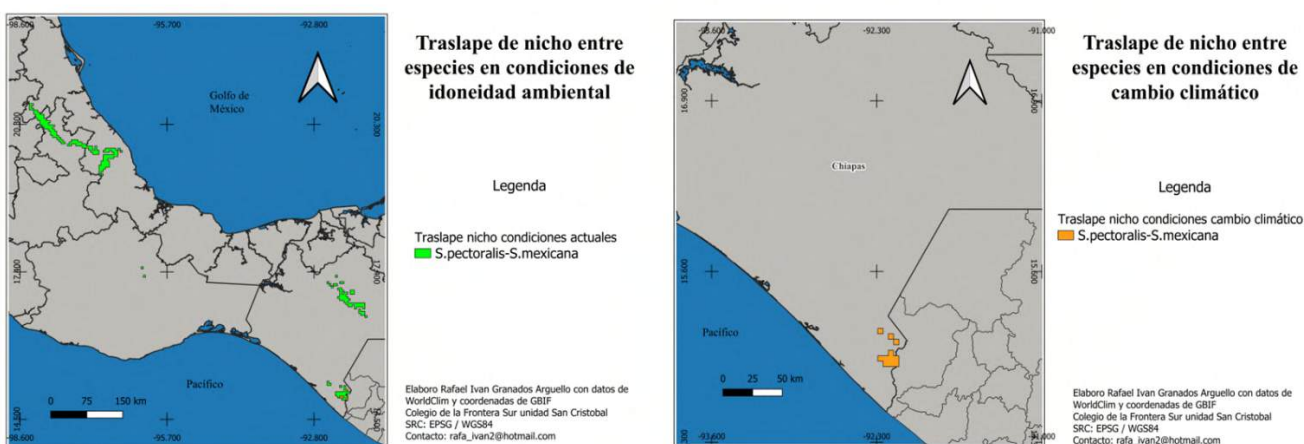


Figura 11. Traslape de áreas de distribución potencial entre especies en condiciones actuales y con escenario de condiciones de cambio climático.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios previos que han documentado la sensibilidad de las abejas de la tribu Meliponini al cambio climático (Sánchez-Tolentino et al., 2019). La marcada reducción en las áreas de distribución, particularmente para *S. mexicana* y *S. pectoralis*, podría estar asociada a su mayor

dependencia de condiciones de humedad y temperatura estables. La pérdida de áreas de traslape entre especies sugiere posibles cambios en las interacciones ecológicas y en los servicios de polinización que estas proveen. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar medidas de conservación en las áreas que mantendrán condiciones adecuadas según las proyecciones, particularmente en Quintana Roo para *S. pectoralis* y en la región central de Veracruz para *S. mexicana*.

Conclusiones

Los modelos de distribución proyectan patrones diferenciales de vulnerabilidad para las tres especies de *Scaptotrigona* analizadas, revelando reducciones significativas en sus áreas de distribución potencial bajo escenarios de cambio climático. Particularmente alarmante resulta el caso de *S. mexicana*, que podría perder hasta el 68% de su hábitat, seguida de *S. pectoralis* con un 55% de reducción. En contraste, *S. hellwegeri* muestra notable resiliencia (solo 20% de pérdida), atribuible probablemente a su historia de vida en condiciones ambientales más heterogéneas de la costa del Pacífico mexicano, donde ha desarrollado mayor plasticidad ecológica.

La drástica disminución (95%) en las áreas de traslape entre *S. mexicana* y *S. pectoralis* representa una amenaza crítica para la estabilidad de los ecosistemas, son nodos clave para: (1) el mantenimiento de redes complejas de polinización, (2) el flujo génico entre poblaciones, y (3) la provisión de servicios ecosistémicos esenciales. Esta pérdida podría desencadenar efectos en cascada sobre la estructura y función de las comunidades vegetales que dependen de estos polinizadores.

Las proyecciones identifican regiones específicas como refugios climáticos prioritarios que demandan acciones de conservación inmediatas y bien focalizadas. La preservación de estas especies ante el cambio climático exige integrar el conocimiento tradicional con innovaciones técnicas enfocadas a los futuros escenarios ecológicos.

Referencias bibliográficas

- Ayala, R., González, V. H. y Engel, M. S. (2013). Biodiversidad de abejas nativas en México. UNAM.
- Michener, C. D. (2007). The Bees of the World. Johns Hopkins University Press.
- Quezada-Euán, J. J. G. (2018). The Meliponini bees of Latin America. Springer.
- Sánchez-Tolentino, L. A., Pérez-Sato, J. A., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Páez, R., Contreras-Oliva, A., Hernández-Cázares, A. S. y Gómez-Merino, F. C. (2019). Análisis distribucional de la abeja sin aguijón *Scaptotrigona mexicana* (Apidae: Meliponini) en México: Información de referencia para Veracruz. *Agro Productividad*, 12(8). <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1479>

EXTRACTO DE PLANTA NATIVA DEL DESIERTO SONORENSE COMO ANTAGONISTA DE *Fusarium* *sp*

Rodolfo Montes-Rentería, Alba Rocio Ochoa-Meza, Julio César García Urías*, Francisco Guadalupe Bojórquez-Corral

Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Yaqui

*Autor para correspondencia: jgarcia.urias@itvy.edu.mx

Palabras clave. *In vitro*, biodiversidad, zonas áridas.

Introducción

El género *Fusarium* es responsable de múltiples enfermedades en la agricultura, provocando pérdidas económicas y disminuyendo la producción, tanto en campo abierto como en ambientes controlados, siendo el monocultivo y la intensidad en el sistema de producción los factores que magnifican el impacto de la enfermedad. Los síntomas observados en la planta van desde la marchitez en la parte aérea hasta la pudrición de raíces.

En México, el género *Fusarium* reduce la productividad agrícola y tiene un efecto significativo en la seguridad alimentaria, ya que algunas especies de este, por ejemplo, *Fusarium oxysporum* es responsable de pérdidas en cultivos de tomate, trigo, maíz, frijol, fresa, chícharos, pepino, papaya, papa y plantas ornamentales (Ríos-Hernández *et al.*, 2021).

El control químico del hongo *Fusarium*, hasta principios del Siglo XXI, era el método preferido por los productores para mitigar los efectos de la presencia del hongo; sin embargo, las consecuencias ambientales y en la salud de las personas, provocados por los agroquímicos, han promovido el análisis de nuevas estrategias para el manejo de este patógeno. Por tanto, los extractos vegetales constituyen esa alternativa puesta a prueba para contrarrestar el efecto de agentes causales de enfermedades de interés agrícola. Se han elegido los extractos vegetales por su origen natural, por ser de costo accesible, por su facilidad para obtenerlo y por su limitada posibilidad para contaminar el ambiente y afectar la salud de las personas.

El wereke (*Ibervillea sonora*), es una planta del desierto sonorense, que ha sido estudiada como agente para el control de algunas enfermedades. En su hábitat, la planta no es atacada por insectos o por patógenos, por lo que se asume que los metabolitos secundarios producidos por la especie ayudan a mantenerla sana, esto a pesar de no contar con ningún manejo por el ser humano. El análisis fitoquímico de la raíz ha dado como resultado, de manera cualitativa, la presencia de flavonoides, alcaloides, terpenos, coumarinas, quinonas, fenoles, esteroides, terpenos, saponinas, taninos, glicósidos cianogénicos, sesquiterpenlactonas y azúcares reductores.

La raíz del wereke, parte de la planta utilizada para la obtención de extractos, sobresale por encima del suelo, su forma general es redonda, como una calabaza, con un cuello que conduce a los brotes y varias raíces gruesas se extienden hacia abajo y puede llegar a ser muy grande y presenta un olor característico parecido al de una papa en la tierra; las flores masculinas son racimosas con pétalos pubescentes, el fruto es ovalado de color verde y en su madurez cambia su color a naranja; las semillas se encuentran cubiertas con una pasta de color rojo; después de trabajar con material fresco de wereke la nariz y la garganta se sienten secos, irritados y amargo, sensación que queda en los dedos, incluso después de varias lavadas.

Objetivos

Evaluar las propiedades antifúngicas del wereke como agente de control de *Fusarium sp* mediante evaluación *in vitro* para la identificación de la dosis letal mínima y dosis mínima inhibitoria.

Materiales y Métodos

El material vegetal fue extraído de plantas de wereke recolectado entre las Cuatrocientas y La Huichaca, paraje cercano al poblado de Pótam, Guaymas, Sonora; el ensayo *in vitro* fue llevado a cabo en las instalaciones del Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Yaqui en el laboratorio de Biotecnología.

Para la obtención del extracto se procesó la raíz fresca del *wereke* (a un día de la cosecha), con un rallador y se maceraron 500 g en 5 L de etanol-agua (70:30 v/v) conservándolo durante ocho días a 25°C, en condiciones de oscuridad. Transcurrido el tiempo de maceración, el extracto se filtró sobre gasas para eliminar el material vegetal de mayor tamaño utilizando una bomba de vacío EV40L, un matraz kitazato, embudo de porcelana y papel Whatman #5. Posteriormente, la mezcla se llevó al rotavapor a una temperatura de 75°C durante 30 minutos para disminuir el solvente.

Al concluir el procedimiento, el extracto se vació en placas de Petri para secarlo en un deshidratador a 40°C durante 22 horas, obteniendo una concentración del extracto de 20000 ppm.

El diseño experimental presentó un arreglo factorial y no completamente aleatorizado y se realizó con cinco tratamientos por triplicado con cada cepa: el tratamiento 1 (T1), 500 ppm del extracto wereke; tratamiento 2 (T2), 800 ppm del extracto; tratamiento 3 (T3), 1000 ppm del extracto, tratamiento 4 (T4), testigo, sin aplicación del extracto y tratamiento 5 (T5), fungicida comercial 1000 ppm de Clorotanilil®. El análisis estadístico fue realizado en el paquete estadístico SPSS mediante comparaciones múltiples de medias con la prueba de Tukey.

Para la reproducción de las cepas del hongo se utilizó agar papa dextrosa (PDA) esterilizado en autoclave durante 15 minutos a 120°C a 20 psi. El medio se acidificó con ácido tartárico al 10% y fue vaciado en placa de petri de 5 cm. Se inocularon 10 µL de *Fusarium* en placas de agar PDA por 7 a 10 días de 25 °C - 28 °C para su esporulación. Las cepas evaluadas fueron F02, F05 y F13, que pertenecen a la colección microbiana del Instituto Tecnológico del Valle del Yaqui.

Una vez que las cepas alcanzaron la etapa de esporulación, se procedió a la siembra utilizando la técnica de placa envenenada (Ramírez-Méndez *et al.*, 2024). Se adicionó el extracto al medio de cultivo. Previamente, el extracto se disolvió en una solución alcohol-agua (1:1). La mezcla se homogenizó en tubos de ensayo falcón y se vertió en placas de Petri (5 cm). Una vez que el medio polimerizó a temperatura ambiente, por picadura central se inoculó el hongo. La medición del crecimiento radial se realizó con un vernier a los 5, 7 y 9 días post inoculación.

Resultados y Discusión

Los datos del experimento indican que el crecimiento del hongo fue aumentando conforme el paso del tiempo. Los resultados muestran un patrón claro en el crecimiento del hongo con algunos tratamientos, destacándose por su capacidad para inhibir el crecimiento del patógeno en las primeras etapas del experimento. El análisis proporciona información valiosa sobre la efectividad de diferentes tratamientos en la inhibición del crecimiento fúngico y puede ser útil para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en fitopatología y control biológico.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Medida cuadrática	F	Significancia
Modelo corregido	23.63 ^a	28			
Intersección	103.874	1	0.827		
Tratamiento	15.676	4	103.874	106.015	0.000
CEPA	0.295	2	3.919	13311.463	0.000
Tiempo	2.080	2	0.147	502.210	0.000
Tratamiento*Cepa	0.796	8	1.040	18.874	0.000
Tratamiento*Tiempo	4.295	8	0.100	133.301	0.000
Cepa*Tiempo	0.022	4	0.537	12.751	0.000
Tratamiento*Cepa*	0.125	16	0.005	68.806	0.000
Tiempo	0.125	16	0.08	0.689	0.610
Error	127.162	45	0.008	0.1084	0.000
Total	23.288	44			
Total corregido					

Figura 1. Comparaciones múltiples con la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$ por tratamiento, cepa y tiempo.

a: R = 0.995 (R al cuadrado ajustada = 0.985). Fuente: elaboración propia.

El ajuste en el modelo ($r^2=0.995$) indica diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos; esto indica que las diferentes concentraciones aplicadas tienen diferencias significativas en el crecimiento del hongo. Por su parte, el análisis de los resultados por cepa indica que estas muestran diferencia significativa en el crecimiento cuando se les aplica el tratamiento del wereke. Respecto al tiempo, el análisis sugiere que el crecimiento de las cepas del hongo será afectado por el tiempo sembrado en el medio de cultivo establecido.

Respecto a las interacciones del tratamiento y cepa del hongo existe diferencia significativa respecto al crecimiento del hongo, significando que el crecimiento del hongo si estará afectado por la dosis del wereke aplicado. La interacción dada entre tratamiento y tiempo, se muestra estadísticamente una diferencia, sugiriendo que el crecimiento del hongo estará afectado por la cantidad de wereke aplicados en el medio de cultivo y los días que transcurran. Por otro lado, la interacción entre la cepa y el tiempo no muestra diferencia significativa, indicando que el tiempo de exposición del hongo a las dosis del wereke no tiene un efecto en el crecimiento.

Al comparar el crecimiento radial (cm) del hongo en el medio enriquecido se observa que la cepa F02 y F05 son estadísticamente diferentes; es decir, la respuesta a la dosis del wereke está en función de la cepa analizada. Respecto a la cepa F13, comparada con la cepa F02 y F05, es estadísticamente diferente. Entonces, la cepa se afecta en forma significativa por el tratamiento de wereke.

En contraparte, el análisis estadístico entre tratamientos indica que, independientemente de las dosis del extracto aplicado en el medio de cultivo donde la cepa se desarrolla, el crecimiento radial del hongo se sostiene. Existe diferencia significativa entre los tratamientos T1, T2 y T3 respecto al tratamiento control y el tratamiento testigo. Estos resultados sugieren que las dosis utilizadas para este experimento no representan una solución para inhibir el crecimiento de *Fusarium* en las cepas evaluadas.

La comparación de medias, entre el factor días de medición del crecimiento radial indica diferencias estadísticamente significativas. El tiempo influye sobre el crecimiento y existe una relación directa: conforme pasa el tiempo, el crecimiento de las cepas aumenta.

El análisis de los subconjuntos homogéneos, respecto al factor Tratamiento, los resultados indican que el T4 pertenece a un subconjunto, el T2 se ubica dentro de otro subconjunto y, finalmente, los T2, T3 y T1 están en otro subconjunto. Por ende, el análisis indica que no existe diferencia entre los tratamientos del wereke. Respecto a la interacción de cepa, el análisis de subconjuntos indica que no existe diferencia en el crecimiento de las cepas, ya que la varianza se ubica en un mismo subconjunto.

Mientras, el análisis de los subconjuntos de la variable Tiempo (días), los resultados indican que existe diferencia entre los días 5 y 9. La concentración del extracto es una de las variables que pueden analizarse en posteriores investigaciones con el wereke para promover el efecto inhibitorio del *Fusarium spp*; por ejemplo, la concentración del 20% de los extractos de salvia (*Salvia officinalis*) y tanaceto (*Tanacetum vulgare*) demostraron un fuerte efecto inhibitorio del hongo, demostrando que los polifenoles y los flavonoides les confieren la actividad antifúngica.

La revisión de los resultados sugiere que la eficacia de los extractos vegetales del wereke dependen de la concentración utilizada; en este experimento y para las cepas estudiadas, los resultados no reflejan una inhibición adecuada *in vitro*, pudiendo buscar otras alternativas, por ejemplo, aplicaciones foliares o como tratamiento en el suelo.

Es bien sabido que los extractos de plantas pueden no ser tan efectivos cuando se compara con un producto de síntesis química, sin embargo, su uso puede ser más seguro para el medio ambiente y menos perjudicial para la salud humana y animal, por lo que se recomienda realizar pruebas de sensibilidad del hongo y ajustar las dosis en experimentos posteriores. El uso del extracto del wereke es una opción para continuar explorando en la producción agrícola y es útil como elemento para el cuidado del ambiente y cuando se combina con otras prácticas agrícolas sostenibles.

Conclusiones

El extracto del wereke no tiene efecto significativo en el control del fitopatógeno *Fusarium spp*, pero no se descarta que en otras dosis o con otro solvente pueda tener mayor efecto. Los resultados de este trabajo sugieren que el extracto del wereke no constituye elemento inhibitorio del crecimiento del hongo *Fusarium*, con las cepas estudiadas. La concentración del extracto utilizado en el medio de cultivo no sugiere efectividad del wereke como agente antifúngico.

Agradecimientos

Al M.C. Aurelio Leyva Ponce, al Dr. Leandris Argente Martínez, a las personas de la comunidad originaria de Pótam, al personal del laboratorio de Biotecnología del Tecnológico Nacional de México Campus Valle del Yaqui y a todos aquellos que, de forma directa o indirecta, participaron en esta investigación.

Fuente financiadora

TECNM proyectos interno.

Referencias bibliográficas

Ramírez-Méndez J., Hernández-Castillo F., Gallegos-Morales G., Jasso-Cantú, D., Arredondo Valdés, R. y Tucuch-Pérez M. (2024). Efectividad biológica de extractos de *Agave striata* y *Fouquieria splendens* sobre *Pythium aphanidermatum* y *Rhizoctonia solani* *in vitro*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 42(4): 40. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2024-23>

Rios-Hernández, T., Uc-Varguez, A., & Evangelista-Martínez, Z. (2021). Control biológico de *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición del cormo en gladiolo, mediante estreptomicetos. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 39(3), 391-413. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2105-3>.

CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES EN ECOTIPOS DE MORA (*Morus SPP.*) NATURALIZADOS EN LA COMARCA LAGUNERA

María del Rosario Jacobo-Salcedo^{1*}, José Alberto Urrieta-Velázquez, Hilario Macías-Rodríguez, Erika Nava-Reyna ¹, Luis Ángel González-Espíndola

¹INIFAP, CENID - RASPA.; ²URUZA - UACH

*Autor para correspondencia: jacobo.rosario@inifap.gob.mx

Palabras clave. Cultivos alternativos, ecotipos, agricultura de conservación.

Introducción

Las moras (*Morus alba* y *Morus nigra*) son frutas reconocidas por su valor nutricional y su potencial para influir en la salud humana y la prevención de enfermedades. La calidad de estas frutas puede evaluarse mediante diversos parámetros, entre ellos están los azúcares disueltos en las frutas los cuales son estimados en términos de ° Brix. Esta medición indica la cantidad de sólidos disueltos en un medio líquido, donde la principal proporción son carbohidratos (glucosa, fructosa y sacarosa). Tradicionalmente las moras se han producido en distintos microambientes, para elaborar diversos productos como jugos, melaza, mermelada, vinagre y algunos productos de uso alimenticio. Todos estos productos tienen un gran valor comercial gracias a sus propiedades nutrimentales. Sin embargo, estos materiales genéticos no se aprovechan lo suficiente. Por lo que el propósito de este estudio fue evaluar ecotipos de mora naturalizados a las condiciones edafoclimáticas de la Comarca Lagunera y compararlos con frutillas comerciales en su contenido de sólidos solubles (° Brix). La difusión de la investigación sobre estos genotipos es de gran importancia para la protección de los recursos genéticos de mora y la biodiversidad local.

Objetivo

Evaluar ecotipos de mora naturalizados a las condiciones edafoclimáticas de la Comarca Lagunera y compararlos con frutillas comerciales en su contenido de sólidos solubles (° Brix)

Materiales y Métodos

Un total de seis ecotipos y dos frutillas fueron muestreadas. Estas accesiones se obtuvieron de la región de la Comarca Lagunera ubicada entre los estados de Durango y Coahuila, México en el 2025 (cuadro 1). Los ecotipos recolectados son materiales de traspato y que no poseen ningún tipo de manejo agronómico con riego ocasional o por lluvia. El clima de la región es árido con una temperatura que fluctúa de 28 a 40°C, precipitación de 224.6 mm año⁻¹, y un verano muy cálido con temperaturas de hasta 48°C. La selección de los ecotipos se basó en un muestreo por conveniencia. Los materiales se identificaron a partir de recorridos exploratorios en los municipios de la Comarca Lagunera, Durango, México. Los materiales identificados se evaluaron *in situ* asimismo se tomaron muestras de frutos (moras).

Cuadro 1. Identificación y descripción de ecotipos de Moras evaluados.

Acrónimo	Identificación	Ubicación	Descripción
M-N	Nazas-Morada	Nazas, Durango	Moras-Moradas
P	Perla	Nazas, Durango	Moras-Moradas
EC	Emilio Carranza	Emilio Carranza, Durango	Moras-Moradas
F-M	Feria Morada	Gómez Palacio, Durango	Moras-Moradas
Nz-B	Nazas Blanca	Nazas, Durango	Moras -Blancas
No-Nr	Noria-Negra	Gómez Palacio, Durango	Moras -Negras
ZZ	Zarzamora	Comercial	
FMB	Frambuesas	Comercial	

Determinación de sólidos solubles totales (°Brix)

El contenido de sólidos solubles totales (SST) en los frutos de mora se determinó mediante refractometría directa, utilizando un refractómetro digital portátil con escala en grados Brix ($^{\circ}$ Brix) y corrección automática por temperatura. Los frutos maduros uniformes se seleccionaron cuidando que estén libres de daños físicos o signos visibles de descomposición. Las muestras consistieron en una mezcla homogénea de 15 frutos de cada sitio de evaluación. Los frutos fueron lavados, desinfectados con hipoclorito de sodio al 0.1% durante 2 minutos y enjuagados con agua destilada. Posteriormente, las frutas se trituraron en un mortero de porcelana hasta obtener un puré homogéneo, del cual se extrajo el jugo mediante filtración. El refractómetro fue calibrado previamente con agua destilada (0.0 $^{\circ}$ Brix) de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La limpieza del prisma óptico se realizó con papel sin pelusa y alcohol al 70% entre cada medición, para evitar contaminación cruzada. Gotas del jugo filtrado se colocaron sobre el prisma, y la lectura se efectuó directamente en la pantalla digital del equipo. Para cada muestra se realizaron tres mediciones independientes, utilizando jugo fresco en cada repetición, y se reportó el promedio como valor final. Los resultados se expresaron en grados Brix ($^{\circ}$ Brix) y se utilizaron como indicador del contenido de azúcares solubles presentes en los frutos, lo cual es un parámetro ampliamente reconocido para evaluar la madurez, el sabor y la calidad postcosecha de frutos (AOAC, 2019; Kader, 2002; Cordenunsi et al., 2005). El mismo tratamiento se realizó en los frutos de Zazamora y Frambuesa. Los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias Tukey ($p < 0.01$).

Resultados y Discusión

La evaluación de sólidos solubles totales en seis ecotipos de moras nativas de la Comarca Lagunera y dos frutillas que en este caso fueron zazamora y frambuesa mostraron importantes diferencias entre ellos. En la figura 1 se presenta el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) en distintos materiales genéticos de mora evaluados. El contenido de SST se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los genotipos evaluados. La Zazamora mostró el mayor contenido de $^{\circ}$ Brix, con un valor promedio cercano a 23, superando significativamente al resto de los materiales de mora evaluados. Un mayor contenido de azúcares solubles en los ecotipos No-Nr y F-M. En contraste, las frambuesas (FMB) presentó el menor contenido de sólidos solubles, con un valor promedio de 7 $^{\circ}$ Brix, lo cual sugiere un nivel inferior de dulzor. Por otro lado, los ecotipos Nz-B, P, y M-N mostraron valores similares, alrededor de 9–11 $^{\circ}$ Brix, sin diferencias estadísticas entre ellos. Estos resultados sugieren una amplia variabilidad genética en cuanto al contenido de sólidos solubles, siendo el ecotipo No-Nr el más promisorio para programas de mejoramiento orientados a calidad sensorial y valor comercial.

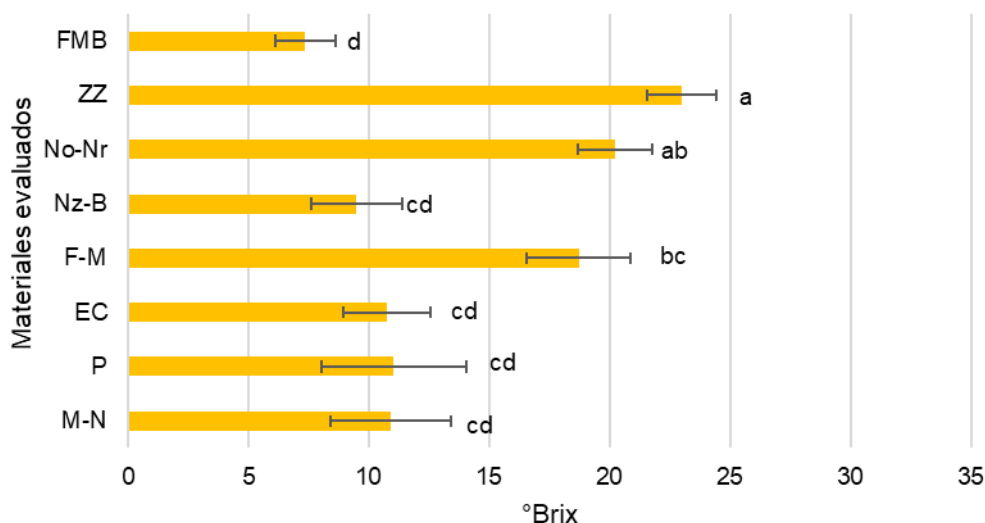


Figura 1. Sólidos Solubles expresados en $^{\circ}$ Brix en seis ecotipos de mora y dos frutillas.

La medición de $^{\circ}$ Brix es una evaluación determinante en el análisis de calidad en productos agrícolas. El contenido de SST o grados Brix en los materiales de mora evaluados muestra ser superior a los reportados

en otros estudios donde estos valores fluctúan entre 5 y 8 % (Morinaga & R. Sykes, 2001). Un factor importante a considerar es que, aunque la mora no es considerada como un fruto climatérico la concentración de SST o ° Brix varían en los días postcosecha donde se presenta una concentración ascendente (Iza, et al., 2016) lo que puede estar relacionado con el resultado de las zarzamoras donde se desconoce los días postcosecha. La acumulación de azúcares solubles (° Brix) en diversos frutales en condiciones de estrés hídrico han sido investigados en términos de regulación osmótica. En el caso de los materiales de mora evaluados todos ellos se desarrollan en zonas donde la disponibilidad hídrica en baja y las temperaturas son muy altas, al ser materiales de traspatio no están sujetos a un manejo agronómico lo que puede estar relacionado fuertemente a la concentración de azúcares como un mecanismo de respuesta al estrés ambiental predominante.

Conclusiones

La evaluación de sólidos solubles totales en frutos de mora, zarzamora y frambuesa mostraron una alta variabilidad entre los ecotipos de mora naturalizados en la Comarca Lagunera. El ecotipo No-Nr destacó por su alto contenido de azúcares solubles, comparable con el de la zarzamora comercial, lo que sugiere su potencial para el mejoramiento genético y su propagación agronómica orientado a la calidad sensorial y valor comercial. Estos resultados abonan a la importancia de conservar y aprovechar los recursos genéticos locales, especialmente en regiones donde las condiciones de estrés abiótico pueden favorecer la acumulación de compuestos de interés. Además, este tipo de estudios contribuye al rescate y valorización de la biodiversidad frutal de traspatio, promoviendo su integración en cadenas productivas como cultivos alternativos con un buen potencial productivo.

Referencias bibliográficas

- AOAC (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International (21st ed.). Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Cordenunsi, B. R., Genovese, M. I., Oliveira do Nascimento, J. R., Hassimotto, N. M. A., Santos, R. J. dos, & Lajolo, F. M. (2005). Effects of temperature on the chemical composition and antioxidant activity of strawberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(12), 4585–4590. <https://doi.org/10.1021/jf048001o>
- Kader, A. A. (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (3rd ed.). University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 3311.
- Morinaga, J., & R. Sykes, S. (2001). Effect of Salt and Water Stress on Fruit Quality, Physiological Responses, Macro- and Micro-Element contents in leaves of Satsuma Mandarin Trees under Greenhouse conditions. *JARQ*, 35(1), 53–58.
- Iza, Fernanda, Rojas-Lema, Ximena, & Argüello, Yolanda. (2016). Línea base de la calidad de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) en su cadena alimentaria. *Enfoque UTE*, 7(3), 82-94. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.107>

LÍNEAS PROGENITORAS DE LOS HÍBRIDOS DE MAÍZ AZUL: VAMPIRO H10, VAMPIRO H12, DRÁCULA H13 Y CHIMPANCE H14

José Luis Arellano-Vázquez^{1*}, Germán Fernando Gutiérrez-Hernández², Israel Rojas-Martínez¹, Rogelio Fernández-Sosa¹

¹INIFAP, CE Valle de México. ²IPN. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología

*Autor para correspondencia: arellano.jose@nifap.gob.mx

Palabras clave. *Zea mays* L., cruzas dialélicas, rendimiento, grano azul.

Introducción

Se han reportado recientemente cualidades nutraceuticas, medicinales, dermatológicas y de cosmetología para los maíces azules, porque poseen antocianinas, pigmentos vegetales que les proveen su color de grano y que, al propio tiempo, les confieren propiedades de diversa índole, muchas de ellas todavía por estudiar, tales como anticancerígenas, reductoras de lípidos, antidiabéticas, antiinflamatorias, antimicrobianas y antioxidantes (Shah et al., 2016; Damián-Medina et al., 2020). Por lo anterior, se ha incrementado notablemente la demanda de este alimento. En el contexto anterior, existe actualmente un déficit en la producción de grano de maíz azul, por lo que es necesario incrementar de manera significativa la productividad de esta especie para satisfacer su demanda creciente. Para ello, en el Programa de Maíz Azul del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se implementó la estrategia de desarrollar híbridos de maíz azul con adaptación al altiplano mexicano, cuya siembra sea una opción ventajosa para reducir el desabasto de este importante cultivo. Las variedades criollas de maíz azul de los Valles Altos de México expresan rendimientos medios de 1.9 t ha⁻¹ (SIAP, 2022), los cuales se pueden superar mediante el cultivo de híbridos (Lee et al., 2007; Mc Robert et al., 2014) de rendimiento alto, resistentes al acame, con grano con textura de semicristalina a cristalina y de ciclo precoz o intermedio; además de producir granos de color azul intenso y conformados a partir del germoplasma de la región de interés (Arellano-Vázquez et al., 2014). El proceso de formación de híbridos inicia con la identificación y evaluación de criollos regionales sobresalientes (los cuales son poblaciones de amplia base genética), a partir de los cuales se derivan líneas endogámicas (ya de base genética estrecha pero muy selecta) que se van depurando genéticamente y seleccionando a través de autofecundaciones sucesivas (Singh, 1987). Posteriormente, a las líneas que resultan elegidas por sus características morfológicas, fisiológicas y agronómicas, se les evalúan dos cualidades fundamentales para el proceso de hibridación: la aptitud combinatoria general y la aptitud combinatoria específica; en el primer caso se establece el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y, en el segundo, se evalúa respuesta de los híbridos con respecto al promedio de las líneas que los forman (Arellano-Vázquez et al., 2023a).

Objetivo

El objetivo del presente estudio fue evaluar diez líneas endogámicas de maíz azul, en términos de sus aptitudes combinatorias general y específica para rendimiento, así como por características agronómicas y de planta y grano.

Materiales y Métodos

Genotipos. Se utilizaron 10 líneas endogámicas élite de maíz azul generadas por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Azul del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las líneas tuvieron cinco generaciones de autofecundación (92% de endogamia) y selección *per se*. El bagaje genético de las líneas bajo estudio incluyó variedades de la raza “Chalqueño”, utilizadas como fuentes de rendimiento y color azul intenso de la capa de aleurona del grano, y de la raza “Bolita”, empleadas por su tipo de planta baja, resistencia al acame de planta y textura semicristalina del grano de color azul-morado (cuadro 1). La introgresión de germoplasma exótico de la raza “Bolita”, de origen geográfico semitropical seco, al germoplasma de la raza “Chalqueño” de origen templado frío, constituyó un enfoque de este estudio para incrementar las diferencias genéticas entre las poblaciones y

conseguir mayor respuesta heterótica, estrategia propuesta por Ron y Hallauer (1997).

Variables evaluadas. Floración masculina, intervalo (d) del riego de germinación a cuando el 50% de las plantas mostraron dispersión de polen. Floración femenina, intervalo (d) del riego de germinación a cuando el 50% de las plantas mostraron emisión de estigmas. Altura de planta, distancia (cm) de la base de la planta al inicio de la espiga (inflorescencia masculina). Rendimiento de grano (REND, ton ha⁻¹), se calculó por el peso de las mazorcas cosechadas por parcela experimental y se ajustó al 80% de contenido de grano en las mazorcas y a 14% de contenido de humedad. Peso hectolítrico (kg hL⁻¹), se determinó de acuerdo con (Salinas-Moreno y Arellano-Vázquez, 1989). Color de grano (COLOR), se empleó la escala visual (arbitraria) de 5 a 10; en donde 5 y 6 correspondieron a morado, 7 y 8 a azul oscuro y 9 y 10 a color negro.

Diseños genético y experimental y procesamiento estadístico de datos. En los experimentos de campo se utilizó un diseño látice simple 10 x 10 con dos repeticiones, en él se incluyeron las cruza directas, las indirectas (que no se mencionan en este documento) y las diez líneas parentales que se evaluaron. Se realizaron los cruzamientos dialélicos en sentido directo y recíproco, y se analizaron estadísticamente, de acuerdo con el método 1 de Griffing (1956), para determinar los efectos de aptitud combinatoria general y aptitud combinatoria específica. Para el procesamiento estadístico de los datos experimentales se empleó el protocolo propuesto por Zhang y Kang (2003); por último, los datos así organizados, se procesaron mediante el programa estadístico (SAS, 2002).

Resultados y Discusión

Las diez líneas endogámicas tuvieron un periodo de siembra a floración de 85 a 92 d, altura de planta de 155 a 175 cm y variaron también en el color y la textura de grano (cuadro 1). El porte de planta de estas líneas fue adecuado considerando que el arquetipo de planta óptimo para la región de los Valles Altos Centrales de México no debe ser demasiado alto para evitar el acame. En el mismo sentido, su nivel de precocidad les permitirá madurar el grano antes de la presencia de las heladas tempranas que son muy frecuentes en esa región (2200–2800 msnm), que abarca los estados de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo y Ciudad de México.

Atendiendo a la textura de grano, fue muy acertado que la mayoría de las líneas sean del tipo semicristalino (cuadro 1) y con peso hectolítrico alto (cuadro 2), puesto que son más densas que las harinosas, por lo que su rendimiento unitario es mayor y son menos susceptibles a plagas de almacén.

Cuadro 1. Genealogía, días a floración femenina (d), altura de planta (cm) y caracteres del grano de líneas endogámicas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Línea	Genealogía	Floración Femenina	Altura de Planta	COLOR (grano)	Endospermo
L1	BXCC-8-7-1-2-1	85	155	Morado	Semicristalino
L2	BXCC-3-1-3-6-4	85	165	Azul	Semicristalino
L3	BXCC-3-1-3-2-1	85	165	Morado	Semicristalino
L4	BXCC-3-8-3-4-2	85	160	Azul	Harinoso
L5	BXCC-2-1-5-2-6	85	155	Azul	Harinoso
L6	NXOAX-168-2-1-2-2	92	170	Azul	Harinoso
L7	NXOAX-51-1-1-2-1	90	170	Azul	Harinoso
L8	NXOAX-46-1-1-1-1	90	175	Azul	Semicristalino
L9	NXOAX-28-2-3-4-2	88	175	Azul	Semicristalino
L10	NXOAX-19-5-1-1-2	88	175	Azul	Semicristalino

Los efectos de ACG (Cuadro 2) fueron significativos ($p \leq 0.01$) para todas las líneas; sin embargo, en L10 fueron negativos. Se alcanzaron valores (de 1.61 a 3.46) que se estiman óptimos dado que se trató de líneas derivadas de poblaciones criollas, las cuales son de amplia base genética. Las líneas sobresalientes fueron L1, L4, L6 y L9, con ACG de 3.46, 2.98, 2.90 y 3.13, respectivamente; esto denotó la mejor expresión de efectos aditivos; no obstante, esto no se asoció con los rendimientos más altos obtenidos.

De acuerdo con los datos agronómicos de planta y grano, las líneas se consideraron de ciclo intermedio,

porte medio y con grano de textura de harinosa a cristalina.

Cuadro 2. Efectos de Aptitud Combinatoria General (ACG), rendimiento (REND, t ha⁻¹) y características de planta y grano de líneas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Línea	ACG	REND (t ha ⁻¹)	Floración masculina (d)	Altura (cm)	planta Peso hectolitrico (kg hL ⁻¹)
L1	3.46 **	1.6 ^a	93b	155c	70a
L2	2.80 **	1.2 ^a	92c	170b	70a
L3	1.61 **	1.4 ^a	93b	160c	69a
L4	2.98 **	2.4 ^a	93b	180a	71a
L5	2.45 **	2.5 ^a	95b	150c	69a
L6	2.90 **	1.5 ^a	99a	180a	70a
L7	2.47 **	1.2 ^a	94b	140d	68a
L8	2.38 **	1.7 ^a	96a	180a	68a
L9	3.13 **	2.0 ^a	93b	180a	68a
L10	-2.00 **	2.4 ^a	95b	180a	69a
Error estándar	0.857				
Tukey (p≤0.05)		1.95	3.0	6.0	12

**=Altamente significativo (p≤0.01). En columnas, letras distintas indicaron diferencias significativas (p≤0.05).

Cuadro 3. Efectos de Aptitud Combinatoria Específica para rendimiento de grano de líneas de maíz azul de los Valles Altos Centrales de México.

Líneas	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
L1		1.2 **	1.0 **	-1.0 **	2.0 **	1.3 **	0.8 *	0.7	0.8 *	2.3 **
L2			-2.6 *	1.4 **	-0.5	2.2 **	0.9 *	1.1 **	1.9 **	2.5 **
L3				0.5	-0.3	-0.5	1.9 **	-0.04	0.8 *	-1.3 *
L4					1.2 **	0.9 **	-0.1	-0.02	1.4 **	3.0 **
L5						1.2 **	1.4	0.0	0.9 *	1.1 **
L6							1.0 **	0.4	0.3	1.8 **
L7								2.3 **	0.4	-0.3
L8									0.4	1.7 **
L9										1.5 **
L10										

*=Significativo (p≤0.05), **=Altamente significativo (p≤0.01). Error estándar=1.03

Respecto a los efectos de ACE (cuadro 3), hubo diferencias estadísticas en la mayoría de las cruza directas. Las cruza entre L1, L2, L4, L6, L8 y L9 y la L10, se asociaron significativamente con los valores superiores de ACE (2.3, 2.5, 3.0, 1.8, 1.7 y 1.5, respectivamente). En el mismo sentido, las cruza de L1, L2, L3, L4 y L5 con L9 también fueron significativas y alcanzaron valores de 0.8 a 1.9.

En coincidencia con varios autores (Machida *et al.*, 2010; Gudeta *et al.* 2015), el desempeño de los híbridos evaluados se basó en los efectos de dominancia. Así también, los valores altos y significativos de la ACG expresados por las líneas denotaron efectos aditivos favorables en sus combinaciones híbridas; además, los valores significativos de ACE fundamentan el hecho de constituir un patrón heterótico favorable para formar híbridos (Barata y Carena, 2006).

Este último señalamiento se concretó en el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Azul del CEVAMEX, INIFAP durante el año de 2023 con la liberación comercial de cuatro híbridos con adaptación a los Valles Altos Centrales de México, denominados Vampiro H 10, Vampiro H 12, Dracula H 13 y Chimpancé H 14 (Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^b; Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^c; Arellano-Vázquez *et al.*, 2023^d).

Conclusiones

Las diez líneas endogámicas expresaron características favorables, en términos de precocidad, altura de planta y color y textura de grano.

Hubo efectos genéticos favorables, tanto aditivos como de dominancia, para formar híbridos de alto rendimiento y características óptimas de planta, grano y color azul del grano. Esto se concretó con liberación de cuatro híbridos de maíz de grano azul (Vampiro H 10, Vampiro H 12, Drácula H 13 y Chimpancé H 14) con rendimientos altos, resistentes al acame, con grano con textura de semicristalina a cristalina y de ciclo precoz o intermedio; además de producir granos de color azul intenso.

Referencias bibliográficas

- Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Ceja-Torres, L.F.; Flores-Gómez, E.; García-Ramírez, E. Quiroz-Figueroa, F.R.; Vázquez-Lozano, P. 2023^a. Combining ability and reciprocal effects for the yield of elite blue corn lines from the Central Highlands of Mexico. *Plants*, 12, 3861. ISSN impreso 2223-7747. ISSN digital: 2594-0252. <https://doi.org/10.3390/plants12223861>.
- Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^b. Híbridos de maíz azul para localidades de alto, mediano y bajo potencial productivo del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 526-528.
- Arellano-Vázquez, J.L.; Gutiérrez-Hernández, G.F.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^c. Vampiro H 12 híbrido de maíz azul madurez intermedia grano semicristalino para áreas de temporal y riego del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 529-531.
- Arellano-Vázquez, J.L.; Rojas-Martínez, I.; Fernández-Sosa, R. 2023^d. Vampiro H 10 híbrido de maíz azul madurez intermedia grano harinoso para áreas de temporal y riego del altiplano central de México. XIII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Chihuahua, Chih. México. pp. 745-748.
- Barata, C.; Carena, M.J. 2006. Classification of North Dakota maize inbred lines into heterotic groups based on molecular and testcross data. *Euphytica*, 151: 201-208.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation with to diallel crossing systems. *Aust J Biol Sci* 9, 463–493. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>.
- Gudeta, N.G.; Dagne, W.G.; Habtamu, Z.U. 2015. Heterosis and combining ability of highland quality protein maize inbred lines. *Maydica*, 60, 1–12.
- Machida, L.; Derera, J.; Tongoon, P.; MacRobert, J. 2010. Combining ability and reciprocal cross effects of elite, protein maize inbred lines in subtropical environments. *Crop Sci*, 50, 1708–1717. <https://doi.org/10.2135/cropsci2009.09.0538>.
- SAS (Statistical Analysis System). 2002. SAS/STAT Ver. 9; SAS Inst. Inc.: Cary, NC, USA.
- Zhang, Y.; Kang, M.S. 2003. Diallel-SAS: A program for Griffing's diallel methods. In *Handbook of Formulas and Software for Plant Geneticists and Breeders*. Kang, M.S., ed.; Food Products Press: New York, NY, USA. pp. 1–19.

ZANAKAT, VARIEDAD CRIOLLA DE CHILE GÜERO

Felipe Santamaría-Basulto^{1*}, Carolina Isabel Basto-Pool¹

¹INIFAP, CE Mocochoá,

*Autor para correspondencia: santamaria.felipe@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Capsicum annuum*, descriptores, rendimiento.

Introducción

El chile Xcat ik (*Capsicum annuum*) es un tipo de chile güero criollo cultivado en el estado de Yucatán, muy apreciado en la cocina local, presenta varias formas de consumo desde salsas y cremas hasta su uso dentro de la cocción de los guisos regionales. El fruto es de forma cónica alargada y puntiagudo, de color amarillo verdoso y cambia a tonos anaranjados y rojos durante la maduración, aunque se prefiere consumirlos cuando son de color verde amarillento brillante y pueden tener una ligera porción naranja (Santamaría et al., 2022).

Los chiles criollos de Xcat ik presentan variación en el tamaño del fruto y en la forma de unión con el pedicelo, Catiknifap es una variedad de chile Xcat ik caracterizada morfológicamente, la forma redondeada en la unión con el pedúnculo es su principal característica distintiva en comparación con otros materiales de Xcat ik (Santamaría-Basulto, et al., 2024). Los frutos de las accesiones de chile Xcat ik del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Mocochoá tienen forma triangular estrecha con un cáliz no envolvente y un ápice agudo, pero presentan diferencia en la forma de su unión con el pedúnculo, la cual puede ser redondeada, plana o tener cavidad peduncular (Santamaría et al., 2022).

Objetivos

El objetivo del presente trabajo es describir las características agronómicas y morfológicas de Zanakat, variedad de chile güero criollo.

Materiales y Métodos

Colecta. Zanakat proviene de la accesión YMRM colectada en la localidad de Yaxchekú, Municipio de Tizimín, Yucatán, en el año 2017. En 2020, se hizo un refrescamiento en la localidad de Sacapuc, Municipio de Motul en una parcela a campo abierto.

Homogenización. La accesión se considera homogénea cuando sea suficientemente uniforme en sus caracteres pertinentes. Para la homogenización en los caracteres del fruto, se partió de la semilla obtenida de la parcela establecida en la localidad de Sacapuc y se evaluaron los caracteres relativos al fruto de acuerdo con las directrices de la UPOV (2024). El primer ensayo se estableció el 14 de septiembre de 2020, se realizó la primera evaluación de forma de fruto. El segundo ensayo se estableció el 5 de enero de 2022, se evaluó la forma de fruto de las variaciones observadas en la accesión YMRM del primer ensayo, en este segundo ensayo se asignaron las claves YMRM-cvp y YMRM-cv a los frutos con cavidad peduncular y a los frutos de color verde esmeralda. Los siguientes ensayos se establecieron con semilla de las plantas con frutos con cavidad peduncular, en las fechas 18 de noviembre de 2022, 25 de octubre de 2023 y 16 de septiembre de 2024. En los ensayos de noviembre de 2022 y septiembre de 2024 se evaluó el rendimiento además de la caracterización morfológica.

Condiciones de cultivo. Los ensayos se establecieron en condiciones de agricultura protegida, en invernadero con techo de plástico y paredes de malla antiáfidos. Las plantas se establecieron con una separación de 1.5 m entre líneas y de 0.5 m entre plantas en camas de siembra de aproximadamente 15 cm de altura, se proporcionó riego presurizado con cinta de goteo.

Rendimiento. El rendimiento de fruto fresco se reporta en toneladas por hectárea y porcentaje de frutos por tamaño. La clasificación de frutos grandes, medianos y chicos se realizó de acuerdo al código de calibre con base en la longitud del fruto de la NORMA MEXICANA NMX-FF-025-SCFI-2014 (SECRETARÍA DE ECONOMÍA, 2015): frutos grandes (calibre 5) mayores a 16 cm, frutos medianos (calibre 4) de 12.1 a 16 cm, frutos chicos (calibre 3) de 8.1 a 12 cm.

Descripción morfológica. Se seleccionaron 23 descriptores morfológicos de planta, flor y fruto de acuerdo al manual de descriptores morfológicos para *Capsicum annuum* L. propuesto por la UPOV (2024). Cada descriptor se evaluó en 20 plantas.

Resultados y Discusión

Homogenización. En el primer ensayo la accesión YMRM presentó variaciones en la forma del fruto, como forma plana en la unión con el pedúnculo y frutos con cavidad peduncular, a esta última variación se le asignó la clave YMRM-cvp (cavidad peduncular presente) y se continuó evaluando. El segundo ensayo el 30% de las plantas de la accesión YMRM-cv presentaron frutos con cavidad peduncular presente y sinuosidad media del pericarpio en la parte basal. Para el ensayo establecido en septiembre de 2024 se contó con el 100% de homogeneidad.

Características de la planta. La planta es de porte alto, desarrolla una altura 145 cm a los 120 días después del trasplante (figura 1). La hoja es de forma lanceolada de color verde con intensidad y brillo medio, ondulación del margen débil y con longitud media de 14.5 cm y un ancho de 4.5 cm. Los tallos son verdes, presentan antocianinas en los nudos de intensidad media a fuerte y carecen de pilosidad.

Características de la flor. Presenta una o dos flores por axila con porte colgante, las anteras presentan pigmentación antocianica, el color de la corola es blanco.

Características del fruto. La forma del fruto es triangular con ápice muy agudo, con alta relación longitud/diámetro, con torsión media. Los frutos de tamaño mediano miden de 13.5 cm de longitud con un promedio de 3.5 cm en la parte más ancha, con 3.5 cm de longitud de pedúnculo. Presenta cavidad peduncular profunda con cáliz de aspecto no envolvente, la sinuosidad del pericarpio en la parte basal es débil a media y la sinuosidad del pericarpio excluida la parte basal es media. Los frutos son de color amarillo y cuando maduran desarrollan color rojo. Predomina la producción de frutos de tres lóculos, con grosor de pericarpio de 3 mm (figura 2).

Rendimiento. El tiempo entre siembra e inicio de cosecha fue de 115 a 120 días. El rendimiento fue de 21 ton ha⁻¹, la mayor parte de los frutos clasifica dentro del calibre 4, de 12.1 a 16 cm (cuadro 1). Los rendimientos obtenidos con la variedad Zanakat son mayores al rendimiento reportado de chile Xcat ik de 19.0 ton ha⁻¹ en agricultura protegida en Yucatán por el SIAP (2024). Debido a que los fruto son de tamaño mediano, el rendimiento no es tan alto como el reporte de la variedad Catiknifap, que produce mayor cantidad de frutos de calibre 5 (Santamaría-Basulto et al., 2024).



Figura 1. Planta de Zanakat. La planta es de porte alto, con tallo verde y hojas lanceoladas.



Figura 2. Frutos verdes, pintos y maduros de chile Xcat ik Zanakat (de izquierda a derecha). Se observa la forma triangular con ápice muy agudo, alta relación longitud/diámetro, torsión media y cavidad peduncular profunda con cáliz de aspecto no envolvente.

Cuadro 1. Producción de fruto fresco de la variedad Zanakat de 2 ensayos con diferente fecha de siembra.

	Fecha de siembra	Fecha de trasplante	Días de siembra a cosecha	Días de trasplante a cosecha	Ton ha ⁻¹	% calibre 3	% calibre 4
Ensayo 4	2 oct 2023	25 oct 2023	115	92	21.060	29	71
Ensayo 5	13 ago 2024	16 sep 2024	120	86	21.780	44	56

Conclusiones

Zanakat es un genotipo de chile Xcat ik productivo, uniforme y estable en el carácter de forma de fruto triangular con ápice agudo, torsión media y cavidad peduncular profunda.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Esta publicación es producto del proyecto “Caracterización morfológica, de rendimiento y calidad de fruto de accesiones de *Capsicum annuum* del Banco de Germoplasma de Chiles del CE Mocochoá” número SIGI 1015336296 financiado con recursos fiscales.

Referencias bibliográficas

- Santamaría, B. F., Díaz, P. R., Basto, B. C. I. (2022). Productividad y formación de variedades de chile Xcat ik. *Journal of Agricultural Science Research*, 2 (5)1-8.
- Santamaría-Basulto, F., Basto-Pool, C. I., Díaz-Plaza, R., & Zavala-León, M. J. (2024). Catiknifap, new native variety of Xcat ik pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i10.2715>
- Secretaría de Economía. (2015). *NORMA MEXICANA NMX-FF-025-SCFI-2014*. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - chile fresco (*Capsicum* spp) – Especificaciones. 27 p.
- UPOV (International Union for the Protection of New Varieties of Plants. (2024). *TG/76/9. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Sweet pepper, hot pepper, paprika, chile*. UPOV Code CAPSI_ANN *Capsicum annuum* L. 66 p.

EVALUACIÓN DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE GERMOPLASMA CRIOLLO DE CHILE DE ONZA (*Capsicum annuum* L.) CON MARCADORES SILICODART

Franklin Efraín Fernández-Diego¹, Martha Hernández-Rodríguez¹, Adrián Hernández-Livera¹, Joel Pineda-Pineda², Gabino García-de los Santos^{1*}

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, ²Universidad Autónoma Chapingo

*Autor para correspondencia: garciag@colpos.mx

Palabras clave. Chile de onza, diversidad genética, marcadores SilicoDART.

Introducción

Se han reportado cinco especies cultivadas de chile: *Capsicum annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum*. De ellas, *C. annuum* es la más cultivada a nivel mundial, siendo México el lugar con la mayor diversidad, con decenas de tipos morfológicos y fenológicos diferentes. Entre las variantes mexicanas de *C. annuum*, se encuentra el chile de onza el cual se produce bajo condiciones de temporal en la Sierra Norte de Oaxaca, México (Aguilar-Rincón et al., 2010). Este tipo de chile cuando está seco mide aproximadamente 5 cm de largo a 1.5 cm de ancho, presenta tonalidades del amarillo al rojizo, es de piel delgada, muy picante y es utilizado para la elaboración de adobos y mole (Muñoz, 2012) Como variante regional de chile, su diversidad ha sido moldeada y conservada por los agricultores durante generaciones. Estas variantes son fuente de alelos potencialmente útiles que podrían coadyuvar en la capacidad adaptativa frente a condiciones ambientales cambiantes como el cambio climático. Por el contrario, el desapego latente por la agricultura tradicional, podrían ocasionar una disminución en la diversidad de las variantes de chile de onza sin que ésta pueda ser estudiada y valorada.

Recientemente, se han sumado nuevas tecnologías al repertorio de herramientas con las que es posible estudiar la variación y divergencia genética en las poblaciones. Entre ellas se encuentra DARTseqTM cuyo principio se basa en reducir la complejidad del genoma fragmentándolo con enzimas de restricción sensibles a la metilación del ADN y luego secuenciando los fragmentos generados mediante secuenciación de siguiente generación (NGS, Next Generation Sequencing). Dos de los marcadores derivados de DARTseq son los SNP (Single-Nucleotide Polymorphism) y los marcadores SilicoDART. Con su generación es posible evaluar la variabilidad a nivel molecular en miles de posiciones del genoma a través del cálculo de indicadores de diversidad. Entre estos indicadores, la heterocigosidad es el más importante ya que depende de las frecuencias alélicas e indica el grado de diversidad genética de una población. Otros indicadores comunes son: el número de alelos efectivos, que indica cuál es el número de alelos que con la misma frecuencia se deberían tener para observar la misma diversidad, y el índice de Shannon, que conjunta la riqueza y equitatividad alélicas. Dado que el chile de onza tiene una importancia cultural muy arraigada en la Sierra Norte de Oaxaca, la evaluación de su diversidad podría proporcionar información clave para orientar su manejo y conservación.

Objetivo

Evaluar la diversidad y divergencia genética de 17 poblaciones de chile de onza criollas provenientes de la Sierra Norte de Oaxaca utilizando marcadores SilicoDART.

Materiales y Métodos

Se tomaron muestras de hojas de plantas de dos meses de edad en las parcelas de 17 agricultores. Las hojas fueron de 10 plantas tomadas al azar de cada parcela. Se mantuvieron en condiciones frías en una hielera hasta su traslado al laboratorio de Marcadores Moleculares del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. De las muestras se hicieron dos repeticiones técnicas de 300 mg. Las repeticiones se cortaron con tijeras estériles y los pedazos de hojas se colocaron dentro de microtubos de polipropileno de base cónica de 2 mL. Se congelaron inmediatamente con nitrógeno líquido y se resguardaron a -75 °C hasta el momento de la extracción de ADN. La extracción se hizo siguiendo el protocolo de Doyle y Doyle (1987) con algunas modificaciones. Brevemente, el tejido congelado se homogenizó con ayuda de un pistilo de polipropileno de 7 cm de largo con nitrógeno líquido evitando su descongelamiento. Se le agregó 1 mL de solución de lisis caliente a 65 °C (Trizma•HCl 150 mM, NaCl 1.4 M, EDTA disódico•2H₂O 25 mM, bromuro

de hexadeciltrimetilamonio 3.5 %, beta-mercaptoetanol 1 %), se mezcló bien y se incubó a 65 °C durante 1 hora, mezclando cada 15 minutos. Posteriormente, la mezcla de lisis se purificó con 500 µL de clorofomo:alcohol isoamílico (24:1) mezclando durante 10 min a temperatura ambiente (TA). Enseguida se centrifugó a 11,500 rpm durante 10 min a TA para formar tres fases. La fase superior o sobrenadante de dos repeticiones se transfirió a un nuevo microtubo de 1.5 mL de donde se precipitó el ADN añadiendo medio volumen de isopropanol frío e incubando toda la noche a -20 °C. La pastilla de ADN se recuperó centrifugando a 11,500 rpm durante 10 min a TA. El isopropanol se decantó y la pastilla se lavó con 1 mL de etanol al 70 % para volverla a recuperar centrifugando a 8,000 rpm durante 5 min a TA. El etanol se eliminó por decantación y la pastilla se dejó secar durante 2 h a TA. Finalmente, la pastilla se hidrató con 50 µL de TE pH 8.0 (Tris 10 mM pH 8.0, EDTA 1 mM pH 8.0) y se dejó a 4 °C una noche para su completa disolución.

La calidad del ADN se verificó mediante absorbancia y en gel de agarosa. La evaluación mediante absorbancia permitió calificar tanto el rendimiento en ng µL⁻¹ como la pureza de la molécula. Esta se hizo en un Nanodrop ND2000 (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) asegurando que los valores de pureza estuvieran entre 1.8 - 2.0 para las relaciones DO260/280 y DO260/230. La evaluación en gel de agarosa permitió calificar la integridad del ADN utilizando 2 µL de ADN por muestra más 3 µL de buffer de carga 5X (Tris pH 8.0 50 mM, EDTA 5 mM pH 8.0, sacarosa 25 %, azul de bromofenol 2 mg mL⁻¹), los cuales se migraron en un gel de agarosa al 1 % utilizando como amortiguador de corrida TBE 1X (Tris-borato-EDTA) para la electroforesis (80 V, 40 min). Volúmenes de ADN a 100 ng µL⁻¹ se prepararon para cada una de las 10 plantas por población. Luego, se conjuntaron 5 µL de cada planta para alcanzar un volumen de 50 µL. Los 17 bulks así preparados se enviaron al Servicio de Análisis de Genotipificación para la Agricultura del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, en México, para su genotipado con la tecnología DArTseq. Esta tecnología consistió en analizar las regiones activas del genoma fragmentándolo con las enzimas de restricción *Pst*I (CTGCAG) y *Mse*I (TTAA) para generar las librerías y luego enriquecerlas para su secuenciación por síntesis con el secuenciador NovaSeq-6000 (Illumina). Las secuencias de los marcadores SilicoDArT se recibieron en código binario (1,0) en hojas de trabajo Excel. Las secuencias se filtraron para conservar aquellas con un MAF >0.05 así como aquellas presentes en las 17 poblaciones. A partir de las secuencias filtradas se obtuvieron los indicadores de diversidad de los loci SilicoDArT y de cada población. Se consideró como 1 a la presencia del marcador y como 0 a su ausencia. Los indicadores de diversidad fueron: heterocigosidad esperada, *He*; alelos efectivos, *Ae*; alelos raros, *Ar*; e índice de Shannon, *I*, por accesión y por loci. Se hizo un análisis molecular de varianza (AMOVA), un dendrograma con distancias genéticas de Rogers y mapas de escalamiento bi y tridimensional para evaluar la estructura genética con el programa Bio-R (Biodiversity Analysis with R for Windows) v 3.2 (Pacheco *et al.*, 2016).

Resultados y Discusión

Se identificaron 164,884 marcadores SilicoDArT en el panel de 17 poblaciones de chile de onza. Después del filtrado quedaron 151,536 marcadores. Se encontró que los valores de diversidad por loci fueron los siguientes: *He* = 0.12 ± 0.0001, *Ae* = 1.14 ± 0.0002, e *I* = 0.34 ± 0.0002. Estos resultados son coherentes con el tipo de reproducción que tiene el chile, el tipo de poblaciones que se evaluaron y el tipo de marcador empleado. El chile es una especie autógama con alogamia facultativa que depende de la variedad, las condiciones ambientales y de la presencia de polinizadores que influyen en la mezcla genética dentro y entre poblaciones. Otras especies autógamas como trigo, arroz y frijol también presentan valores de heterocigosidad bajos. En cuanto al valor promedio de *Ae* por locus, éste también fue bajo e indicó que, aunque hay poca variación, persisten algunos pocos loci polimórficos. Por su parte, el valor promedio de *I* fue moderadamente bajo. Al respecto, se sabe que los marcadores SilicoDArT son dominantes y su capacidad para representar la diversidad genética completa en las poblaciones es útil pero limitada debido a que no permiten distinguir a los individuos heterocigotes de los homocigotes, lo cual restringe el cálculo de la heterocigosidad observada y con ello los valores de endogamia. Como marcadores de presencia ausencia, los SilicoDArT indican la presencia o no de los sitios de corte de las enzimas con las cuales se redujo el genoma (*Pst*I y *Mse*I). Similares a otros marcadores dominantes como los RAPDs, ISSRs y AFLPs, los SilicoDArT resultaron también útiles para evaluar la diversidad, en este caso de chile de onza. Entre poblaciones, los valores de los indicadores de diversidad genética mostraron una *He* de 0.08 a 0.24 con un promedio de 0.14. El *Ae* fue de 1.09 a 1.31 con promedio de 1.17, y el *Ar* fue de 1907 a 5008 con promedio de 3048 (cuadro 1). La coleta C12 de Santa María Tavehua fue la menos variable (*He* = 0.08) y la C16 de Villa Hidalgo Yalalag la más variable (*He* = 0.24). En la localidad de Betaza, tres de las

poblaciones tuvieron valores de H_e similares a la colecta de Santa María Tavehua (C09, C10 y C11). En general, los valores observados para los estimadores de diversidad genética en las 17 poblaciones de chile de onza reflejaron una diversidad moderadamente baja, acorde con lo esperado para una especie donde predomina la autogamia. La H_e sugirió que la diversidad genética es limitada en las poblaciones, posiblemente debido al tipo de fecundación del chile como se ha mencionado o bien a otros factores relacionados con el manejo de los cultivos como la selección empírica y el aislamiento reproductivo. Por su parte, el A_e indicó que en la mayoría de los loci predominó un solo alelo con una baja frecuencia de otros alelos diferentes, como es común en las poblaciones autógamias. De manera interesante, la riqueza de alelos raros (A_r) aportó evidencia de la presencia de variantes genéticas poco frecuentes (A_e promedio de 3048), cuya conservación podría ser relevante en términos de resiliencia genética o usos potenciales para el mejoramiento genético. Estos resultados reflejaron que, aunque la diversidad genética dentro de cada población es baja, aún existe variación en forma de alelos raros que podría representar una fuente valiosa de alelos únicos. Asimismo, la heterogeneidad en los valores de H_e entre poblaciones también sugirió que la diversidad genética total no está concentrada en una sola población, sino distribuida entre ellas.

Cuadro 1. Valores promedio de los indicadores de diversidad de germoplasma de chile de onza.

Población	Localidad	H_e	A_e	A_r	Grupo
gChileC01	Betaza	0.16	1.18	3255.86	1
gChileC02	Betaza	0.14	1.16	2929.89	1
gChileC03	Betaza	0.14	1.16	2925.12	1
gChileC04	Betaza	0.17	1.21	3708.82	1
gChileC05	Betaza	0.17	1.21	3617.08	1
gChileC06	Betaza	0.17	1.21	3642.14	1
gChileC07	Betaza	0.17	1.21	3708.39	1
gChileC08	Betaza	0.11	1.12	2354.24	1
gChileC09	Betaza	0.09	1.10	2156.71	1
gChileC10	Betaza	0.09	1.10	2021.34	1
gChileC11	Betaza	0.09	1.10	2207.90	1
gChileC12	Santa María Tavehua	0.08	1.09	1907.85	1
gChileC13	San Juan Tabaá	0.12	1.14	2669.65	1
gChileC14	San Andrés Yaá	0.13	1.15	2833.04	1
gChileC15	San Andrés Yaá	0.13	1.15	2802.92	1
gChileC16	Villa Hidalgo Yalalag	0.24	1.31	5008.92	2
gChileC17	Santo Tomás Lachitá	0.20	1.25	4072.37	2
Promedio		0.14	1.17	3048.37	

Estos resultados fueron consistentes con los resultados del análisis de varianza molecular (AMOVA), el cual mostró que el 88 % de la variación genética efectivamente se encuentra dentro de las poblaciones y que hay más diversidad dentro de las poblaciones que entre ellas a pesar de los bajos niveles de heterocigosidad esperada que se observaron. Con base en las relaciones entre las poblaciones, se observó la formación de dos agrupamientos construidos con distancias genéticas de Rogers (figura 1). El Grupo I agrupó a 15 de las poblaciones. Dentro de él hubo tres subgrupos. Uno de ellos conjuntó a poblaciones de las localidades de Betaza y San Andrés Yaá; el segundo subgrupo a poblaciones de las localidades de Betaza, Santa María Tavehua y San Juan Tabaá; en tanto que el tercer subgrupo, incluyó a poblaciones provenientes de la localidad de Betaza. Por su parte, el Grupo II incluyó a solo dos poblaciones, una de la localidad de Villa Hidalgo Yalalag y la otra de Santo Tomás Lachitá.

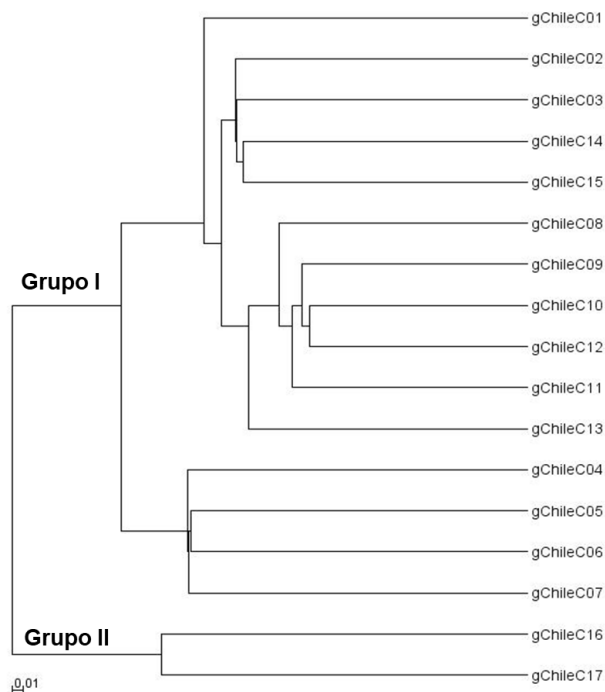


Figura 1. Agrupamiento con base en distancias de Rogers de 17 poblaciones de chile de onza de Oaxaca, México.

El análisis de dispersión multidimensional (MSD-3D) mostró que los primeros tres componentes principales explicaron un porcentaje de varianza relativamente bajo (CP1 = 12.5 %, CP2 = 8.46 %, CP3 = 7.98 %), para tener un valor total acumulado de 28.94 % (figura 2). Este bajo porcentaje es común en estudios con marcadores dominantes y materiales genéticamente cercanos o con una diferenciación genética débil. Las 17 poblaciones de chile de onza evaluadas son cercanas geográficamente, lo que hace suponer que tienen un origen genético similar. Por ejemplo, en la visualización tridimensional se pudieron observar a ciertos agrupamientos consistentes con el origen geográfico. De esta manera, las poblaciones de Betaza, quedaron juntas en el plano tridimensional junto con las poblaciones de Santa María Tavehua, San Juan Tabaá y San Andrés Yaá. Otras poblaciones de Betaza (C04, C05, C06 y C07) quedaron un poco alejadas de este conjunto de poblaciones, pero dentro del mismo plano de la gráfica. En cambio, las poblaciones de Villa Hidalgo Yalalag y Santo Tomás Lachitá quedaron alejadas genéticamente de las anteriores, destacándose por poseer una estructura genética diferente.

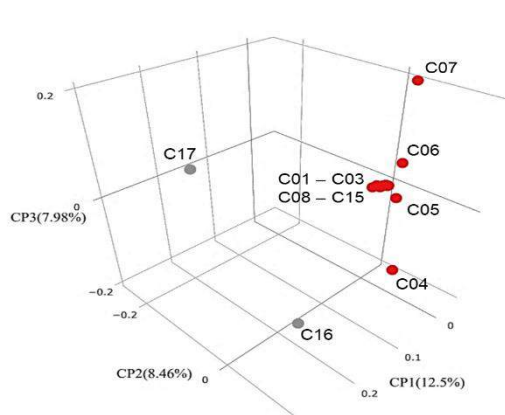


Figura 2. Distribución dimensional de 17 poblaciones de chile de onza de Oaxaca, México.

Conclusiones

La diversidad genética de las 17 poblaciones de Chile de onza fue baja, con un alelo predominante en la mayoría de los loci. Esta diversidad se distribuyó principalmente dentro de las poblaciones. Las poblaciones de Betaza, Santa María Tavehua, San Juan Tabaá y San Andrés Yaá compartieron una estructura genética similar a diferencia de las poblaciones de Villa Hidalgo Yalalag y Santo Tomás Lachitá. La presencia de un número considerable de alelos raros sugirió que aún hay variación que debería ser conservada o utilizada para incrementar la variabilidad entre poblaciones a través de programas de mejoramiento genético.

Agradecimientos

A la SECIHTI (antes CONAHCYT) por la beca otorgada al autor principal, así como al posgrado en Producción de Semillas del Colegio de Postgraduados y al Laboratorio de Marcadores Moleculares del mismo Colegio por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

Fuente financiadora

Este trabajo fue financiado por el Colegio de Postgraduados a través del proyecto RGAA_2023_039.

Referencias bibliográficas

Aguilar-Rincón, V. H., Corona Torres, T., López López, P., Latournerie Moreno, L., Ramírez Meraz, M., Villalón Mendoza, H., Aguilar Castillo, J. A. 2010. Los chiles de México y su distribución. SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, IT-Conkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 114 p.

Muñoz, Z. R. 2012. Diccionario Enciclopédico de la Gastronomía Mexicana. Ediciones Larousse S. A. de C.V. 752 p. México.

Doyle, J. J., Doyle, J. L. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin* 19:11–15.

Pacheco, G. R., Alvarado, G., Rodríguez, F., Burgueño, J. 2016. BIO-R (Biodiversity analysis with R for Windows) Version 3.2. CIMMYT Research Data & Software Repository Network, 13. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11529/10820>

AGRICULTURA REGENERATIVA EN LA PALMA DE ACEITE DEL SOCONUSCO. DE LA PARCELA AL PAISAJE: ADOPTANDO LA AGRICULTURA REGENERATIVA EN EL SOCONUSCO

Vania Rebeca Olmos-Lau^{1*}, Diana Valentina Zapata-Casián¹, Felipe Hernández-Hernández¹, Abigail Ríos-Flores¹, Cleopatra Andrews-Cavanagh², Leonardo Castro-Suriano², Andrea Marysenka Díaz-Marin², Isabella Galante², Lisset Cabrera-Martínez²

¹Solidaridad, ²Earthworm Foundation

*Autor para correspondencia: vania.olmos@solidaridadnetwork.org

Palabras clave. Agricultura regenerativa, palma de aceite, adopción.

Introducción

En el Soconusco, Chiapas, región con fuerte presencia de pequeños productores de palma de aceite, la agricultura regenerativa se presenta como una alternativa sostenible frente a los impactos negativos de modelos agrícolas convencionales. A través de prácticas que restauran suelos, fomentan la biodiversidad y reducen la dependencia de agroquímicos, este enfoque busca transformar el sistema productivo desde la parcela hasta el paisaje.

Este estudio se enmarca en un contexto donde la sostenibilidad ambiental y social se vuelve urgente ante el avance del cambio climático y la presión sobre los ecosistemas. Frente a ello, diversas organizaciones han impulsado prácticas de agricultura regenerativa como una vía viable para pequeños productores. Este documento analiza un caso concreto de implementación en el cultivo de palma de aceite, buscando aportar evidencia desde el territorio.

Objetivo

Este estudio analiza el progreso en la adopción de prácticas de agricultura regenerativa a nivel parcelario entre productores que han recibido apoyo institucional. Su objetivo es comprender las motivaciones de los productores, los resultados obtenidos y los desafíos enfrentados. La investigación se centra en los municipios de Mapastepec, Acapetahua y Villa Comaltitlán.

Materiales y Métodos

Se aplicó una metodología cualitativa y cuantitativa basada en entrevistas semiestructuradas y encuestas económico-productivas a 18 productores de los municipios de Mapastepec, Acapetahua y Villa Comaltitlán. La muestra se seleccionó entre productores con experiencia en buenas prácticas agrícolas, principalmente vinculados a programas como Sembrando Vida o procesos de certificación. Se analizó la implementación de 14 prácticas regenerativas y 5 prácticas convencionales. Se empleó estadística descriptiva y análisis comparativo.

El análisis consideró también los testimonios de los productores y el contexto ecológico de la región, incluyendo zonas dentro o colindantes con la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, un área con alta biodiversidad y fragilidad ambiental.

El grupo de 18 palmicultores entrevistados ofrece una fotografía representativa de los pequeños productores del Soconusco comprometidos con la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles. Del total, 12 se encontraban en el rango de edad entre 55 y 65 años, 4 eran mayores de 65 y solo 2 tenían menos de 50 años, lo que confirma que el relevo generacional aún es limitado. El 89% de los participantes eran hombres, aunque en el 61% de los casos se reportó una participación activa de sus parejas o hijas en labores como la gestión de bioinsumos, la administración del predio o la asistencia a talleres técnicos. Además, el 78% de los productores entrevistados ha trabajado la tierra por más de 30 años, lo que representa una experiencia acumulada invaluable.

Resultados y Discusión

Los productores entrevistados implementan diversas prácticas regenerativas como fertilización orgánica, manejo manual de malezas, aplicación de raquís, uso de bioinsumos y conservación de áreas riparias.

Estas acciones están orientadas a restaurar la salud del suelo, mejorar la productividad y reducir la dependencia de agroquímicos.

La palma de aceite, al ser el cultivo principal, concentra la mayoría de estas prácticas, mientras que otros cultivos como el maíz o los potreros siguen asociados a enfoques convencionales. A nivel económico, los datos muestran que las prácticas regenerativas son más rentables en el mediano plazo, con una productividad promedio de 21.9 ton/ha/año, superior al promedio nacional (14.3 ton/ha/año).

Productividad de palma de José y Cecilia durante los últimos tres años

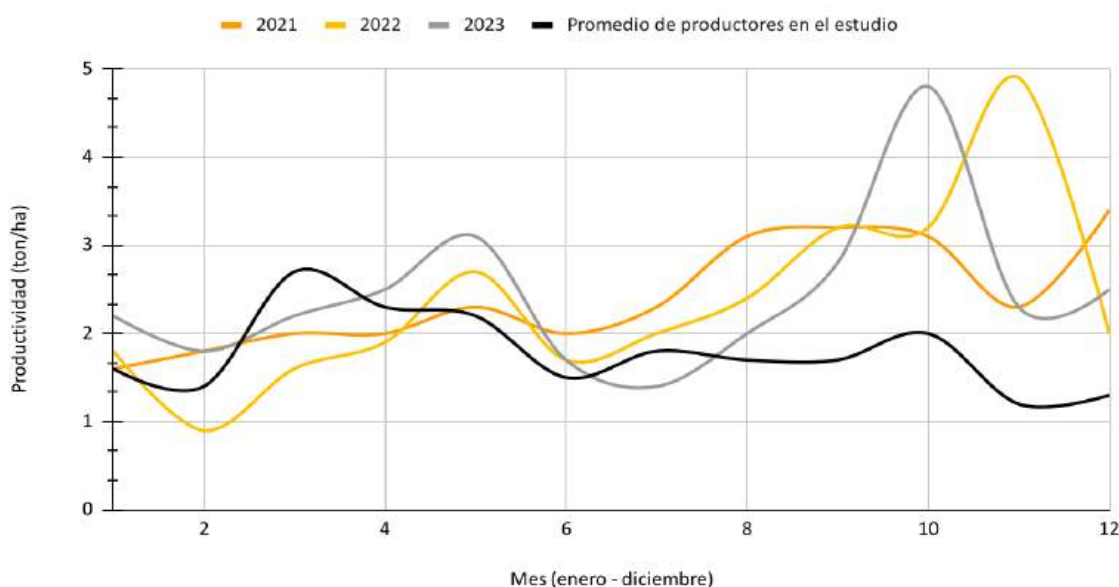


Figura 1. Productividad de Palma.

Productores como José Villalobos y Cecilia Millares, o José Luis y Elia Rivera, han logrado altos niveles de productividad, con rendimientos de hasta 32 ton/ha/año, mientras mantienen sistemas diversificados y ecológicamente equilibrados. En sus parcelas se observa el regreso de fauna, mejor clima local y ahorro en costos por uso de bioinsumos producidos localmente.

Conclusiones

El estudio confirma que la agricultura regenerativa en palma de aceite es una alternativa viable, rentable y resiliente para pequeños productores del Soconusco. Su implementación mejora la productividad, reduce costos, y fortalece la resiliencia climática y ecológica. También fomenta una mayor autonomía campesina, motivada no solo por beneficios económicos, sino también por el cuidado ambiental y familiar.

Aunque hay avances, se observa una aplicación desigual de las prácticas, concentradas en palma y sistemas agroforestales, dejando de lado cultivos como maíz o potreros, lo que representa una oportunidad para ampliar el enfoque regenerativo en todo el sistema productivo.

Recomendaciones clave

- Fortalecer la formación continua con talleres prácticos adaptados al contexto local.
- Promover una transición gradual, comenzando con prácticas accesibles y de bajo costo.
- Fomentar redes de intercambio entre productores para compartir experiencias.
- Extender el enfoque regenerativo a todos los cultivos de la parcela.
- Facilitar el acceso a bioinsumos y materiales clave para la regeneración.
- Valorar los beneficios ecológicos y culturales, más allá de la productividad.
- Incluir a mujeres y jóvenes con estrategias formativas e incentivos diferenciados.
- Reforzar la articulación institucional para sostener e impulsar el cambio.

- Impulsar políticas internas que promuevan la adopción de prácticas regenerativas.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Este estudio fue posible gracias a la colaboración entre Solidaridad y Earthworm Foundation, organizaciones comprometidas con la transformación hacia sistemas de producción más sostenibles, inclusivos y resilientes en México. Agradecemos profundamente la participación activa de los pequeños productores del Soconusco, quienes compartieron con generosidad sus experiencias, saberes y aprendizajes acumulados a lo largo de décadas de trabajo en el campo.

Reconocemos también el valioso apoyo de los técnicos locales y facilitadores comunitarios, cuyas observaciones y conocimientos técnicos fueron fundamentales para la validación de la información y el análisis de los resultados. Su compromiso con la mejora continua de los sistemas agroalimentarios ha sido clave para la implementación de prácticas regenerativas en la región.

Finalmente, agradecemos el respaldo institucional, metodológico y logístico brindado por ambos equipos, así como el tiempo y la dedicación invertidos en la sistematización de este estudio. Este esfuerzo colectivo refleja el poder de las alianzas interinstitucionales y comunitarias para construir una agricultura más justa, regenerativa y centrada en las personas.

Referencias bibliográficas

FAO. (2015). Agroforestry for Sustainable Agriculture.

CATIE. (2020). Guía práctica para la implementación de sistemas agroforestales.

ReNature. (2021). Assessment and systematization of good practices and technologies for regenerative agriculture in Mexico.

Solidaridad Network. (2024). Resultados de prácticas regenerativas en palma de aceite – Chiapas.

World Bank. (2023). Agricultural Input Prices: Trends and Forecasts.

ACUMULACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE HIERRO EN HELECHOS Y LOMBRICES EN CONDICIONES FORESTALES

Hermes Pérez Hernández*

INIFAP, CIRSE, CE Edzná

*Autor para correspondencia: perez.hermes@inifap.gob.mx

Palabras clave. Bioaccumulation; ecotoxicity; *Pleopeltis guttata*; *Balanteodrilus spp.*

Introducción

La nanociencia y nanotecnología han permitido controlar las propiedades de partículas de tamaño nanométrico (1–100 nm), lo que ha impulsado aplicaciones en áreas como medicina, industria textil y medio ambiente. En el ámbito ambiental, la nanorremediación ha emergido en la última década como una técnica eficaz para inmovilizar metales pesados, destacando materiales como nanopartículas (NPs) de hierro cero valente (nZVI), magnetita (Fe_3O_4) y hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), debido a su alta área superficial, baja toxicidad y bajo costo. Sin embargo, estudios han demostrado efectos negativos de las NPs de Fe sobre suelos, plantas y lombrices, lo que subraya la necesidad de evaluar sus efectos residuales a largo plazo (Pérez-Hernández et al., 2020).

Aunque el hierro es esencial para los organismos, su exceso puede ser perjudicial. Por ejemplo, se observó que niveles altos de nZVI afectaron el crecimiento y comportamiento de *Eisenia fétida* y se evidenciaron efectos genotóxicos en *E. hortensis* (Çiğerci et al., 2018). En plantas los efectos son contradictorios, algunos estudios reportan daño morfológico, reducción de biomasa y crecimiento (Colangelo & Gueriot, 2006). Las propiedades de las NPs (tamaño, carga superficial, concentración, tiempo de exposición) y sus interacciones con matrices complejas del suelo afectan su toxicidad. La mayoría de los estudios se han realizado en condiciones controladas de laboratorio, lo que limita la extrapolación a ambientes naturales como suelos forestales o agrícolas (Pérez-Hernández et al., 2020). Además, existe debate sobre el uso de lombrices epigeas como bioindicadores, pues su dieta se basa en residuos orgánicos, a diferencia de las endogeas, que consumen suelo (Samrot et al., 2017). Los estudios de campo sobre bioacumulación de NPs en lombrices endogeas son escasos, especialmente en condiciones de suelos forestales semiáridos. En investigaciones previas, se observó acumulación de NPs de Fe en lombrices endogeas y comportamiento de evitación con el tiempo (Pérez-Hernández et al., 2020). Asimismo, helechos como *Pteris vittata* han demostrado ser buenos indicadores por su capacidad de acumular metales pesados como el arsénico (Yang et al., 2020). En este contexto, se propuso evaluar el efecto de NPs de Fe en lombrices endogeas (*Balanteodrilus* sp. Familia Acanthodrilidae) y helechos (*Pleopeltis guttata* (Maxon)) E.G. Andrews & Windham) en un bosque templado de Coahuila, México.

Objetivo

Determinar la acumulación de Fe en suelo, lombrices y helechos tras 90 días de exposición a cuatro concentraciones de NPs de Fe en condiciones de suelo natural.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio: El experimento se realizó entre octubre de 2019 y enero de 2020 en un bosque de Santa Rita, Arteaga, Coahuila (25°14'N, 100°29'W; 2,470 m.s.n.m.), con clima templado y temperaturas promedio de 12.7 a 8.2 °C durante el periodo. La precipitación acumulada varió entre 7.19 y 55.68 mm. El suelo fue clasificado como franco arenoso, con pH 7.8, 489.25 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de CE y 3.5 % de materia orgánica.

Nanopartículas: Las NPs de Fe (99 % pureza, 65 nm, semiesféricas) fueron adquiridas de ID-nano, S.A. de C.V., y caracterizadas previamente por microscopía electrónica de barrido por emisión de campo (FE-SEM, por sus siglas en inglés) y estudios anteriores (Pérez-Hernández et al., 2020).

Diseño experimental, tratamientos y método de muestreo: Se delimitó un área experimental de 30 × 50 m en un bosque secundario con pinos y encinos. Dentro del área se establecieron monolitos que sirvieron para la aplicación de cuatro tratamientos (1, 10, 100, 1000 mg de NPs de Fe por kg de suelo seco) y un control, con tres repeticiones, evaluados a los 0, 30, 60 y 90 días después de la exposición (DDE) de las NPS de Fe. Las unidades experimentales o monolitos (30 × 30 × 15 cm) fueron tratadas mediante infiltración

controlada de NPs de Fe con el apoyo de un marco metálico. Las muestras fueron extraídas en cada tiempo de muestreo y trasladados al laboratorio para separar suelo, lombrices y helechos. El suelo fue secado a temperatura ambiente; las lombrices fueron fijadas con formaldehído, y las plantas secadas a 70 °C por 72 horas.

Análisis químico. Se usó digestión ácida (HNO_3 , H_2O_2 , HCl) para analizar Fe en suelo, lombrices y plantas. Las muestras fueron filtradas y ajustadas a 100 mL antes de ser analizadas por espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES; Perkin Elmer Optima 8300). El análisis se realizó por triplicado para cada tipo de muestra. Los datos obtenidos en porcentaje de cada uno de los tejidos de las plantas fueron convertidos en mg kg^{-1} de materia seca. Se calcularon los factores de bioconcentración (FB) y traslocación (FT). El FB se calculó como la relación entre el Fe acumulado en tallos y hojas y el contenido de Fe en el suelo, mientras que el FT correspondió a la relación entre el Fe acumulado en la parte aérea y el acumulado en raíces. Un $\text{FB} > 1$ sugiere un comportamiento hiperacumulador, y un $\text{FT} > 1$ indica una eficiente translocación de Fe desde raíces hacia órganos aéreos; en cambio, valores < 1 reflejan una mayor retención de Fe en raíces.

Análisis estadístico: Se verificaron normalidad y homogeneidad de varianzas mediante Kolmogorov-Smirnov y Levene. Se realizó un ANOVA de dos vías (tratamientos y tiempos) y cuando se observó diferencias estadísticas se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Para el análisis de datos se utilizó Minitab v.20 y para la elaboración de las gráficas el programa SigmaPlot 14.5.

Resultados y Discusión

Acumulación de Fe en el suelo

Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($F_c = 5.93$; $p = 0.001$). En el tratamiento con 1000 mg kg^{-1} de NPs de Fe, las concentraciones de Fe en el suelo aumentaron a 23,300, 26,960 y $28,600 \text{ mg kg}^{-1}$ a los 30, 60 y 90 días, respectivamente, en comparación con 16,773, 20,577 y $16,693 \text{ mg kg}^{-1}$ en el control. También se observó un efecto significativo del tiempo ($F_c = 4.29$; $p = 0.01$), con un aumento notable a los 60 días (figura 1). Es evidente que la deposición intencional de NPs en sistemas terrestres, como en el caso de nanopartículas de Fe en suelos de bosques templados, puede persistir hasta 90 días. Su liberación o uso constante en los ecosistemas plantea problemas ecológicos, de interacción, y sobre la calidad e integridad fisicoquímica del suelo. Las NPs en el suelo pueden desencadenar reacciones que determinan su biodisponibilidad y toxicidad al ser consumidas por organismos edáficos, representando una amenaza para la cadena alimentaria (Pérez-Hernández et al., 2020). En efecto, cuando se evaluó la concentración de Fe en las plantas de helechos y lombrices, se observaron cambios en la concentración del mineral a través de tiempo.

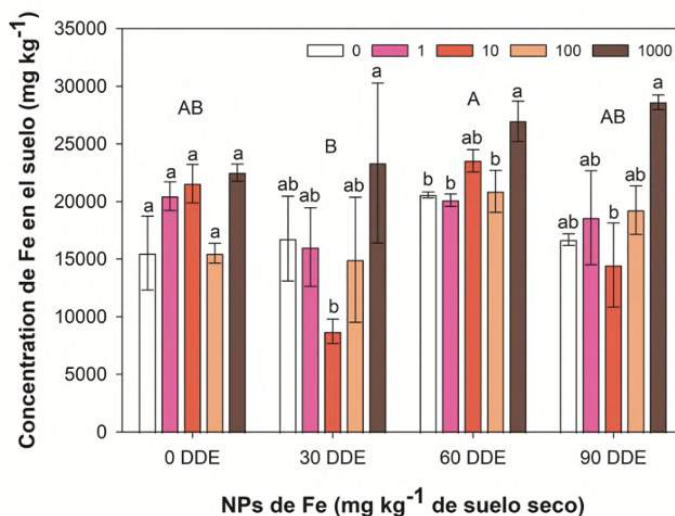


Figura 1. Concentración de Fe en el suelo posterior a la exposición de NPs de Fe en un suelo forestal. Las barras representan valores promedio $\pm$ error estándar ($n=3$). Literales con letra diferente indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos (Tukey < 0.05).

Acumulación de Fe en las plantas de helechos

El ANOVA demostró que las nanopartículas de Fe causaron cambios significativos en el contenido de Fe en las raíces y hojas de helecho a lo largo del tiempo y entre tratamientos (figura 2). En el día 0, las plantas no acumularon Fe en las raíces ($F_c = 3.15$; $p = 0.064$); sin embargo, a los 30, 60 y 90 DDE, la concentración de Fe aumentó con dosis más altas de nanopartículas de Fe ($F_c = 106.54, 103.39$ y 20.62 ; $p = 0.000$). A 1000 mg kg^{-1} , el Fe en las raíces superó al control en 279.42 %, 255.59 % y 280.76 %, mientras que a 100 mg kg^{-1} , los aumentos fueron del 178.62 %, 191.43 % y 260.16 %, respectivamente. De manera similar, la acumulación de Fe en las hojas no fue significativa a los 0 DDE ($F_c = 3.41$; $p = 0.062$), pero aumentó con mayores concentraciones de nanopartículas. Los tratamientos de 100 y 1000 mg kg^{-1} mostraron el mayor contenido de Fe a lo largo del tiempo ($F_c = 18.49, 14.25$ y 45.41 a los 30, 60 y 90 DDE; $p = 0.000$). A los 90 DDE, la mayor acumulación de Fe en las hojas se observó con 1000 mg kg^{-1} de nanopartículas de Fe.

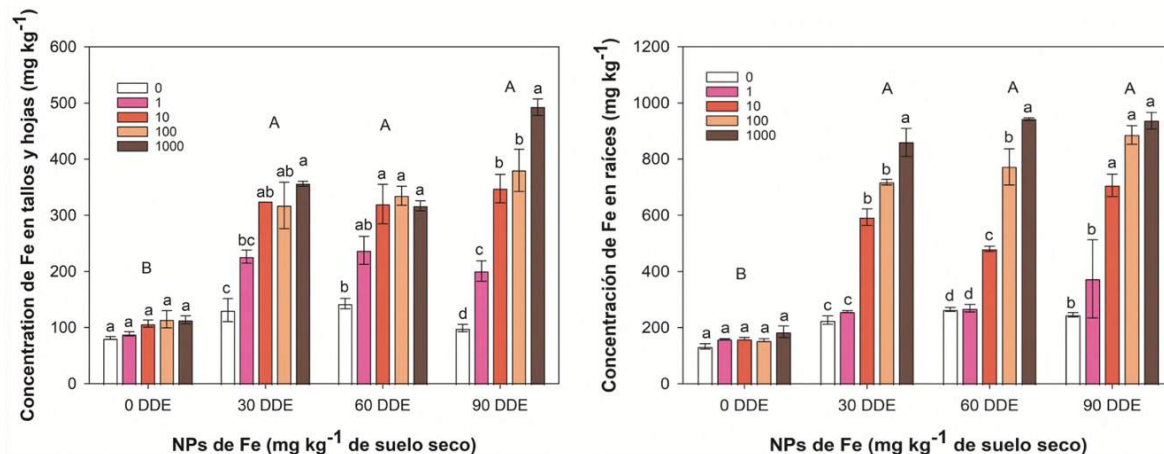


Figura 2. Concentración de Fe en tallos, hojas y raíces en plantas de helechos (*Pleopeltis guttata*) posterior a la exposición de NPs de Fe en un suelo forestal. Las barras representan valores promedio $\pm$ error estándar ($n=3$). Literales con letra diferente indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos (Tukey < 0.05).

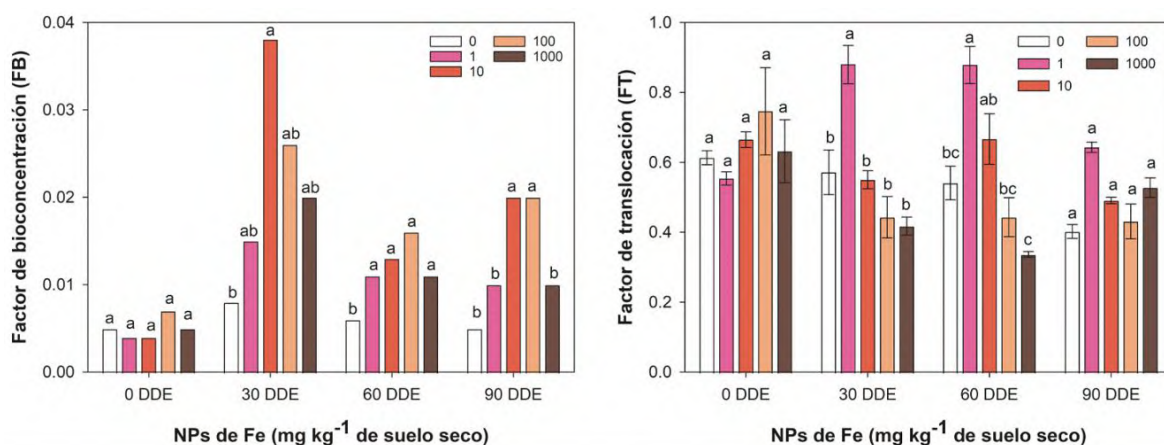


Figura 3. Factor de bioconcentración (FB) y traslocación (FT) en plantas de helechos (*Pleopeltis guttata*) posterior a la exposición de NPs de Fe en un suelo forestal. Las barras representan valores promedio $\pm$ error estándar ($n=3$). Literales con letra diferente indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos (Tukey < 0.05).

En las raíces, los tratamientos con nanopartículas de Fe mostraron un incremento en el contenido de hierro superior al 150 % en comparación con el control. En las hojas también se observó un aumento progresivo en los niveles de Fe a lo largo del tiempo, siendo más evidente en el tratamiento de 1000 mg kg^{-1} a los 90

días de exposición. Los valores de TF y BF fueron consistentemente < 1 , lo que indica acumulación preferencial en raíces frente a la parte aérea (figura 3). Este experimento es pionero en evaluar el efecto de NPs de Fe en helechos en un ecosistema forestal templado. Los resultados sugieren que *Pleopeltis guttata* responde a la exposición a las NPs de Fe acumulando el metal mayormente en raíces, posiblemente mediante mecanismos de defensa para limitar la translocación. Esta respuesta coincide con estudios sobre transportadores que regulan el hierro (IRT, por sus siglas en inglés) responsables del ingreso de metales y con hallazgos en otras especies de helechos expuestos a NPs metálicas (Colangelo & Guerinot, 2006). Los valores bajos de TF indican que la planta evita que el Fe llegue a la parte aérea, sugiriendo potencial para inmovilización de NPs (Yang et al., 2020). Aunque no se observaron síntomas visibles de toxicidad, los resultados refuerzan la necesidad de evaluar también parámetros bioquímicos para comprender posibles efectos subletales de las NPs en plantas acumuladoras.

Acumulación de Fe en las lombrices de tierra

Solo a los 30 días se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$), con mayor acumulación de Fe en lombrices expuestas a 1000 mg kg^{-1} . A los 60 días, el contenido de Fe en los organismos disminuyó, y a los 90 días mostró un leve repunte en todos los tratamientos (figura 4). La concentración de Fe en lombrices se correlacionó positivamente con la del suelo ($r = 0.54$; $p = 0.036$). Análisis por FE-SEM mostraron mayor presencia de Fe en lombrices expuestas a 10 y 1000 mg kg^{-1} , en comparación con el control, especialmente a los 60 y 90 días. La acumulación de Fe en lombrices endogeas (*Balanteodrilus* sp.) varió con el tiempo y la concentración de NPs. La reducción observada a los 60 días puede deberse a menor humedad, afectando la disponibilidad y consumo de partículas del suelo. Estudios anteriores señalan que el efecto de las Fe NPs varía según la especie de lombriz, condiciones ambientales y tipo de suelo (Pérez-Hernández et al., 2020). También se ha reportado daño intestinal por NPs metálicas en otras especies (Samrot et al., 2017). Estas diferencias subrayan la importancia de considerar el tipo de lombriz (epigea vs endogea), su dieta y la naturaleza del entorno. Nuestros resultados confirman que las lombrices pueden absorber NPs de Fe del suelo, pero la respuesta está modulada por varios factores que deben explorarse más a fondo, especialmente en condiciones de campo.

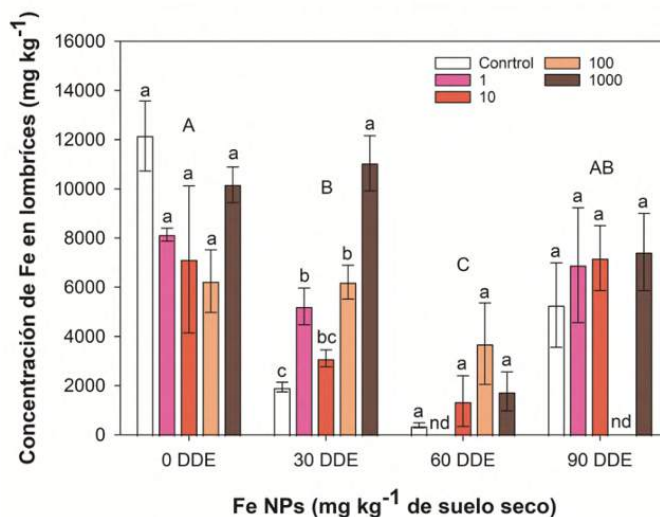


Figura 4. Concentración de Fe en las lombrices (*Balanteodrilus* sp) posterior a la exposición de NPs de Fe en un suelo forestal. Las barras representan valores promedio $\pm$ error estándar ($n=3$). Literales con letra diferente indican diferencias significativas entre tratamientos y tiempos (Tukey < 0.05).

Conclusiones

El uso excesivo de nanomateriales en aplicaciones ambientales podría representar un riesgo futuro para los ecosistemas agrícolas y naturales. En este estudio se evidenció que una alta concentración de nanopartículas de hierro en un bosque templado favorece su persistencia en el suelo. La especie *P. guttata* mostró una mayor acumulación de hierro en las raíces, lo que sugiere su capacidad para inmovilizar este metal; sin embargo, este efecto disminuye a medida que aumenta la concentración de NPs de Fe. Estos

resultados indican que muchas plantas no actúan como acumuladoras eficientes de hierro nanométrico y, por el contrario, podrían estar expuestas a efectos tóxicos. Asimismo, se observó que concentraciones elevadas de NPs de Fe provocan una mayor acumulación de hierro en lombrices *Balanteodrilus* sp., efecto posiblemente influenciado por la permanencia de las nanopartículas y por factores ambientales como la temperatura y la humedad del suelo. Para comprender mejor estos impactos, se recomienda que futuras investigaciones incluyan evaluaciones bioquímicas, así como estudios a largo plazo que analicen el crecimiento vegetal, la absorción de minerales en tallos, hojas y raíces, y parámetros de salud y reproducción en lombrices.

Agradecimientos

El autor agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), México

Referencias bibliográficas

- Ciğerci, İ. H., Ali, M. M., Kaygısız, Ş. Y., Kaya, B., & Liman, R. (2018). Genotoxic assessment of different sizes of iron oxide nanoparticles and ionic iron in earthworm (*Eisenia hortensis*) coelomocytes by comet assay and micronucleus Test. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 101(1), 105–109. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2364-y>
- Colangelo, E.P., Guerinot, M.L. (2006). Put the metal to the petal: Metal uptake and transport throughout plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 9, 322–330. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.015>
- Pérez-Hernández, H., Fernández-Luqueño, F., Huerta-Lwuanga, E., Mendoza-Vega, J., Álvarez-Solís, J.L., Hernández-Gutiérrez, E., Vave-Mora, J.F., & Pérez-Sato, M. (2020). The first evidence of accumulation and avoidance behavior of macroinvertebrates in a forest soil spiked with human-made iron nanoparticles: A field experiment. *Heliyon*, 6(9), e04860. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04860>
- Samrot, A. V., Justin, C., Padmanaban, S., & Burman, U. (2017). A study on the effect of chemically synthesized magnetite nanoparticles on earthworm: *Eudrilus eugeniae*. *Applied Nanoscience*, 7(1–2), 17–23. <https://doi.org/10.1007/s13204-016-0542-y>
- Yang, C., Ho, Y.-N., Makita, R., Inoue, C., & Chien, M.-F. (2020). A multifunctional rhizobacterial strain with wide application in different ferns facilitates arsenic phytoremediation. *Science of The Total Environment*, 712, 134504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134504>

RECUPERACIÓN DE PLANTACIONES DE FRESA CON *Trichoderma reesei* EN SUELOS DONDE SE PRESENTA “SECADERA DE PLANTAS” EN ZAMORA, MICHOACÁN

Rosalba Lira-Ortiz¹, Víctor Manuel Coria-Avalos^{1*}, Rosa Gabriela Coria-Mora²

¹INIFAP, CE Uruapan. ²UMSNH, Fac. de Agrob. Presidente Juárez

*Autor para correspondencia: coria.victormanuel@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Fragaria ananassa*, *Neopestalotiopsis rosae*, manejo.

Introducción

El estado de Michoacán es el productor de fresa más importante a nivel nacional, con 5,255 hectáreas cultivadas en el año 2020, de las cuales se cosecharon 38,248 toneladas, con rendimiento promedio de 54.93 t ha⁻¹ (SIAP, 2024). En los últimos años ha surgido un problema de “secadera de plantas” ocasionada por *Neopestalotiopsis rosae* (Rebollar-Alviter et al., 2020) el cual está ocasionando muerte de plantaciones enteras en Michoacán, Guanajuato y otros estados del centro-sur del país. Como alternativa para manejo del problema Coria et al. (2024) evaluaron un paquete tecnológico que incluyó la desinfección de suelo con dióxido de cloro y posteriores aplicaciones ya sea con fosfito de potasio o *Trichoderma reesei* logrando recuperación fitosanitaria altamente significativa, así como evidente potencialización productiva de las plantas. Con base en lo anterior, se estableció una parcela para validación del impacto de *Trichoderma reesei* en la recuperación fitosanitaria y productiva en una parcela de fresa establecida en suelos infestados por *Fusarium oxysporum* y *Neopestalotiopsis rosae* causantes de pudrición de raíces y corona, enfermedad identificada por los productores como “secadera de plantas”.

Materiales y Métodos

La parcela de validación se estableció el 17 de marzo de 2025 en un huerto comercial de fresa ‘Frontera’, en etapa de fructificación normal y con síntomas evidentes de daño en la raíz y corona de las plantas. Se ubica en la localidad La Saucedá, municipio de Zamora, Michoacán, en las coordenadas geográficas 20° 05' 31.4" LN y 102° 21' 03.3", a 1,559 msnm. En la validación fueron utilizados tres túneles con cinco camas de siembra cada uno, establecidas a doble hilera, de 20 m de largo y 0.80 m de ancho cada una.

La tecnología en validación fue generada para ser aplicada en plantaciones de fresa recién trasplantadas en suelos infestados por *N. rosae* y *F. oxysporum*, con síntomas de secadera de raíz y corona; la cual consiste en efectuar dos aplicaciones de dióxido de cloro aplicadas en “drench” y posteriormente continuar con tres aplicaciones foliares de una cepa comercial de *Trichoderma reesei*. Los insumos y forma de aplicación de los componentes tecnológicos se describen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamiento en validación de *Trichoderma reesei* para recuperación de plantas de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) afectadas por “secadera de plantas”.

Ingrediente activo	Presentación comercial	%	Dosis (L en 1000 L de agua)	Número de aplicaciones
1. Dióxido de cloro	SQ-2®	3	1.0	2
2. <i>Trichoderma reesei</i>	S-Mic-O-Bac®	22	2.5	3
3. Tecnología del productor	---	---	---	---

En dos túneles se aplicó la tecnología generada por Coria et al. (2024) para su validación, mientras que en el tercer túnel se utilizó la tecnología del productor. En el surco central de cada una de las parcelas fueron elegidas 10 plantas, a las cuales se les colocó una etiqueta de identificación en el tiempo que duró la prueba para cuantificar visualmente la severidad de la enfermedad con base en la escala siguiente: 1) Planta aparentemente sana. 2) Planta con presencia de hojas moteadas. 3) Planta con hojas moteadas, parcial o totalmente secas e inicio de daño en la corona. 4) Follaje muerto y corona altamente dañada. 5) Planta muerta. La medición del parámetro de medición se realizó en cada una de las fechas de muestreo. Adicionalmente, en las mismas fechas de muestreo, se cuantificó el número de frutos por planta.

Se efectuó un muestreo previo a la aplicación del tratamiento y cuatro muestreos posteriores a 14, 28, 42 y 56 días después de la primera aplicación (DDA). Posterior a los muestreos de 14 DDA se realizó la

segunda aplicación con dióxido de cloro; las aplicaciones con *T. reesei* se efectuaron a 28 y 42 DDA, como se describe en el cuadro 1. Los datos de campo fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar diferencias entre los tratamientos y posteriormente, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$). Previo a la aplicación del tratamiento se tomaron muestras de plantas que manifestaban los síntomas de daño por la enfermedad, predominantes en la plantación, las cuales fueron llevadas al laboratorio para su aislamiento e identificación taxonómica del agente causal.

Resultados y Discusión

Severidad de la enfermedad, en el muestreo previo se cuantificó un nivel de daño 3.5 (std=0.4497) en la escala utilizada (cuadro 2), lo que indica presencia de plantas con hojas moteadas, parcial o totalmente secas e inicio de daño en la corona, en todas las plantas de la parcela de validación ($Pr > F=0.9509$); a partir de 14 DDA se observó diferencia significativa en la recuperación fitosanitaria de las plantas tratadas con *T. reesei* ($Pr > F=0.0138$) en las cuales solo era evidente la presencia de hojas moteadas y sin daño aparente en la corona; mientras que en la parcela testigo, además de hojas moteadas, también había hojas secas e inicios de daño en la corona de la planta. Para las fechas de muestreo de 28, 42 y 56 DDA se potencializó diferencia estadística altamente significativa ($Pr > F=0.0163$, 0.0032 y 0.0032 respectivamente); en la parcela tratada con *T. reesei* las plantas de fresa se encontraban aparentemente sanas y con mínima presencia de hojas moteadas, mientras que en la parcela con manejo del productor las plantas conservaron la presencia de hojas moteadas, abundantes hojas secas y en algunas plantas eran evidentes las pudriciones en la parte de la corona. La presencia de los patógenos *N. rosae* y *F. oxysporum* fue confirmada tanto en el muestreo previo y el realizado al final de la actividad de validación, lo que sugiere activación de las defensas naturales de la planta en presencia de *T. reesei*.

Cuadro 2. Severidad de la enfermedad “secadera de plantas” con tratamiento en validación de *Trichoderma reesei* en el cultivo de fresa *Fragaria ananassa* Duch. Zamora, Michoacán. 2025.

Tratamiento	Días después de la primera aplicación (DDA)				
	0	14	28	42	56
<i>Trichoderma reesei</i>	3.50 a	2.25b	1.50 b	1.25 b	1.25 b
Testigo del productor	3.50 a	3.75 a	3.50 a	3.75 a	3.75 a

Número total de frutos por planta, para el muestreo previo, en las condiciones de manejo realizadas por el productor se cuantificaron 17.125 (std=10.75) lo que indica una varianza bastante amplia y que se explica por la mala condición fitosanitaria de las plantas; para 14 DDA en concordancia con el mejoramiento en la sanidad de las plantas obtenido con la primera aplicación de dióxido de cloro, se cuantificó la presencia de 26.50 frutos totales por planta, mientras que en la parcela del productor se cuantificaron apenas 13 frutos por planta (cuadro 3), lo que denota diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos ($Pr > F=0.0346$). Para las fechas de muestreo de 28, 42 y 56 DDA se preservó diferencia estadística altamente significativa ($Pr > F=0.0357$, 0.0005 y 0.0282 respectivamente); con producción de 28.5, 33.0 y 33.5 frutos totales por planta, en tanto que la parcela del productor apenas generó 15.0, 11.0 y 17.0 frutos para las mismas fechas de muestreo.

Cuadro 3. Número de frutos totales por planta con tratamiento en validación de *Trichoderma reesei* en el cultivo de fresa *Fragaria ananassa* Duch. Zamora, Michoacán. 2025.

Tratamiento	Días después de la primera aplicación (DDA)				
	0	14	28	42	56
<i>Trichoderma reesei</i>	18.25 a	26.50 b	28.50 b	33.00 b	33.50 b
Testigo del productor	16.00 a	13.00 a	15.00 a	11.00 a	17.00 a

Al correlacionar el impacto en la recuperación fitosanitaria de las plantas, contra el número de frutos totales producidos por planta (independientemente de su estado de madurez). En el muestreo previo a la aplicación del tratamiento, las plantas presentaban nivel de daño 3.5 en la escala utilizada, lo que se refiere a síntomas evidentes de daño fitosanitario, con hojas moteadas, parcial o totalmente secas e inicio de daño

en la corona, con una producción promedio de 17 frutos por planta; a partir de la primera aplicación con dióxido de cloro y posteriores aplicaciones con *T. reesei*, las plantas comenzaron a mostrar recuperación fitosanitaria, de tal forma que para 56 DDA, la severidad de la enfermedad fue de 1.25; es decir, se encontraban aparentemente sanas; en concordancia con la mejora fitosanitaria, la producción de frutos se incrementó de manera sostenida, de forma que para 56 DDA se cuantificó la presencia de 33.5 frutos por planta (figura 1), lo que denota correlación negativa bastante fuerte ($r=-0.9764$) ya que en el caso de la parcela testigo con el manejo realizado por el productor presentó 17 frutos por planta. La disminución en la severidad de la enfermedad inducida a la planta por el tratamiento en validación, aumentó la capacidad productiva de la planta; mientras que, en la parcela con el manejo del productor, no se observaron cambios en la condición fitosanitaria, ni en la producción de frutos por planta cuantificados en el muestreo previo.

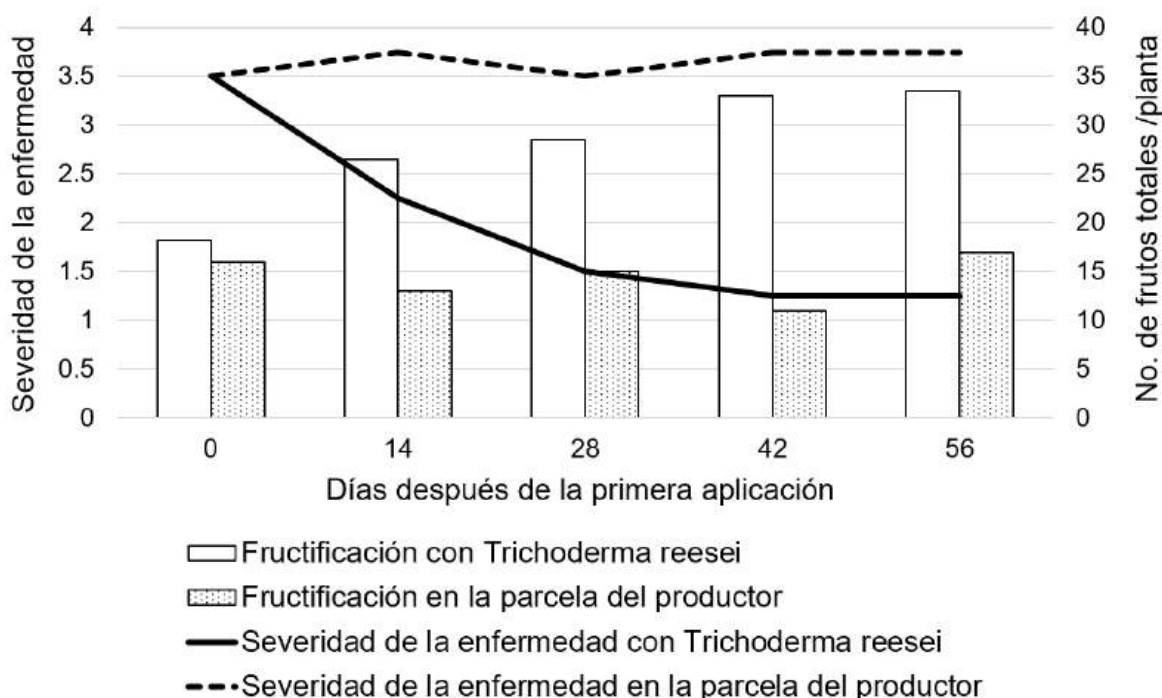


Figura 1. Severidad de enfermedad “secadera de plantas” y fructificación por planta de fresa con tratamiento en validación de *Trichoderma reesei*. La Sauceda, Zamora, Michoacán. 2025.

Conclusiones

La aplicación inicial de dos aplicaciones con dióxido de cloro y tres posteriores aplicaciones con *T. reesei* fue de alto impacto en la recuperación fitosanitaria de plantas de fresa con síntomas evidentes de daño por pudrición de raíces y corona, enfermedad identificada como “secadera de plantas”. Se logró inducir una condición aparentemente sana a partir de 28 DDA, lo que denota activación de las defensas naturales de la planta, ya que al final de la prueba, los análisis de laboratorio confirmaron la presencia en el suelo de *N. rosae* y *F. oxysporum*. De forma paralela al proceso de recuperación fitosanitaria de las plantas, también se incrementó la cantidad de frutos generados por la planta, pasando de 17 a 33.5 frutos totales por planta, mientras que en la parcela con manejo del productor la producción al final de la validación fue de 17 frutos por planta, lo que significa un incremento del 97% en la producción de frutos con la aplicación del componente tecnológico en validación.

Agradecimientos y fuente financiadora

Al INIFAP por el financiamiento otorgado para validación de la tecnología.

PARÁMETROS DE CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA EVALUADOS EN SEMILLAS DE MATERIALES DE FRIJOL COMÚN EN UN BANCO DE GERMOPLASMA

Juan Manuel Pichardo-González^{1*}, José Eduardo Ponce-Gómez², Martín Quintana-Camargo¹, Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹, Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Francisco Fabián Calvillo-Aguilar¹, María Guadalupe Pérez-Reynoso¹, Teófilo Ramírez-Calvario²

¹INIFAP, CNRG. ² Universidad Politécnica del Sur de Zacatecas

*Autor para correspondencia: pichardo.juan@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Phaseolus vulgaris*, calidad de semilla, conservación.

Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), es uno de los cultivos más importantes en México y es un componente fundamental de la dieta de los mexicanos (CEDRSSA, 2014). El frijol es fuente de proteínas, minerales y carbohidratos (Lomas-Soria *et al.*, 2015). El frijol debido a su diversidad genética se considera un recurso importante para el fitomejoramiento, ya que, muchas de sus especies presentan genes con resistencia a factores ambientales (sequías, bajas temperaturas, plagas y enfermedades), que podrían ser utilizadas para futuras mejoras genéticas (Saburido-Álvarez y Herrera Estrella, 2015). La forma más práctica de conservar el frijol común como recurso genético es a través de la conservación de su semilla. La conservación de los recursos fitogenéticos de frijol en un banco de germoplasma es esencial para la producción agrícola sostenible; su uso eficaz contribuye a salvaguardar la seguridad alimentaria y nutricional de la población de cualquier país. Los bancos de germoplasma tienen la finalidad asegurar la diversidad de este cultivo, promover y sustentar el cultivo de variedades de semillas, ofrecer sostenibilidad ambiental mediante la preservación de la biodiversidad nativa de frijol y con ello contribuir a la seguridad agroalimentaria.

La conservación de las semillas en un banco de germoplasma está en función, entre otros aspectos, de la calidad de estas, para lo cual se requieren realizar pruebas de calidad física y fisiológica adecuadas que garanticen su conservación *ex situ* en cuartos fríos en condiciones de baja temperatura y baja humedad relativa. Para evaluar la calidad de las semillas que se conservan en bancos de germoplasma se utilizan las pruebas de calidad física y fisiológica (Romero *et al.*, 2020). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad física y fisiológica en semillas de cinco materiales de frijol común con el propósito de que los resultados contribuyan a generar un protocolo para la evaluación de la calidad y la conservación de semillas de frijol común en la Colección de semillas del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Materiales y Métodos

El trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de semillas de la Colección de semillas del CNRG-INIFAP ubicado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Se utilizó semilla de variedades locales de frijol común de cinco colores: negro, pinto, blanco, rojo y beige, la cual se cosechó en el ciclo agrícola primavera-verano (P.V.) 2022 en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco del INIFAP, ubicado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco. En un primer experimento, se evaluaron diez semillas de cada uno de los cinco materiales de frijol común, se les midió el largo, ancho y espesor con un vernier electrónico. Esta evaluación se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones. Los resultados se expresaron en milímetros (mm). En un segundo experimento se evaluó la calidad física y fisiológica de la semilla de los cinco materiales de frijol mencionados. En cuanto a la calidad física, se determinó el peso de mil semillas (ISTA, 2017), dicha determinación se realizó con cuatro repeticiones con el propósito de poderla analizar estadísticamente y se expresó en g. También se determinó del contenido humedad de la semilla de los materiales de frijol estudiados mediante el uso de un determinador de humedad electrónico (termobalanza AND® MS-70) con 1 g de muestra y programado a 130 °C. Dicha determinación también se realizó con cuatro repeticiones y se expresó en porcentaje (Rao *et al.*, 2007).

Asimismo, se realizó un análisis de la integridad física con el equipo de rayos X (Faxitron® X ray modelo MX-20) a las semillas de los cinco materiales evaluados. Se analizaron cuatro repeticiones de 25 semillas, en las cuales la integridad física de las semillas se evaluó mediante las radiografías obtenidas en el análisis. En el presente trabajo sólo se consideraron las semillas que se clasificaron como llenas cuyo valor se

expresó en porcentaje (ISTA, 2017). Por otro lado, la evaluación de calidad fisiológica de las semillas se realizó con una prueba de germinación estándar por el método entre papel. Se utilizaron cuatro repeticiones de 25 semillas de cada material de frijol evaluado. Esta prueba se estableció incubando las semillas en un cuarto de germinación a una temperatura de 25 ± 2 °C y un fotoperíodo de 16 h luz y 8 h oscuridad. En la evaluación el porcentaje de plántulas normales se consideró como el porcentaje de germinación (ISTA, 2017). La evaluación de las variables tanto de calidad física como de calidad fisiológica se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.3. Previo a los análisis los datos de las variables medidas en porcentaje se transformaron mediante la función arco seno $\sqrt{X/100}$. Se realizó un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05).

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 1) de la evaluación de dimensiones de la semilla mostraron que los materiales presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en el grosor y largo de semilla y mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el ancho de semilla.

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de los resultados de la evaluación de dimensiones de la semilla de los cinco materiales de frijol estudiados.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)
Material	4	3.67 **	9.89 **	1.67 *
Error	45	0.33	0.89	0.50
CV (%)		7.71	7.68	13.47
Media		7.45	12.30	5.28

CV= Coeficiente de Variación. *, **=Significativo con $p \leq 0.05$ y con $p \leq 0.01$, respectivamente; ns = no significativo.

Con relación a las dimensiones de semilla evaluadas (cuadro 2), el material de color negro fue el que tuvo el mayor espesor con 8.26 mm, seguido del material de color beige con 7.80 mm. Por el contrario, el material rojo tuvo el menor espesor con 6.69 mm. Por su parte, el material beige tuvo el mayor valor en el largo de la semilla con 13.47 mm seguido del material pinto con 13.21 mm. En contrastate, el material blanco fue el que tuvo el menor valor en el largo con 11.52 mm. En lo que respecta a la medición del ancho de semilla, el material negro tuvo el mayor valor con 5.78 mm, seguido del material rojo con 5.44 mm y, por el contrario, el material pinto tuvo el menor ancho de semilla con 4.71 mm. De acuerdo a los resultados anteriores, el material negro fue el que tuvo el mayor espesor y el mayor ancho de semilla comparado a los otros materiales. De igual manera, los resultados mostraron que los materiales beige y pinto son los que presentaron un largo de semilla mayor que los demás materiales evaluados. Con relación a los resultados anteriores García-Rodríguez *et al.* (2018) indican que el tamaño de semilla también es considerado como un parámetro de la calidad física, el cual depende del genotipo y de las condiciones ambientales en las cuales se han desarrollado las plantas que produjeron las semillas.

Cuadro 2. Comparación de medias de Tukey de los resultados de la evaluación de dimensiones de las semillas de los cinco materiales estudiados.

Material	Espesor (mm)	Largo (mm)	Ancho (mm)
Negro	8.26 a	11.25 c	5.78 a
Pinto	7.42 bc	13.21 ab	4.71 b
Blanco	7.10 bc	11.52 c	5.39 ab
Rojo	6.69 c	12.07 bc	5.44 ab
Beige	7.80 ab	13.47 a	5.06 ab
DMS	0.73	1.20	0.90

DMS= Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, $P \leq 0.05$).

El análisis de varianza (cuadro 3) del experimento de la evaluación de calidad física y fisiológica de las semillas mostró que todas las variables respuesta tuvieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). Los coeficientes de variación son bajos (≤ 8.53) lo que demuestra la confiabilidad de los datos analizados.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de la evaluación de la calidad física y fisiológica de las semillas de los cinco materiales de frijol común evaluados.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Peso de mil semillas (g)	Contenido de humedad (%)	Semillas llenas (%)	Germinación (%)
Material	4	7889.26 **	1.06 **	297.36 **	156.01 **
Error	15	10.61	0.15	29.68	27.55
C.V. (%)		0.90	2.01	8.53	6.10
Media		359.1	11.1	79.1	98.0

C.V.= Coeficiente de Variación. *,**=Significativo con $p \leq 0.05$ y con $p \leq 0.01$, respectivamente; ns = no significativo.

La comparación de medias de Tukey de la evaluación de la calidad física y fisiológica de las semillas de frijol común (cuadro 4) mostró que la semilla del material beige tuvo el mayor valor en el peso de mil semillas con 425.0 g; en contraste, el material blanco tuvo el menor peso de mil semillas con 308.1 g. Con relación a lo anterior, Lubanov (1967) menciona que un peso alto de semilla generalmente está relacionado con tamaño grande semilla, lo cual concuerda con los resultados del presente trabajo, ya que la semilla del material beige tuvo el mayor tamaño y el mayor peso de mil semillas. Asimismo, este mismo autor indica que, para un tamaño dado de semilla, el peso refleja la densidad de las estructuras internas y determina las reservas, e incluso la calidad, de sustancias nutritivas.

Con respecto al contenido de humedad, el material blanco presentó el mayor contenido de humedad con un valor de 11.7% seguido del material rojo con 11.6%; por el contrario, el material negro presentó un contenido de humedad del 10.5%, el cual es el valor más bajo. Como se puede observar los resultados del contenido de humedad de las semillas de los cinco materiales osciló entre el 10.5% y el 11.7%, valores que son altos para almacenarse y resguardarse en un banco de germoplasma a largo plazo (colección base) como en el CNRG, ya que Rao *et al.* (2007) recomiendan que el contenido de humedad de las semillas que se van a almacenar en colecciones base debe estar entre el 5% y 7% dependiendo de la especie. Por tal motivo, las semillas de los cinco materiales deberán pasar por un proceso de secado hasta bajar el contenido de estas como lo indican los autores anteriores. En lo que se refiere al análisis de integridad física de semillas con rayos X, el material blanco presentó el mayor porcentaje de semillas llenas en el análisis de integridad física con rayos X con un valor de 94%, seguido del material negro con un 83.7 %. Por el contrario, el material rojo presentó un 62% de semillas llenas, valor que fue el más bajo. Con relación a los resultados de la evaluación de la integridad física de semillas con rayos X, la ISTA (2017) define a las semillas llenas como aquellas que se observan llenas en la radiografía y que contienen todos los tejidos esenciales para la germinación.

En el presente trabajo hubo algunas semillas que presentaron daño físico y en particular el material rojo tuvo el 38% de semillas dañadas por insecto (datos no presentados), lo cual se reflejó en el porcentaje bajo de semillas llenas. La germinación fue la única variable de calidad fisiológica evaluada, los resultados mostraron que los materiales pinto, blanco y rojo presentaron un valor del 100% de germinación, seguidos del material beige que tuvo el 98% de germinación y el material negro presentó el valor más bajo con el 92% de germinación. En este sentido, la semillas de los cinco materiales evaluados cumplen con el requisito de tener una germinación $\geq$ al 85% para almacenarse en un banco de germoplasma (Rao *et al.*, 2007; Pichardo-González *et al.*, 2024). Una prueba de germinación se realiza para determinar qué proporción de las semillas de una accesión germinará en condiciones favorables y producirá plántulas normales (plántulas con estructuras esenciales raíces, brotes y suficiente reserva de alimento que sean capaces de desarrollarse en plantas reproductivamente maduras (Rao *et al.*, 2007), por lo cual esta prueba es muy importante llevarla a cabo en un banco de germoplasma que conserve recursos fitogenéticos en la modalidad de semilla.

Cuadro 4. Comparación de medias de Tukey de la evaluación de la calidad física y fisiológica de las semillas de los cinco materiales de frijol común evaluados.

Material	Peso de mil semillas (g)	Contenido de humedad (%)	Semillas llenas (%)	Germinación (%)
Negro	377.1 b	10.5 b	83.7 a	92.0 b
Pinto	336.0 d	10.6 b	79.0 ab	100.0 a
Blanco	308.1 e	11.7 a	94.0 a	100.0 a
Rojo	349.2 c	11.6 a	62.0 b	100.0 a
Beige	425.0 a	11.0 ab	77.0 ab	98.0 a
DMS	7.1	0.9	17.8	5.9

DMS= Diferencia mínima significativa. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, $P \leq 0.05$)

Al relacionar los resultados de calidad física con el resultado de calidad fisiológica (germinación), los resultados en el presente trabajo mostraron que los mayores valores en la longitud (largo), en el ancho y en el espesor de semillas no se reflejaron en los mayores valores de la germinación. Lo anterior debido a que posiblemente las dimensiones de la semilla (tamaño) en este trabajo están mayormente influenciadas por el genotipo. Según García-Rodríguez *et al.* (2018) el tamaño de semilla es considerado como un parámetro de la calidad física el cual depende del genotipo y de las condiciones ambientales en las cuales se han desarrollado las plantas que produjeron las semillas. En este sentido, es pertinente mencionar que las semillas de los cinco materiales evaluados en este trabajo fueron cultivadas bajo las mismas condiciones en el mismo ciclo agrícola y en el mismo lote experimental, por lo que nuestros resultados sugieren que el tamaño de las semillas evaluadas está mayormente asociados al genotipo.

Por otro lado, Mölken (2005) señala que el peso de la semilla influye directamente en el tiempo, porcentaje de germinación y en el vigor de las plantas. No obstante, en el presente trabajo los mayores valores de germinación se obtuvieron en semillas que no necesariamente presentaron los mayores valores del peso de mil semillas, ya que posiblemente al igual que con el tamaño de semilla, en el presente trabajo el peso de semilla estuvo mayormente asociado con el genotipo de las semillas. Como se mencionó anteriormente, la semilla del material rojo mostró el menor porcentaje de semillas llenas (62%); sin embargo, presentó el 100 % de germinación. Estos resultados pueden deberse a que, aunque las semillas estaban dañadas por insecto, el daño no se localizó en el embrión si no en los cotiledones, lo que permitió a las semillas germinar y producir plántulas normales.

Conclusiones

En cuanto a la evaluación de las dimensiones de la semilla, el material beige tuvo el mayor valor en el largo de la semilla y el blanco el menor valor en esta característica. Por su parte el material negro presentó los mayores valores en el ancho y espesor de semilla. Por otro lado, el material beige tuvo el mayor valor en el peso de mil semillas, el material blanco presentó el mayor contenido de humedad y el mayor porcentaje de semillas llenas en el análisis de integridad física con rayos X. Con relación a la calidad fisiológica, los materiales pinto, blanco y rojo presentaron el mayor porcentaje de germinación en la prueba de germinación y el material negro presentó el valor más bajo en esta última variable. La semilla de los cinco materiales cumplió con los requisitos para conservarse en un banco de germoplasma.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto “Regeneración, caracterización y conservación a largo plazo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el INIFAP con No. de SIGI 11584934760.

Referencias bibliográficas

CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria). 2014. Evolución de los precios del maíz, frijol y sorgo. 24 p. www.cedrssa.gob.mx (Consulta: mayo 2025).

International Seed Testing Association (ISTA). 2017. International Rules for Seed Testing. Rules 2017.

Rao, N. K., J. Hanson, M.E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Larinde. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International, Roma, Italia. 165 p.

Romero P. E., Pelayo R. W., Ojalora C. A., & Ortiz V. M. 2020. Evaluación de la calidad de semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Palicero en el banco de semillas de la Universidad Libre. Avances: Investigación en Ingeniería, 17(1).

Saburido M., y Herrera A. 2015. El Frijol en la Era Genómica. RDU. Revista Digital Universitaria, 16 (2). Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art11/> Consultado en mayo 2025).



DIVERSIDAD GENÉTICA DE GERMOPLASMA DE CHIA (*Salvia hispanica* L.) EVALUADA CON MARCADORES SILICODART

Martha Hernández-Rodríguez^{1*}, Alma Aurelia Ramos-García¹, Guillermo Orozco-de Rosas², Víctor Velázquez-Castañeda³, J. Jesús García-Zavala¹, Ricardo Lobato-Ortiz¹, Sabina I. Lara-Cabrera⁴

¹Colegio de Postgraduados. ²ChíaBlanca S.A. de R.L. ³Universidad Autónoma Metropolitana.

⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

*Autor para correspondencia: hernandez.martha@colpos.mx

Palabras clave. Chía, diversidad genética, marcadores SilicoDART.

Introducción

La chía (*Salvia hispanica* L.) es una planta herbácea anual de la familia Lamiaceae. Es una planta que se cultiva desde tiempos prehispánicos donde llegó a ser el tercer cultivo en importancia después del maíz y el frijol según los registros del Códice Florentino (<https://florentinecodex.getty.edu/es>). El fruto de la chía se caracteriza por su cantidad de ácidos grasos, proteínas, compuestos antioxidantes y fibra dietética, los cuales tienen efectos favorables en el control de enfermedades no infecciosas. Entre los ácidos grasos, la semilla de chía sobresale por poseer hasta un 33% de aceite, del cual el ácido linolénico (omega-3) representa hasta un 62% y el linoleico (omega-6) hasta un 20%. Debido a ello, las semillas de chía son la fuente vegetal con la concentración de omega-3 más alta conocida y se consideran un superalimento emergente y antiguo a la vez. Actualmente, el mayor centro productor de México está en Acatic, Jalisco, México, desde donde se exporta a Japón, Estados Unidos y Europa (SIAP, 2024).

La planta de chía se encuentra de manera natural en bosques de encino y de pino-encino del Eje Neovolcánico Transversal de la Sierra Madre Occidental y el sur de Chiapas, en México, en altitudes que oscilan entre los 300 y 2,000 msnm. En esta región se ubica el centro de diversidad genética de la chía silvestre y domesticada. También es posible encontrarla en las áreas montañosas de Guatemala y otras regiones de Centroamérica. Se ha sugerido que la diversidad genética de la chía se ha reducido como consecuencia del proceso de domesticación (Hernández-Gómez y Miranda, 2008) y solamente dos reportes han documentado la variabilidad a nivel de DNA de accesiones de chía. Uno de ellos, se llevó a cabo con 18 marcadores RAPDs en 38 accesiones de chía silvestre y domesticada (Cahill, 2004), y uno más con 23,641 marcadores de un solo nucleótido (SNP) en ocho accesiones de chía silvestre y cultivada (Peláez *et al.*, 2019). Ambos estudios aportaron evidencia de una mayor diversidad genética en las accesiones silvestres. La chía es una planta autógama con un bajo porcentaje de alogamia lo que limita la generación de nuevas combinaciones alélicas. Ante escenarios de cambio climático, las plantas con diversidad baja podrían estar limitadas en su capacidad de adaptación. Por ello, el estudio de la diversidad de esta especie es importante no solo para su aprovechamiento, mejoramiento y conservación, sino también para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 2 (Hambre cero), ODS 13 (Acción por el clima) y ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres).

Objetivo

Evaluar la diversidad y divergencia genética de 60 accesiones de una colección integral de chía (*Salvia hispanica* L.) mediante marcadores SilicoDART.

Materiales y Métodos

El germoplasma provino de la colección del productor independiente G. Orozco de la empresa ChiaBlanca S. A. En total, fueron 60 accesiones. Las semillas (n = 50) se sembraron en macetas de plástico de 500 mL de capacidad, utilizando un sustrato compuesto por suelo obtenido del predio experimental y estiércol no compostado recolectado directamente en un potrero adyacente. Un mes después, las plántulas se trasplantaron bajo condiciones de cielo abierto en el predio experimental ubicado en la localidad de Acatic, Jalisco, México. En octubre del 2023, se cortó una rama con brotes jóvenes de tres plantas. Las ramas se cortaron con tijeras desinfectadas con etanol al 70 %, se envolvieron entre toallas de papel humedecido con agua, se colocaron dentro de una bolsa de polipapel y se resguardaron bajo condiciones frías dentro de una hielera. Se trasladaron al laboratorio de Marcadores Moleculares del Colegio de Postgraduados,

ubicado en Texcoco, Estado de México para obtener una muestra de 300 mg. Esta muestra de las hojas de las ramas se colocó dentro de un microtubo de polipropileno de fondo cónico de 2 mL, se congeló inmediatamente con nitrógeno líquido y se mantuvo a -70°C hasta el momento de la extracción del ADN. Para la extracción, a la muestra congelada se le colocaron 20 mg de PVP40, se homogenizó con nitrógeno líquido con un pistilo de polipropileno de 7.0 cm girándolo con fuerza hasta pulverizarla, evitando en todo momento su descongelamiento. Enseguida, se le añadió 1 mL de solución de lisis caliente a 65°C (Trizma•HCl 150 mM, NaCl 1.4 M, EDTA disódico•2H₂O 25 mM, bromuro de hexadeciltrimetilamonio 3.5 %, beta-mercaptoetanol 1 %). Se mezcló bien e incubó a 65°C durante 1 hora, mezclando cada 15 minutos. Posteriormente, se purificó con 500 μL de cloroformo:alcohol isoamílico (24:1) durante 10 min a temperatura ambiente (TA) con agitación constante. Se centrifugó (11,500 rpm, 10 min, TA) para formar tres fases. La fase superior (700 μL) se transfirió a un nuevo tubo de 1.5 mL. El ADN se precipitó de esta fase agregando 350 μL de isopropanol frío e incubando 1 hora a -20°C . La pastilla de ADN se recuperó centrifugando (11,500 rpm, 10 min, TA). Se retiró el isopropanol mediante decantación y la pastilla se lavó con 1 mL de etanol al 70% para luego recuperarla centrifugando (8000 rpm, 5 min, TA). El etanol por igual se eliminó por decantación y la pastilla se dejó secar durante 2 h a TA. Finalmente, la pastilla se hidrató con 50 μL de TE pH 8.0 (Tris 10 mM pH 8.0, EDTA 1 mM pH 8.0) y se dejó disolviendo completamente una noche a 4°C . El rendimiento en ng μL^{-1} y la pureza del DNA se evaluó en un Nanodrop ND2000 (Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) atendiendo que las relaciones DO260/280 y DO260/230 estuvieran entre 1.8–2.0. La integridad del ADN se verificó en gel de agarosa al 1% migrando una mezcla compuesta de 2 μL de ADN más 3 μL de buffer de carga 5X (Tris pH 8.0 50 mM, EDTA 5 mM pH 8.0, sacarosa 25%, azul de bromofenol 2 mg mL^{-1}) por muestra para confirmar la no degradación de la molécula.

Volúmenes de ADN de 50 μL a 100 ng μL^{-1} por muestra se enviaron para su genotipificación al Servicio de Análisis de Genotipificación para la Agricultura del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, en México que utiliza la tecnología DArT. Esta tecnología se basa en la fragmentación del genoma con enzimas de restricción y en la secuenciación de segunda generación de los fragmentos. La tecnología genera dos tipos de marcadores: los SilicoDArT de naturaleza dominante (presencia-ausencia) y los SNPs. En este estudio se utilizaron los SilicoDArT. Para ello, el genoma se fragmentó con las enzimas *Pst*I (CTGCA[^]G) y *Nsp*I (GC[^]GCGC) siguiendo el protocolo patentado por DArT (<https://www.diversityarrays.com/services/dartseq/>). La secuenciación se llevó a cabo en un secuenciador NovaSeq-6000 (Illumina). Los genotipos se recibieron como secuencias de 70 pb en hojas de trabajo Excel en formato binario (1,0) donde 1 indicó la presencia del marcador y 0 su ausencia. A partir de esta base de datos, se filtraron las secuencias sin datos faltantes y aquellas con una frecuencia del alelo menor abajo de 5% (MAF <0.05) para calcular los estadísticos de diversidad (porcentaje de loci polimórficos, P, heterocigosidad esperada; alelos efectivos, Ae; alelos raros, Ar; e índice de Shannon, I) por loci y accesión, así como obtener un dendrograma con base en distancias genéticas de Rogers y una gráfica de escalamiento bidimensional (MDS 2D) con el programa Bio-R (Biodiversity Analysis with R for Windows) v 3.2 (Pacheco-Gil *et al.*, 2016). Asimismo, se obtuvieron las distancias euclidianas esquematizadas en un mapa de calor mediante un script diseñado para R.

Resultados y Discusión

Se identificaron 65,429 marcadores SilicoDArT en el panel de 60 accesiones de chí. Después del proceso de filtrado, se conservaron 26,138 marcadores que fueron los que se utilizaron para el análisis. Se encontraron los siguientes valores para los loci SilicoDArT: Porcentaje de loci polimórficos $P = 4.75\%$, $H_e = 0.177 \pm 0.0018$, $A_e = 1.245 \pm 0.0037$, $I = 0.447 \pm 0.0033$. Estos valores reflejaron un bajo nivel de diversidad genética en el panel evaluado consistente con el sistema de reproducción de la chí (autógamo) y la naturaleza dominante de los marcadores empleados. En la chí, se han reportado diferencias en el sistema de apareamiento. En las de tipo silvestre, el tipo de reproducción es principalmente autógamo y son capaces de producir semillas aun estando aisladas (Cahill, 2004). En el tipo domesticado, el sistema de apareamiento se ha modificado y exhibe una alta proporción de cruzamiento natural (22.17 %) probablemente entomófila (Hernández-Gómez y Miranda, 2008). El grado de cruzamiento es diferente entre la silvestre-domesticada y domesticada-silvestre, siendo más exitoso el cruzamiento de una silvestre a una domesticada (Hernández-Gómez *et al.*, 2008). Por su parte, los SilicoDArT detectan la presencia ausencia de sitios de corte de las enzimas de restricción, por lo que su señal indica la existencia (presencia) o no (ausencia) de dichos sitios. Debido a que son marcadores dominantes, comparten características con los marcadores RAPDs, ISSRs y AFLPs. Todos ellos permiten estimar la heterocigosidad esperada (H_e),

pero no la heterocigosidad observada (H_o), por lo que los valores de H_e son usualmente más bajos que con los marcadores codominantes como los SSR y los SNP. No obstante, su alta densidad, reproducibilidad y cobertura genómica, los hace especialmente útiles en estudios de diversidad genética, diferenciación poblacional y selección genómica. En cuanto al valor de A_e , éste indicó un alelo predominante en las accesiones examinadas y el valor del índice de Shannon I , aunque bajo, mostró cierto nivel de variabilidad. Entre las accesiones, los valores de diversidad genética fueron de bajos a moderados. El valor promedio de H_e fue de 0.211 con un intervalo que fue de 0.072 (chía de flor y semilla blanca) a 0.374 (chía irradiada de flor y semilla pinta). Dentro de las categorías, las chías silvestres fueron las más diversas en comparación con las mejoradas y las cultivadas similar a lo reportado por Cahill (2004) y Peláez *et al.* (2019) (cuadro 1), en tanto que las chías de semillas cafés fueron las más diversas, seguidas de las chías de semilla pinta, negra y blanca. El valor de H_e más alto correspondió a una chía silvestre recolectada en el estado de Michoacán. Esta accesión tiene flor azul y semilla negra. En cuanto al valor de H_e más bajo, esté correspondió a una chía de flor y semilla blanca en proceso de mejoramiento.

Cuadro 1. Valores promedio de los indicadores de diversidad de germoplasma de chile de onza.

Rasgo	n	H_e	intervalo	A_e	intervalo	Ar	intervalo
Condición							
Silvestre	5	0.29	0.25 - 0.35	1.44	1.27 - 1.55	38.60	28.62 - 50.34
Mejorada	46	0.21	0.07 - 0.37	1.27	1.07 - 1.59	26.15	16.12 - 50.63
Cultivada	9	0.18	0.11 - 0.27	1.22	1.13 - 1.37	24.08	18.43 - 34.64
Color de testa							
Blancas	27	0.18	0.07 - 0.29	1.23	1.07 - 1.41	23.16	16.12 - 33.11
Negras	21	0.22	0.12 - 0.35	1.29	1.14 - 1.55	28.21	20.25 - 50.34
Pintas	9	0.23	0.11 - 0.29	1.30	1.13 - 1.42	27.61	19.06 - 36.62
Cafés	3	0.25	0.17 - 0.33	1.34	1.21 - 1.49	31.06	26.48 - 39.14
Grupo							
I	49	0.19	0.07 - 0.25	1.24	1.04 - 1.35	24.40	16.12 - 31.07
II	11	0.32	0.27 - 0.37	1.48	1.37 - 1.59	40.13	30.38 - 50.63

En cuanto al valor promedio general de A_e fue de 1.277 entre las accesiones indicando la predominancia de un alelo (cuadro 1). Los valores de los intervalos de A_e indicaron que las silvestres tendieron a tener una mayor variación genética que fue de moderada a alta en comparación con las chías cultivadas donde la diversidad fue de baja a moderada, así como de las mejoradas donde el valor de A_e fue de casi nula a muy alto, señales claras de que en este grupo algunas accesiones han perdido diversidad y son endogámicas por la selección artificial intensa que han recibido y otras han ganado diversidad, ya sea por cruzamientos con chías silvestres, con otras chías recombinantes o bien por irradiación. De manera específica, el valor de A_e más alto lo registró una chía irradiada (1.597) seguido de una chía silvestre (1.551) y una chía cultivada (1.37). El valor promedio de Ar fue de 26.878 alelos únicos a partir de los 26,138 loci evaluados. Nuevamente las accesiones silvestres conservaron una mayor proporción de alelos raros, mientras que las cultivadas y algunas mejoradas mostraron una pérdida considerable, consistente con la selección dirigida a la que fueron sometidas y a una posible deriva genética (cuadro 1).

Por otro lado, el análisis de varianza molecular (AMOVA) indicó que la mayor parte de la variación genética se encontró dentro de accesiones (94%), mientras que solo un 6% de la variación se encontró entre accesiones. Este porcentaje es característico de especies alógamas no de autógamas como la chía y sugirió que ha habido flujo génico como ha sido el caso específico para la colección de germoplasma. Por lo tanto, estos resultados son evidencia de aun existe una reserva genética considerable a nivel de accesión, particularmente en los materiales silvestres de la colección.

El análisis de relaciones genéticas entre accesiones con base en distancias de Rogers (no mostrado), permitió identificar dos grupos principales. El Grupo I integró a 49 accesiones y registró valores promedio de $H_e = 0.19$, $A_e = 1.24$ y $Ar = 24$, mientras que el Grupo II conjuntó 9 accesiones, con valores promedio de $H_e = 0.32$, $A_e = 1.48$ y $Ar = 40$. Aunque el grupo I fue numéricamente mayor, el grupo II mostró una mayor diversidad genética. El Grupo I estuvo conformado principalmente por accesiones mejoradas, además de 7 cultivadas y 2 silvestres, mientras que el Grupo II integró 7 mejoradas, 3 silvestres y 1 cultivada. Un análisis adicional con distancias euclidianas (figura 2) permitió encontrar a 8 de las 11 accesiones del Grupo II. Este resultado reforzó la solidez del Grupo II de que la diversidad de este grupo

estuvo relacionada con la inclusión de materiales silvestres y líneas mejoradas con antecedentes de introgresión de chías silvestres y de selección intencionada.

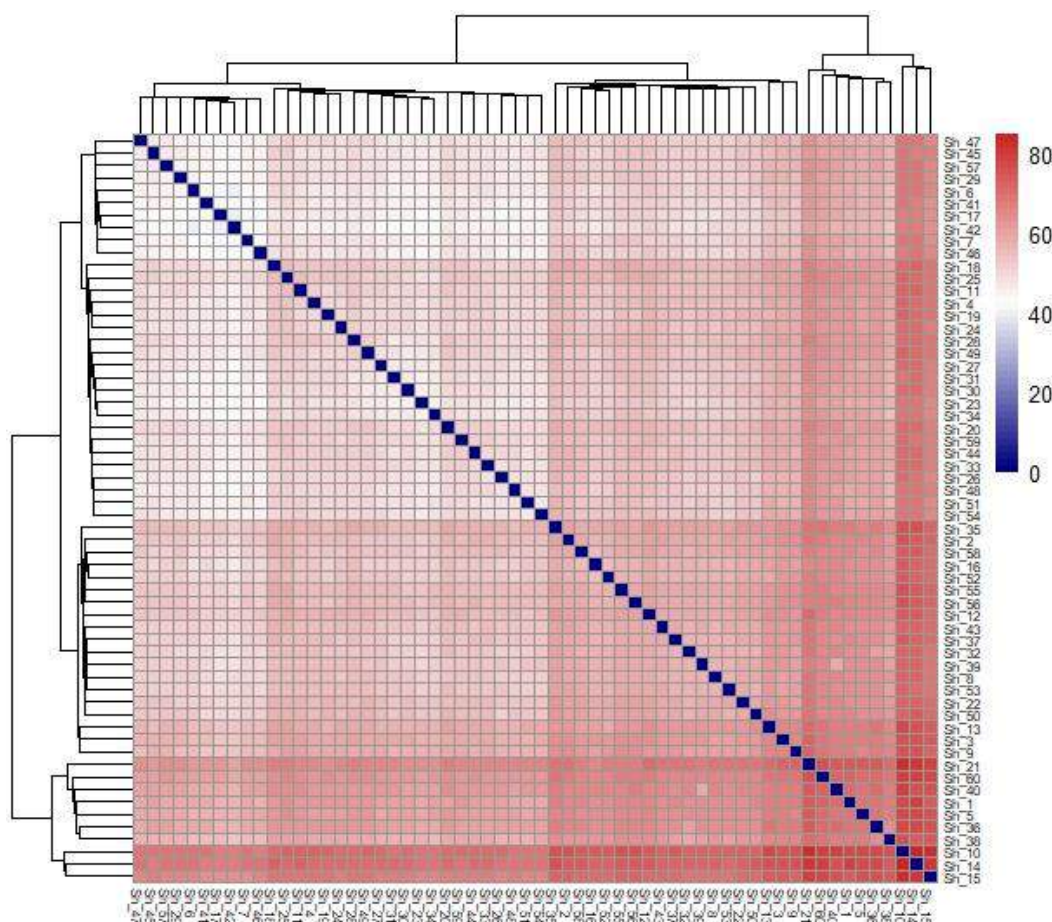


Figura 1. Mapa de calor de distancias euclidianas entre 60 accesiones de chíá basado en 26,138 loci. SilicoDart.

Asimismo, el análisis de dispersión multidimensional (MSD-2D) no mostró una separación clara entre grupos, lo cual indicó una estructura genética difusa entre las accesiones (figura 2). Los dos primeros componentes principales explicaron en conjunto apenas el 14.14% de la variación total (CP1 = 8.70%, CP2 = 5.44%). La distribución de las 60 accesiones en los cuadrantes fue la siguiente: 15 en el superior izquierdo, 12 en el superior derecho, 8 en el inferior izquierdo y 23 en el inferior derecho, sin tendencia evidente a agrupar las accesiones como silvestres, cultivadas o mejoradas, o con base en su color de semilla. Esta falta de agrupamiento puede deberse al origen diverso de las accesiones (dentro del panel hay accesiones de Puebla, Guerrero, Oaxaca y Jalisco, así como de países como Argentina, Chile y Guatemala) y de la misma introgresión y selección dirigida a la que han estado sometidas. No obstante, la distribución heterogénea en el espacio de las coordenadas sugirió que las accesiones tienen combinaciones únicas de alelos, lo cual podría ser de interés para programas de mejoramiento o bien de asociación genómica.

Conclusiones

Las accesiones de chías silvestres presentaron niveles de diversidad moderado, mientras que las cultivadas mostraron una diversidad de baja a moderada. Por su parte, las accesiones de chíá mejoradas fueron heterogéneas, con valores de diversidad que oscilaron de muy bajos a altos. No se observó una estructura genética definida y el alto porcentaje de variación dentro de accesiones sugirieron que las 60

accesiones evaluadas comparten una base genética común, con diferencias probablemente generadas por la introgresión y la selección dirigida.

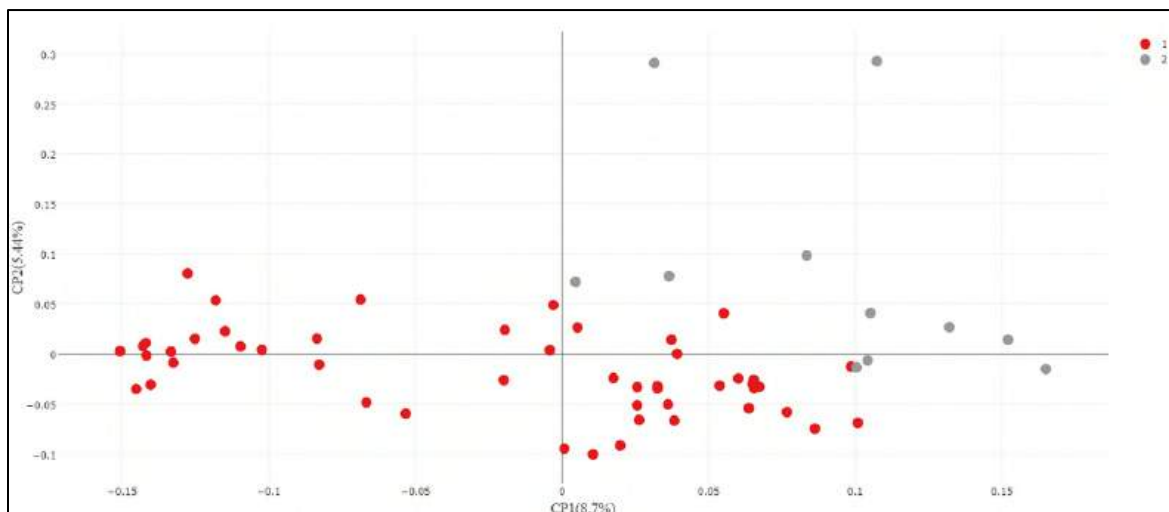


Figura 2. Distribución multidimensional de 60 accesiones de chía basado en 26,138 loci SilicoDarT.

Agradecimientos

A la empresa mexicana ChiaBlanca S.A. de R. L. por facilitar el germoplasma para realizar este trabajo.

Fuente financiadora

Este trabajo fue financiado por el Colegio de Postgraduados a través del proyecto RGAA_2023_03_048.

Referencias bibliográficas

- Cahill, J. P. (2004). Genetic diversity among varieties of Chia (*Salvia hispanica* L.). Genetic Resources and Crop Evolution 773-781. <https://doi.org/10.1023/B:GRES.0000034583.20407.80>
- Hernández-Gómez, J., y Miranda, C. S. (2008). Caracterización morfológica de la chía (*Salvia hispanica*). Revista Fitotecnia Mexicana, 31(2): 105-113. <https://doi.org/10.35196/rfm.2008.2.105>
- Peláez, P., Orona, T. D., Montes, H. S., Valverde, M. E., Paredes, L. O., & Cibrián, J. A. (2019). Comparative transcriptome analysis of cultivated and wild seeds of *Salvia hispanica* (chia). Scientific Reports 9:1-11.
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php> (26 de agosto de 2024).
- Pacheco-Gil, R., Alvarado, G., Rodríguez, F. y Burgueño, J. 2016. BIO-R (Biodiversity analysis with R for Windows) Version 3.2. CIMMYT Research Data & Software Repository Network, 13. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11529/10820>.

PRODUCCIÓN DE CAFÉ COSTA RICA-95 EN DOS CICLOS DE COSECHA BAJO CONDICIONES DE SOMBREADO DE OCHO ESPECIES ARBÓREAS

Marco Antonio Toral-Juárez^{1*}, Rosalío López-Morgado¹, Edgar Couttolenc-Brenis¹

¹INIFAP, CIRGOC, CE Cotaxtla

*Autor para correspondencia: toral.marco@inifap.gob.mx

Palabras clave. Rendimiento, ciclos de cosecha, área basal.

Introducción

La variedad Costa Rica-95 es un catimor resistente a la roya del cafeto, resultado de la hibridación artificial; Caturra Rojo x Híbrido de Timor, realizada por el CIFC en 1959. Su formación fue bajo un proceso de selección genealógica a partir de poblaciones dentro de la serie T8660; después se realizó la selección de los mejores individuos que conformaron las líneas más sobresalientes, para posteriormente evaluarse en diversas regiones cafetaleras de Costa Rica. Esta variedad presenta rendimientos altos, frutos de color rojo y buenas características de grano, adaptándose bien en altitudes de 600 a 1200 m, es de porte bajo, vigorosa, de brotes color bronceado oscuro y heredabilidad alta al porte de bandolas cortas; es de maduración temprana a intermedia y expresa una marcada bienalidad en la producción (Zamarripa et al., 2013).

Los sistemas agroforestales de café también posibilitan altos niveles de fructificación, si se mantienen óptimos los niveles de sombra. Por lo cual es necesario que el estrato arbóreo esté compuesto por especies forestales locales, las cuales son, fenológicamente, mejor conocidas por los cafeticultores; sin embargo, la escasa disponibilidad de material de plantación e información técnica, dificulta el establecimiento de especies nativas en el estrato de sombreado de los cafetales. Por ejemplo, en Costa Rica, casos de cafetales diversificados productivamente en su estrato alto, a base de árboles frutales y maderables, cuentan con poca información técnica sobre su potencial de uso (Bonilla y Moya, 2014).

De acuerdo con lo anterior, diversificar el componente "árboles de sombra", mediante el uso de especies nativas que den un buen sombreado al cafetal y tengan valor comercial por sus productos maderables (Quintanar, 2010) es una de las alternativas técnicas para tener rentabilidad en las fincas, sin dejar de considerar a los cafetales como sitios de conservación de especies locales, refugio de aves migratorias y espacios de belleza escénica.

Objetivo

Evaluar el rendimiento de café cereza de la variedad Costa Rica-95 en dos ciclos de cosecha bajo condiciones de sombreado de ocho especies arbóreas.

Materiales y Métodos

La plantación de café Costa Rica-95 se estableció en 2009-2010 en las instalaciones del Sitio Experimental Teocelo, estado de Veracruz, localizado a una latitud norte de 19° 23' 10", longitud oeste 97° 00' 06" y altitud de 1,250 m. Con una precipitación anual de 2,063 mm, temperatura media de 20 °C, temperatura máxima de 25 °C y mínima de 14 °C. El experimento fue montado bajo un diseño experimental en bloques completos al azar perpendicular a la pendiente del terreno, con tres repeticiones y ocho tratamientos que consistió en el establecimiento de el mismo número de especies arbóreas de sombreado (cuadro 1). La parcela total estuvo compuesta por 15 árboles y 160 cafetos, mientras que la parcela útil la comprendieron los tres árboles centrales y 48 cafetos con la influencia total de cada tipo de sombra. El arreglo espacial entre árboles fue de 6 x 6 m (277 árboles/ha) y entre cafetos de 2 m entre surcos y 1.5 m entre cafetos (3,330 plantas/ha).

Cuadro 1. Principales características de ocho especies arbóreas que conformaron los tratamientos en el experimento.

Nombre común	Nombre científico	Familia	Estatus	Usos
Primavera	<i>Tabebuia donneellsmithii</i> Rose	Bignoniaceae	Nativa	Madera valiosa usada para muebles y chapa y leña
Roble	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC	Bignoniaceae	Nativa	Construcción de viviendas, tablas y mangos de herramienta.
Grevillea	<i>Grevillea robusta</i> (A. Cunn)	Proteaceae	Introducida	Cortinas rompe vientos
Pino	<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	Pinaceae	Endémica de México y Guatemala	Uso maderable, elaborar de muebles rústicos y domésticos
Cacao	<i>Tapirira mexicana</i> Marchand	Anacardiaceae	Endémica de México, habita en Veracruz, Chiapas y Oaxaca	La madera se emplea para la construcción y como combustible
Nogal	<i>Juglans pyriformis</i> Liebm.	Juglandaceae	Endémica de México, habita en Hidalgo, y Veracruz.	Elaboración de instrumentos musicales
Chalahuite	<i>Inga vera</i> Willd.	Fabaceae	Nativa	Sombra de café y cerco vivo
Xochicuahuatl	<i>Cordia alliodora</i> (Ruíz & Pavón) Oken	Boraginaceae	Nativa	Usado en sistemas agroforestales de café y para establecer cortinas rompe vientos

Fuente: López et al. (2018).

El experimento está basado bajo los principios y fundamentos de un sistema agroforestal de café. Las variables de medición fueron: rendimiento de café cereza de la variedad Costa Rica-95 y área basal de las ocho especies arbóreas. Después de pesar la producción de café cereza por superficie de parcela útil, los datos fueron ajustados a toneladas por hectárea. El área basa (AB) fue calculado a partir de la siguiente formula: $AB = \pi \times DAP^2$. Donde $\pi = 3.1416$, DAP = diámetro del árbol a la altura de pecho (1.30 m).

El modelo experimental para analizar los datos de registro de rendimiento, fue completamente al azar con tres repeticiones, bajo un diseño de “análisis de grupo de experimentos”, el modelo matemático es: $Y_{ijk} = m * E_k + t_i + (E^*t)_{ik} + e_{ij(k)}$. Donde E_k indica el efecto ciclos de cosecha, t_i indica el efecto de tratamientos, $(E^*t)_{ik}$ el efecto de la interacción ciclos de cosecha x tratamientos, $e_{ij(k)}$ el error asociado a cada repetición de tratamiento en cada uno de los ciclos de cosecha.

La fase de registro de datos sobre producción de café inició con la cosecha del café cereza maduro de cada parcela útil. El análisis de varianza de grupo de experimentos (ciclos de cosecha), se hizo en línea a través de SAS OnDemand para académicos, para la variable rendimiento de café cereza. Con los datos de rendimiento y área basal estimada en los ciclos de cosecha 2019 – 2020 y 2021 – 2022, se realizaron pruebas estadísticas de Diferencia Honesta Mínima Significativa de Tukey para detectar diferencias significativas entre tratamientos (especies de sombra).

Resultados y Discusión

En el análisis de varianza se observa que hubo diferencia estadística altamente significativa entre ciclos de cosecha, como en la interacción con tratamientos (especies de sombreado), pero no se muestra diferencia significativa entre tratamientos (cuadro 2). La variedad Costa Rica-95 se caracteriza por tener una bienalidad bastante marcada (WCR, 2017), es decir un año con carga abundante de frutos (fotoasimilados y reserva energética son dirigidos a la carga de frutos) y al siguiente año una carga baja de frutos en la planta de café (fotoasimilados son dirigidos a la reserva energética y crecimiento vegetativo), a pesar de que los rendimientos aquí estudiados no provienen de cosechas años continuos, se muestra que los

rendimientos obtenidos en el ciclo 2019-2020 son superiores a los obtenidos en el ciclo 2021-2022 (cuadro 3).

Cuadro 2. Análisis de grupo de experimentos (ciclos de cosecha) para la variable rendimiento por hectárea de café cereza.

Fuente de variación	G. L.	S. C.	C.M.	Valor de "F"	Pr > F
Ciclos de cosecha	1	57.37	57.37	15.92**	0.0004
Tratamientos	7	43.05	6.15	1.71	0.1427
Ciclos de cosecha*tratamientos	7	83.99	11.99	3.33**	0.0089
Error	32	115.31	3.60		
Total	47	299.74			

La sombra de pino y cacao fueron las que produjeron menor rendimiento de café cereza en los dos ciclos de cosecha. Mientras que especies de ambientes cálidos húmedos y subhúmedos como la Grevilea, Xochicuahuatl, nogal y primavera, mostraron los más altos rendimientos por su lento crecimiento, copas abiertas y reducidas, lo que permite una abundante entrada de luz al dosel de las plantas de. A pesar de que la sombra de Chalahuite obtuvo el mayor rendimiento de café cereza en el ciclo 2019-2020, su rendimiento fue el más bajo observado durante el ciclo 2021-2022. Solamente la producción de café cereza bajo la sombra de la especie Grevilea se mantuvo similar en los dos ciclos de cosecha (cuadro 3).

Las mismas especies de sombra fueron evaluadas por López et al. (2018) en cuanto a su rendimiento de cinco ciclos de cosecha de café cereza consecutivos, destacando la sombra de primavera como la especie como con mayor rendimiento promedio de café cereza, mientras que la sombra de Grevilea mostró unos de los rendimientos de más bajo de café cereza. Por lo anterior, el desempeño de la primavera en cuanto rendimiento se mantiene discretamente como unas de las más altas en los dos ciclos de cosecha de este estudio.

Cuadro 3. Rendimiento (ton ha⁻¹) de café cereza var. Costa Rica – 95 en dos ciclos de cosecha bajo diferentes especies de sombra.

Especies de sombra	2019 - 2020	DMSH ¹	2021 - 2022	DMSH ¹
Primavera	6.13	ab	3.52	a
Nogal	7.15	ab	3.26	a
Pino	1.53	b	5.02	a
Grevilea	7.05	ab	6.01	a
Roble	5.90	ab	2.10	a
Cacao	4.19	ab	3.54	a
Xochicuahuatl	6.82	ab	3.70	a
Chalahuite	7.56	a	1.69	a

¹DMSH= Diferencia Honesta Mínima Significativa de Tukey; letras iguales indican que las medias no difieren entre sí.

Con respecto a la variable área basal de ocho especies arbóreas, el análisis de varianza muestra que hubo diferencia estadística significativa entre ciclos de cosecha y entre tratamientos (especies de sombreado), pero no se muestra diferencia significativa en la interacción de ciclos de cosecha con los tratamientos (figura 1).

Los árboles de pino presentaron mayor área basal promedio en las mediciones correspondiente a los dos ciclos de cosecha. Puede asumirse que, a mayor área basal, mayor es la cobertura de sombreado, por tanto, un mayor sombreado (>50%) tiende a afectar el rendimiento de café cereza, tal como ocurrió con el rendimiento de café obtenido bajo la sombra del pino. Lo anterior coincide con López et al., 2018, donde demostraron mediante una ecuación de correlación lineal ($R=0.73$), a menor porcentaje de sombra, mayor fue el rendimiento de café cereza cosechado. Sin embargo, esa tendencia no fue observada en los árboles de grevilea, presentaron la segunda mayor área basal y bajo ese sombreado se obtuvo el mejor rendimiento promedio de café en los dos ciclos de cosecha.

A pesar de que los árboles de roble y cacao tuvieron menor área basal, en esas especies se obtuvieron los rendimientos más bajos promedio de cosecha de café. Por otro lado, árboles de primavera obtuvieron un área basal sobresaliente y con buenos rendimientos de café en los años de cosecha. La primavera es una especie forestal de valor maderable de lento crecimiento, copas abiertas y reducidas que puede utilizarse como sombreado de cafetales, crece de 1.5 a 2 m de altura por año, con un incremento medio anual en volumen de madera de 20 m³ año⁻¹. De fácil establecimiento, ya sea sembrando la semilla o bien reacomodando arbolitos de la misma generación natural. Su establecimiento ordenado en la finca (6 x 6 m) bajo un manejo agroforestal facilita la optimización y diversificación de los productos en un plan de aprovechamiento integral. Con la madera se fabrican muebles y gabinetes, fabricación de remos, triplay, postes y vigas para construcción.

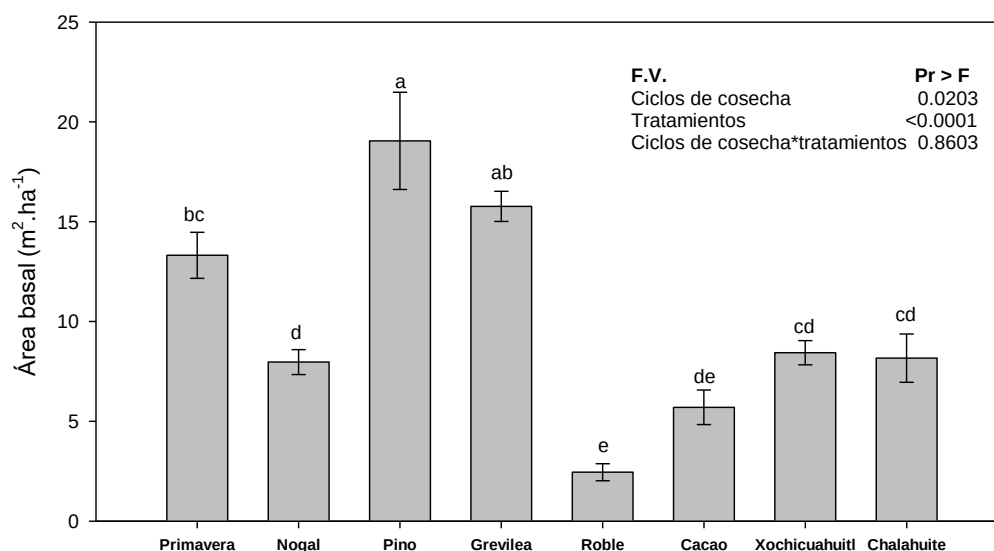


Figura 1. Promedio de área basal (m² ha⁻¹) de ocho especies arbóreas obtenido en los dos ciclos de cosecha de café var. Costa Rica – 95. Diferencia Honesta Mínima Significativa de Tukey; letras iguales indican que las medias no difieren entre sí. Cada valor representa la media ± error estándar de tres repeticiones.

Conclusiones

Los registros de rendimiento de café cereza correspondientes al ciclo agrícola 2019-2020, obtenidos en una plantación de la variedad Costa Rica-95 bajo un sistema agroforestal con sombra proporcionada por ocho especies arbóreas maderables de crecimiento medio y lento, evidencian diferencias estadísticamente significativas en la productividad. Estos resultados subrayan la importancia de una selección estratégica de las especies arbóreas utilizadas como sombra, constituyendo un criterio crítico en la planificación para la renovación de cafetales o el establecimiento de nuevas plantaciones. La elección de dichas especies implica el desarrollo de un plan de manejo silvicultural específico, orientado a optimizar la rentabilidad del cultivo de café, así como a generar ingresos complementarios derivados de la agrobiodiversidad asociada al sistema cafetalero. Los datos experimentales confirman que el tipo y manejo del sombreado constituyen factores determinantes en los niveles de productividad del cafetal.

Referencias bibliográficas

- Bonilla, C.R., Moya, R.R. (2014). Determinación de los extractivos y su correlación con el peso específico básico de diez especies utilizadas como sombra en cafetales de Costa Rica. *Rev. Forest. Mesoamer.* Kurú (Costa Rica) 11(27):34-46.
- López, M.R., García, M.L.E., Guajardo, P.R.A. (2018). Rendimiento de la variedad café Costa Rica-95 bajo el sombreado de ocho especies arbóreas. P. 450-461. In: Vinay et al. (comps.). *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.

Quintanar, O.J. (2010). La sombra en el cultivo del café. Desplegable para Productores Núm. 15. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental San Martinito. Puebla, México.

WCR (World Coffee Research). 2017. Las variedades de café de Mesoamérica y El Caribe. USAID, PROMECAFE. Catálogo. College Station, TX, USA. 38 p.

Zamarripa, C.A., López, M.R., Escamilla, P.E. (2013). Mejoramiento genético y variedades. p. 55-94. In: López et al. (comps.). El sistema producto café en México: problemática y tecnología de producción. INIFAP. Libro Técnico No. 34. 462 p.



HONGOS ASOCIADOS A SEMILLAS DE POBLACIONES DE FRIJOL DE LA REGIÓN NORTE DE GUERRERO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo^{1a*}, Brenda Zulema Guerrero-Aguilar^{1b}, José Luis Solís-Bonilla^{1c}, Erika Nava-Reyna^{1d}

¹INIFAP- ^aCE Iguala. ^bCE Bajío. ^cCE Rosario Izapa. ^dCENID-RASPA

*Autor para correspondencia: antunez.oscar@inifap.gob.mx

Palabras clave. Frijol, Guerrero, semilla.

Introducción

El frijol (*Phaseolus* spp.) forma parte importante de la dieta alimenticia del ser humano en diversos países, especialmente en México, donde su producción y consumo han alcanzado un carácter nacional, ya que es considerado un cultivo estratégico básico para lograr la soberanía alimentaria, en virtud de que representa un alimento esencial para la población rural y urbana del país, siendo el consumo anual *per cápita* de 9.9 Kg, donde la producción nacional no cubre la totalidad de los requerimientos de consumo de los mexicanos, ya que se importa el 10.8% del consumo total y el 70.0% de la producción de frijol proviene de pequeños y medianos productores, quienes cultivan variedades mejoradas y nativas, donde la mayor producción se obtienen en el ciclo primavera-verano, debido a que el 86.0% de la superficie cultivada con esta especie es de temporal.

La importancia del frijol en la alimentación radica en que diversos autores han documentado que el grano es fuente de proteína (14 a 33 %), fibra dietética (15.5 a 21.0 g), almidón, ácido α -linolénico y minerales (fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc) (Gomes Basso Los *et al.*, 2018). Además, contiene compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoles, isoflavonas, taninos, antocianinas y procianidinas, propiedades benéficas para la prevención y control de la obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Gomes Basso Los *et al.*, 2018; Armendáriz-Fernández *et al.*, 2019).

El cultivo de frijol presenta diversas problemáticas, siendo la principal los bajos rendimientos por efecto del estrés biótico y abiótico. En este sentido, se han diseñado programas de mejoramiento genético que cubran estas problemáticas para generar variedades con resistencia a diversos agentes, entre ellos los que causan enfermedades; sin embargo, no todos los patógenos tienen una distribución geográfica, prevalencia o importancia económica igual. A pesar de la amplia distribución de algunos patógenos del frijol, estos son más importantes en áreas donde las condiciones ambientales favorecen su supervivencia, multiplicación y diseminación.

Objetivo

identificar los hongos asociados a las semillas de nueve poblaciones de frijol que se cultivan en la región Norte del estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que al menos una población de frijol presenta hongos de importancia económica en sus semillas.

Materiales y Métodos

Material vegetal. Se utilizaron semillas de frijoles que se recolectaron en marzo de 2023 directamente con agricultores de distintos municipios de la Región Norte del Estado de Guerrero (cuadro 1; figura 1), donde la mayoría de los agricultores siembran frijol en sistemas tradicionales de policultivo; asociando o intercalado con maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita* spp.).

Cada población de frijol que se recolectó, se almacenó en recipientes de plástico con capacidad de 500 mL y se etiquetó con sus respectivos datos (ubicación y coordenadas geográficas del lugar; nombre y usos del material). Posteriormente, se conservaron a una temperatura promedio de 18.3 °C en un cuarto frío ubicado en el Campo Experimental Iguala.

Cuadro 1. Poblaciones de frijol recolectadas en municipios de la región Norte del Estado de Guerrero.

Código	Nombre del frijol	Colores del grano	Localidad/Municipio	Localidad
APC-1	Frijol rayado	Pinto (marrón claro y oscuro)	Cabecera municipal/ Apaxtla de Castrejón	Cabecera municipal
APC-2	Frijol negro	Negro	Cabecera municipal/ Apaxtla de Castrejón	Cabecera municipal
AP-1	Flor de mayo	Pinto (rosa y crema)	Apetlanca/Cuetzala del Progreso	Apetlanca
CU-1	Frijol blanco	Blanco	Cabecera municipal /Cuetzala del Progreso	Cabecera municipal
CU-2	Frijol de mayo	Pinto (rosa y crema)	Cabecera municipal /Cuetzala del Progreso	Cabecera municipal
CU-6	Frijol café	Marrón claro	Cabecera municipal /Cuetzala del Progreso	Cabecera municipal
GC-3	Frijol chino	Marrón claro	Ixtepec /General Canuto	Ixtepec
GC-5	Frijol de caña	Rosa	Acapetlahuaya /General Canuto	Acapetlahuaya
GC-6	Frijol amarillo	Amarillo	Providencia /General Canuto	Providencia

Factor en estudio y diseño experimental. Los tratamientos fueron 9 poblaciones de frijoles recolectados, que localmente son conocidos por el color del grano y habito de crecimiento de la planta. Las semillas de las poblaciones de frijol se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por 60 gramos de semillas representativas de cada población.

Análisis fitopatológico

Las actividades de establecimiento e identificación de los patógenos de la semilla de los frijoles recolectados se realizaron siguiendo las siguientes actividades: i) desinfección y siembra de la semilla, se sembraron 25 semillas de frijol en medio Agar Papa Dextrosa al 25 % (PDA 10 g y Agar Bacteriológico 16 g) acidificado (200µl L-1), por cuadruplicado. A la par, 25 semillas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio al 5 % por un minuto, posteriormente se enjuagaron con agua destilada estéril por un minuto y se secarán en toallas absorbentes estériles. Posteriormente, se transfirieron en medio PDA haciendo cuatro repeticiones, de cada una. Se incubaron a temperatura ambiente hasta crecimiento micelial y bacterial en la semilla de frijol; ii) aislamiento e identificación de los patógenos encontrados, se visualizaron las estructuras encontradas de acuerdo al manual de Barnett y Hunter (1998); iii) selección de hongos fitopatógenos, del crecimiento de las semillas se seleccionaron los patógenos, posteriormente, se aislaron y se transfirieron en medio de cultivo PDA para su identificación morfológica; así como, la purificación de cada uno de ellos.

Resultados y Discusión

El 78 % de las poblaciones de frijol recolectadas presentaron semillas con hongos fitopatógenos y el resto de las poblaciones (22 %) no registraron el desarrollo de ningún hongo en sus semillas. Esta condición cambio con la aplicación hipoclorito de sodio, ya que la incidencia de hongos asociados a la semilla disminuyó en 67 %; mientras que, las poblaciones con semillas sin la presencia de hongos representaron el 33 % (figura 2). En semilla natural se presentaron con mayor frecuencia patógenos del género *Aspergillus* (31 %), *Fusarium* (23 %), sin identificar (23 %), y con menor frecuencia (7 %) *Alternaria*, *Cladosporium* y *Rhizoctonia*. En contraste, una vez tratada la semilla con hipoclorito de sodio se observó mayor incidencia de *Fusarium* (69 %), sin identificar (15 %), y en menor frecuencia (8 %) *Rhizoctonia* y *Macrophomina*.



CU-1



CU-2



CU-6



GC-3



GC-5



GC-6



AP-1



APC-1



APC-2

Figura 1. Semillas de poblaciones de frijoles nativos recolectadas en la Región Norte del Estado de Guerrero.

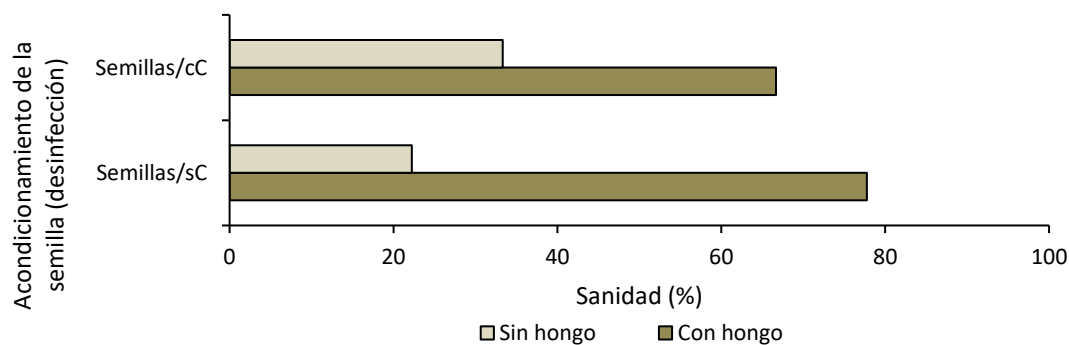


Figura 2. Sanidad (%) de la semilla de poblaciones de frijol recolectadas en la región Norte del estado de Guerrero. (cC) con y (sC) sin hipoclorito de sodio.

La mayor incidencia (35 %) de hongos fitopatógenos se registró en semillas de la población APC-1 (frijol rayado) que se cultiva en Apaxtla de Castrejón (figura 3), después le siguen las semillas de los frijoles de AP-1 (flor de mayo), GC-3 (frijol de chino) y GC-5 (frijol de caña) que se siembran en Cuetzala del Progreso y General Canuto, respectivamente; mientras que, las poblaciones de APC-1 (frijol negro) y GC-6 (frijol amarillo) presentaron menor presencia (7 %) de hongos. Por otro lado, CU-1 y CU-2 fueron las poblaciones que no tuvieron ningún hongo fitopatógeno en sus semillas. Cabe señalar que, después del acondicionamiento de las semillas con hipoclorito de sodio, la situación de la sanidad de la semilla se mantuvo en las poblaciones de frijol APC-1, AP-1, GC-3, CU-6, GC-5 y GC-6.

APC-1

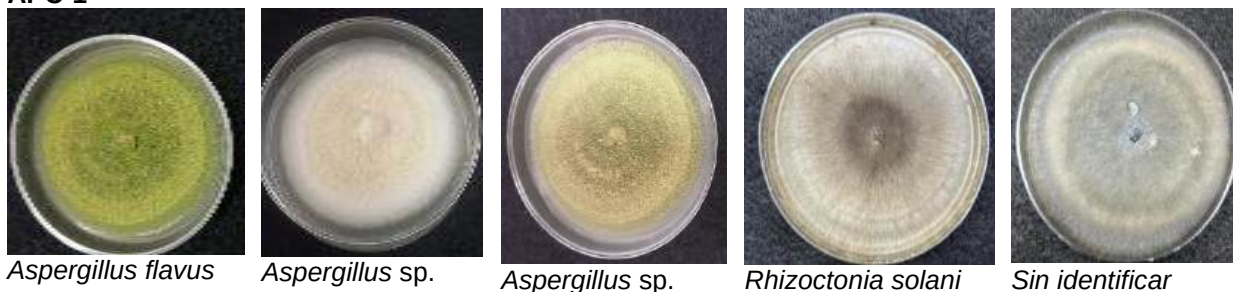


Figura 3. Hongos fitopatógenos asociados a semillas (sin tratamiento de hipoclorito de sodio) de frijoles cultivados en la región Norte del estado de Guerrero.

Estudios previos en frijol han reportado que es hospedante de diversos hongos fitopatógenos. Por ejemplo, en Canadá se encontró que las semillas de frijol cosechadas mostraron incidencia de los géneros *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia*; mientras que, en Taiwán se reportó *Aspergillus* y *Penicillium*. Por otro lado, en plantas de frijol común cultivadas Costa Rica se observó con mayor frecuencia patógenos como *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium oxysporum*, que generan síntomas de marchitez (Granados-Montero et al., 2021). En el caso de *Fusarium*, se ha señalado que las especies *F. solani* y *F. oxysporum* son las de mayor importancia para el cultivo, ya que la primera especie causa pudrición de la raíz y la segunda ocasiona amarillamiento o marchitez (Montiel et al., 2005). Otras especies que han sido registradas en frijol son *F. semitectum*, agente causal de la pudrición de vainas y semillas (Leslie y Summerell, 2006); así como, *F. lateritium*, *F. verticillioides* y *F. culmorum* que se asocian con la pudrición de raíz (Montiel et al., 2005).

Conclusiones

La diversidad de especies de hongos asociados a semilla de frijol detectadas en este estudio, constituyen importantes fitopatógenos que influyen en el crecimiento y calidad de la semilla. Lo que demuestra la necesidad de realizar el tratamiento de semillas con fungicidas, como medida fundamental del manejo fitosanitario del cultivo.

Agradecimientos

A los estudiantes de servicio social del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGro) y de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro).

Fuente financiadora

Caracterización y productividad *ex situ* y aspectos socioeconómicos de productores de frijoles nativos de guerrero, México.

Referencias bibliográficas

- Armendáriz-Fernández K. V., Herrera-Hernández I. M., Muñoz-Márquez E. y Sánchez E. 2019. Characterization of bioactive compounds, mineral content, and antioxidant activity in bean varieties grown with traditional methods in Oaxaca, Mexico. *Antioxidants* 26: 1-17.
- Delgado A. y Gama S. 2015. Diversidad y distribución de los frijoles silvestres en México. *Revista Digital Universitaria* 16(2):1-11.
- Gomes Basso Los F., Zielinski A. A. F., Wojeicchowski J. P., Nogueira A. y Demiate I. M. 2018. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19: 63-71.
- Granados-Montero Ma. del M., Chaves-Barrantes N., Chaverri P, Hernández-Fonseca J. C., Escudero-Leyva E. 2021. Hongos asociados a la marchitez del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en Costa Rica. *Revista Mexicana Fitopatología* 39(2): 289-301.
- Montiel L., González F., Sánchez B. M., Gúzman S., Gámez F. P., Acosta J. A., Rodríguez R., Simpson J., Cabral M. y Mendoza M. 2005. Especies de *Fusarium* en raíces de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con daños de pudrición, en cinco estados del centro de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 23(1): 1-7.



EFECTO ANTAGONISTA DE *Penicillium* sp. CONTRA PARATRIOZA (*Bactericera cockerelli*)

Daniela Pichardo-Torres¹, Jonathan Alfredo Fernandez-Mendiola¹, Manuel Silva-Valenzuela², Olivia Nabor-Romero^{2*}

¹ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. ² Posgrado en Fitosanidad-Fitopatología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: olivia.nabor@colpos.mx

Palabras clave. Insectos plaga, solanáceas, biocontroladores.

Introducción

Bactericera cockerelli (Sulc), también conocida como paratRIOZA o psílido de la papa y del tomate, es una plaga de importancia económica para el cultivo de solanáceas en México (Roque *et al.*, 2024). Cuando se alimenta provoca daños directos al extraer la savia de las hojas de la planta, que se agravan por el efecto toxinífero que induce el insecto (SAGARPA, 2009). Además, es vector de la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLso) (Melgoza *et al.*, 2018), agente causal del “permanente del jitomate” (Garzón *et al.*, 2009), “zebra chip” en papa (Rubio *et al.*, 2006) y “variegado del chile” (Delgado *et al.*, 2019), la presencia de este fitopatógeno incrementa los costos de producción por la necesidad de adquirir insecticidas. El control del psílido se ha centrado principalmente en el uso de insecticidas químicos, lo que ha provocado la selección de biotipos resistentes, actualmente ya existen poblaciones de paratRIOZA resistentes a Abamectina, Cipermetrina, Endosulfan, Imidacloprid y Profenofos. No obstante, existen otras estrategias como el control biológico el cual puede ser efectivo bajo ciertas condiciones (OIRSA, 2016). Dentro del manejo integrado de paratRIOZA, los hongos entomopatógenos más destacados por sus buenos resultados en condiciones tanto de campo como de invernadero son *Metarhizium anisopliae*, *Isaria* (*Paecilomyces*) *fumosoroseus* y *Beauveria bassiana* (OIRSA, 2016). Sin embargo, es necesario la búsqueda de otros aislamientos entomopatógenos. En 2024 en un invernadero donde se produce jitomate ubicado en el sur de la Ciudad de México (Xochimilco), se detectaron y colectaron insectos que estaban parasitados por un hongo. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo aislar, identificar y evaluar el potencial antagónico de este hongo contra paratRIOZA.

Objetivo

Evaluar la eficacia del hongo *Penicillium* sp. como agente de control biológico de *Bactericera cockerelli* a nivel *in vitro*.

Materiales y Métodos

Colecta y aislamiento de hongos asociados a Bactericera cockerelli.

Se colectaron insectos adultos de *B. cockerelli*, que presentaban crecimiento de micelio fúngico en la superficie de su cuerpo. La colecta se realizó en un invernadero de jitomate en San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco, Ciudad de México (19°15'58.7"N 99°02'20.6"O). Los insectos parasitados se desinfestaron con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0.5% durante 1 minuto y se enjuagaron tres veces con agua destilada estéril. El exceso de humedad se eliminó con toallas de papel estériles. Enseguida, los insectos se colocaron por separado en cajas de Petri conteniendo medio de cultivo PDA, BIOXON® (papa dextrosa agar, 39 g/L.), se mantuvieron en una incubadora a una temperatura de 26°C en oscuridad total y se realizaron observaciones cada 24 horas. Cuando se observó micelio emergiendo del insecto, se transfirió una punta de hifa a cajas de Petri con medio PDA, este procedimiento se realizó para cada insecto colectado. Posteriormente se seleccionó la cepa que presentó la mayor frecuencia de aislamiento, la cual se etiquetó como: SLTj (aislamiento de San Luis Tlaxialtemalco, Xochimilco). La descripción morfológica de los aislamientos se realizó mediante la técnica de microcultivo propuesta por Cuervo *et al.*, (s/f). Las estructuras fúngicas se observaron bajo microscopio y se siguieron claves taxonómicas para género. La conservación del hongo se realizó en gel de sílice estéril, siguiendo el método modificado de Montesinos *et al.* (2015), posteriormente se almacenaron a 4 °C en el cepario del laboratorio de Fitopatología de la FES-Cuautitlán.

*Establecimiento de colonia de *Bactericera cockerelli*.*

Se realizó una colecta de *B. cockerelli* en la localidad de San Diego, Texcoco, Edo de México. Los insectos se colocaron dentro de una jaula entomológica (36x60x30cm) que contenía plantas de chile poblano de 50 días de edad, cultivadas en macetas de 0.5 L con una mezcla de sustrato de agrolita y peat moss (1:2). Las jaulas con plantas se colocaron bajo condiciones de laboratorio (23.5 °C, 40% HR) y se fertilizaron cada 15 días con YaraMila® Complex™ (3g/L). Los insectos se mantuvieron por tres generaciones para obtener una población inocua de adultos.

*Prueba de viabilidad de *Bactericera cockerelli* en cámaras de bioensayo in vitro.*

Para determinar la viabilidad de ninfas y adultos de *B. cockerelli* dentro de cámaras para el bioensayo *in vitro*, se realizó una prueba en donde se evaluaron por separado 10 ninfas y 10 adultos sobre hojas de chile (*Capsicum annuum* var. Teca F1) y 10 ninfas y 10 adultos sobre hojas de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. El Cid). Las cámaras de bioensayo se prepararon siguiendo el modelo descrito por Mesquita y Lacey (2001). Las hojas se desinfestaron con una solución al 1 % de NaClO, se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril y se secaron sobre toallas de papel estériles. En el peciolo de cada hoja se colocó una torunda de algodón humedecida con agua destilada estéril. Una vez que los insectos se colocaron sobre las hojas, las cámaras se sellaron con papel Parafilm y se colocaron en charolas plásticas transparentes. Se mantuvieron en el laboratorio bajo luz natural indirecta a una temperatura promedio de 23.8 °C y humedad relativa de 38.6 %. Durante 7 días, los insectos se monitorearon cada 24 h y se registraron observaciones relevantes.

Ensayo de parasitismo y mortalidad.

Para determinar si la cepa SLTj tiene capacidad para parasitar a *B. cockerelli* se estableció un ensayo bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento (cuadro 1). El inóculo se obtuvo mediante siembras directas del hongo en siete cajas de Petri con medio de cultivo PDA, las cuales se incubaron a 26 °C durante siete días. A partir de cultivos puros del hongo SLTj se prepararon suspensiones de conidios, utilizando la técnica propuesta por Cuervo *et al.*, (s/f). El conteo de conidios se realizó con un hematocitómetro de Neubauer, las suspensiones se ajustaron a dos niveles de inóculo que fueron: N1 = 1×10^8 conidios/mL (concentración alta) y N2 = 5×10^6 conidios/mL (concentración baja), ambos niveles de inóculo se probaron con y sin coadyuvante al 0.2% (Mezcla de alcoholes etoxilados poliglicol y aril polietoxietanol, de carácter no-iónico). Se usaron 18 cámaras de bioensayo (Mesquita y Lacey, 2001), cada una contenía una hoja de chile bajo las condiciones ya mencionadas. A cada repetición por tratamiento se le colocaron 10 adultos de *B. cockerelli*, los cuales fueron previamente aletargados con un choque térmico (4°C durante 1 minuto) para su posterior manipulación. Una vez colocados en la hoja fueron asperjados con 240 µL del tratamiento correspondiente. Las aspersiones se realizaron individualmente por cada tratamiento y consistieron en una pulverización fina con un atomizador mini bolígrafo de plástico marca Imirotree con capacidad de 10 mL. Las cámaras de bioensayo se colocaron dentro de cajas de plástico transparente con 200 mL de agua destilada estéril para mantener la humedad constante (60%), así permanecieron durante 10 días a una temperatura ambiente de $23.5 \pm 2^\circ\text{C}$.

Cuadro 1. Tratamientos del ensayo de parasitismo y mortalidad del hongo asociado a *Bactericera cockerelli*.

Hongo	Tratamiento
SLTj	Agua + hongo (N1)
	Agua + coadyuvante + hongo (N1)
	Agua + hongo (N2)
	Agua + coadyuvante + hongo (N2)
Testigos	Agua
	Agua + coadyuvante

Análisis estadístico

A los 10 días *post*-inoculación, se realizaron observaciones bajo un microscopio estereoscópico. Para cada tratamiento se determinó el número de insectos parasitados vivos e insectos parasitados muertos. Los datos se sometieron a análisis estadístico en el programa RStudio versión 4.3.2. A las variables porcentaje de parasitismo y de mortandad, se les realizó la prueba de Kruskal-Wallis. La comparación de medias se

realizó con un *post hoc* utilizando la prueba de Dunn's y corrección de Holm para determinar si había diferencias significativas ($p < 0.05$).

Aislamiento del hongo inoculado

Con el propósito de cumplir el cuarto postulado de Koch, los insectos de cada tratamiento fueron sometidos de manera individual a una desinfección superficial, colocándolos en tubos Eppendorf con una solución de NaClO al 0.5 % durante 30 segundos. Posteriormente, se lavaron dos veces con agua destilada estéril. Bajo condiciones de asepsia, los insectos fueron colocados sobre papel absorbente estéril para eliminar el exceso de humedad. Enseguida, se transfirieron a medio de cultivo PDA y se incubaron a 26 °C en oscuridad total realizando observaciones cada 24 horas.

Resultados y Discusión

Con base a las características morfológicas observadas mediante preparaciones permanentes, la cepa SLTj fue identificada como *Penicillium* sp. Microscópicamente, presentó micelio septado, con conidióforos originados directamente del micelio, generalmente solitarios, ramificados cerca del ápice con una disposición penicilada, finalizando en grupos de fiálides (Fig. 1). Los conidios son hialinos, unicelulares, predominantemente globosos u ovoides y dispuestos en cadenas. Macroscópicamente, en medio PDA a 26 °C, las colonias mostraron un crecimiento rápido (Fig. 2), inicialmente de color blanco, que evolucionó a tonalidades verde grisáceas. La textura fue aterciopelada a pulverulenta. El reverso de las colonias presentó pigmentación amarilla (Fig. 3).



Figura 1. Conidioforo, fialide, metulas y conidias, 40x.



Figura 2. Colonias de *Penicillium* sp. con 7 días de crecimiento.



Figura 3. Reverso de las colonias de *Penicillium* sp. con 7 días de crecimiento.

Viabilidad de *Bactericera cockerelli* en cámaras de bioensayo in vitro

Tanto en hojas de chile como de jitomate se observó la emergencia de adultos a partir de algunas ninfas (Fig. 4). Al término de la prueba, un total de ocho ninfas en chile y siete en jitomate completaron su desarrollo a la fase adulta. Sin embargo, al menos una ninfa en ambos hospedantes presentó dificultades durante la muda de la exuvia, lo que derivó en malformaciones en las alas o en la morfología general del adulto. En cambio, los insectos adultos que se colocaron dentro de las cámaras permanecieron vivos y ovipositaron en las hojas de chile, lo que evidenció la viabilidad de *B. cockerelli* bajo las condiciones del ensayo. Por tal razón, para el ensayo de parasitismo y mortalidad se consideró utilizar insectos adultos, así como hojas de chile, las cuales se mantuvieron turgentes durante los 7 días.



Figura 4. Emergencia de adulto de paratrioza.

Porcentaje de parasitismo y mortalidad

El hongo *Penicillium* sp. indujo un 100 % de parasitismo y mortandad en los niveles evaluados (cuadro 2), mostrando una patogenicidad sobre los insectos (Fig. 5), superando significativamente los resultados reportados por Pérez (2008), quien al evaluar *Penicillium* sp. sobre *Earias insulana* en el sur de la Península Ibérica, registró un porcentaje de mortalidad del 50 % utilizando una concentración de 5.2×10^3 conidios/mL. No se presentaron diferencias significativas en los tratamientos con y sin coadyuvante, lo que indica que no existe un efecto positivo al adicionarlo. El tratamiento con agua (control) presentó niveles bajos de parasitismo y mortandad, esto debido a contaminación cruzada con el hongo evaluado, quizá durante la manipulación de las cajas.

Cuadro 2. Efecto antagonista de *Penicillium* sp. sobre insectos adultos de *Bactericera cockerelli*.

Tratamiento	% Parasitados				% de Mortandad			
	Sin coadyuvante		Coadyuvante		Sin coadyuvante		Coadyuvante	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
<i>Penicillium</i> sp.	100 b	100 b	100 b	100 b	100 c	100 c	100 bc	100 bc
Agua	10 a		20 a		0 a		22 ab	

El porcentaje de insectos parasitados se calculó restando el número de individuos parasitados en cada tratamiento menos el número de insectos muertos en el control, y posteriormente multiplicando el resultado por 100. El porcentaje de mortandad se registró usando la fórmula de Abbott (Abbott, 1925). N1: nivel de inoculó 1×10^8 conidios/mL, N2: Nivel de inoculó 5×10^6 conidios/mL. Los datos se analizaron utilizando una prueba de Kruskal-Wallis con prueba *post hoc* de Dunn's y corrección de Holm para determinar si había diferencias significativas ($p < 0.05$). Cada valor representa el promedio de 3 réplicas provenientes de dos repeticiones del ensayo, los parámetros se evaluaron a los 10 días *post*-inoculación.



Figura 5. Adultos de paratrioza parasitados.

Mediante el aislamiento de insectos inoculados con el hongo SLTj del ensayo de parasitismo y mortalidad, se observó el desarrollo de colonias fúngicas con morfología y anillos concéntricos semejantes a la cepa previamente inoculada (Fig. 7). Bajo microscopio se corroboró que los nuevos aislamientos presentaban características microscópicas idénticas a la del hongo *Penicillium* sp.

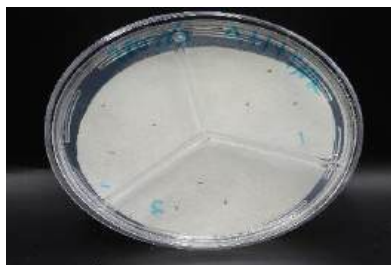


Figura 6. Insectos en medio de cultivo PDA.



Figura 7. Colonias fúngicas con 5 días de crecimiento, desarrolladas a partir del reaislamiento de insectos inoculados.

Conclusiones

Bajo las condiciones evaluadas, la cepa SLTj demostró capacidad patogénica sobre adultos de *B. cockerelli*. El análisis estadístico evidenció que la cepa SLTj de *Penicillium* sp. presenta una alta actividad antagónica, lo que le confiere potencial como agente de control biológico de paratrioza. No obstante, se requieren estudios complementarios y la realización de nuevos bioensayos para confirmar su efectividad en condiciones de invernadero y a cielo abierto. Dado el alto potencial mostrado por *Penicillium* sp. como agente de control biológico se propone su identificación molecular para determinar a qué especie pertenece.

Agradecimientos

Agradecemos a los productores de jitomate de San Luis Tlaxiátemalco, Xochimilco, Ciudad de México y de San Diego, Texcoco, Edo de México; por permitirnos realizar las colectas dentro de sus invernaderos.

Referencias bibliográficas

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of insecticide. *Jornal of Economic Entomology*, 18(2), 265–267. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Cuervo, Y., M. Espadas y G. Á. Zita. (s/f). Fitopatología (Manual de Practicas de Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Disponible en: <https://portal.cuautitlan.unam.mx/manuales/Fitopatologia.pdf>
- Delgado, J. C., Beltrán M., Cerna E., Aguirre, L. A., Landero J., Rodríguez Y., y Ochoa, M. (2019). *Candidatus Liberibacter solanacearum* patógeno vascular de solanáceas: Diagnóstico y control. TIP vol.22, Ciudad de México. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405888X2019000100206#B63
- Garzón, J. A., Cárdenas, O. G., Bujanos, R., Marín, A., Becerra, A., Velarde, S. y Martínez, J. L. (2009). Asociación de Hemíptera: Triozidae con la Enfermedad 'Permanente del Tomate' en México. *Agricultura Técnica En México*, 35(1), 61–72. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000100006
- Mesquita, A. L. M., y Lacey, L. A. (2001). Interacciones entre el hongo entomopatógeno *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes), el parasitoide *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) y su huésped pulgón. *Control Biológico*, 22(1), 51–59. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0950>
- Melgoza, C. M., C. R. León, J. A. López, L.A. Hernández, S. Velarde y J. A. Garzón. (2018). Presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* en *Bactericera cockerelli* Sulc asociada con enfermedades en tomate, chile y papa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9 (3).
- OIRSA [Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria]. (2016). El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (=Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemíptera: *Trioizidae*): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. Editorial Tauro. México. Disponible en: <https://www.oirsa.org/contenido/Manual%20Bactericera%20Cockerelli%20version%201.3.pdf>
- Pérez, S. (2008). Selección de entomopatógenos para el control de plagas de lepidópteros de importancia en Andalucía occidental [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. Universidad de Córdoba, España. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=55285>
- Roque, A. A. M. Beltrán, Y. M., Ochoa, J., y Delgado Ortiz. (2024). Parámetros poblacionales de *Bactericera cockerelli* en plantas de tomate tratadas con menadiona. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3349/6510#citations>
- Rubio, O. Á., I. H. Almeyda, M. A. Cadena y R. Lobato. (2011). Relación entre *Bactericera cockerelli* y presencia de *Candidatus Liberibacter psyllaureus* en lotes comerciales de papa. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(1), 17-28. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200709342011000100002&lng=es&tling=es.
- SAGARPA [Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación]. (2009). Manejo Integrado de la Paratrioza. Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México. Disponible en: www.sagarpa.gob.mx

CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE CLONES INJERTADOS DE CAFÉ ROBUSTA [*Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner] EN TEZONAPA, VERACRUZ

Rolando Misael Tlaxcala-Méndez^{1*}, Martin Aquino-Ramírez², Ximena Jazmín Montiel-Tetzoyotl³, José Antonio Hernández-Moreno¹, Carlos Alberto Martínez-Márquez¹

¹INIFAP, CE El Palmar. ²INIFAP, CE Edzna. ³Tecnológico Nacional de México, Campus Tezonapa

*Autor para correspondencia: tlaxcala.rolando@inifap.gob.mx

Palabras clave. Enchapado lateral, raíz pivotante.

Introducción

El cambio climático está afectado a las personas, los ecosistemas y los medios de vida en la Tierra, se estima un aumento de temperatura global de 1.5 °C para el año 2040 (AEMET y OECC, 2018), el aumento de las temperaturas y presencia de periodos prolongados de sequía en las regiones cafetaleras podría afectar el desarrollo vegetativo y productivo de los cafetos por estrés hídrico, en particular para la especie de café robusta [*Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner] debido a que frecuentemente se cultiva a pleno sol. Dada las características reproductivas (alógama) del café robusta se recomienda propagarla de forma asexual. En la región robustera del Valle de Tezonapa, Ver., los clones de café robusta son propagados por el método de estacas enraizadas. Sin embargo, los cafetos enraizados por este método pueden perder el desarrollo de la raíz pivotante o desarrollar una raíz pivotante no tan prominente en comparación a un cafeto propagado por semilla. La raíz pivotante es importante ya que bajo condiciones de estrés hídrico su longitud incrementa debido a que la planta necesita una zona de exploración mayor para buscar agua y desarrollar sus procesos fisiológicos (Blum, 2005). En este sentido, otra forma de propagar de forma asexual los clones de café robusta es mediante el método de injertación, en el cual un clon se injerta sobre una planta patrón propagado por semilla con ello se logra conservar la raíz principal. Sin embargo, el conocimiento sobre la respuesta de crecimiento de clones injertados de café robusta y plantados bajo las condiciones agroecológicas de Tezonapa es aún limitado.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una plantación experimental bajo las condiciones agroecológicas de Tezonapa el crecimiento y la sobrevivencia inicial de cinco clones de café robusta propagados mediante el método de injertación por enchapado lateral.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en los terrenos del Campo Experimental El Palmar, Tezonapa, Ver., entre los paralelos 18°30'57.55" latitud N y 96°46'0.11" longitud O, a una altitud de 142 m, la zona se caracteriza por un clima cálido húmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 2,500 mm y una temperatura media anual de 24 °C, el suelo es tipo luvisol (INEGI, 2010). En noviembre de 2023 se propagaron cinco clones de café robusta (INIFAP 0024, INIFAP 0028, INIFAP 9509, INIFAP 9714, INIFAP 9715) por el método de injertación por enchapado lateral, la planta patrón se obtuvo a partir de la germinación de semillas del clon INIFAP 9509. Posteriormente, en octubre de 2024 los cafetos fueron establecidos en una plantación experimental bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cinco tratamientos (clon) y cuatro repeticiones, las unidades experimentales se constituyeron en grupos de seis cafetos. En mayo de 2025 se realizó la toma de los datos de crecimiento y sobrevivencia de los cafetos, las variables registradas fueron, el diámetro del patrón (mm) se tomó a la altura de 5 cm sobre el nivel del suelo, el diámetro del injerto (mm) se registró a los 5 cm a partir del punto de unión patrón-injerto, para estas variables se empleó un vernier milimétrico marca Pretul®. Por otra parte, la altura total (cm) se tomó desde el nivel del suelo hasta la yema apical del cafeto, mientras que, el diámetro de copa (cm) fue obtenido promediando el diámetro mínimo y máximo debido a la irregularidad de las copas, para las dos variables anteriores se empleó un flexómetro marca Pretul®, el número de bandolas fue registrado a través del conteo de las ramas primarias en el sentido de las manecillas del reloj, iniciando en el lado Norte y la sobrevivencia (%) fue calculada mediante el conteo de plantas vivas. Los datos fueron procesados con el programa estadístico SAS® OnDemand for

Academics con el procedimiento PROC GLM (SAS Institute Inc., 2025), el modelo estadístico empleado para el análisis de varianza (ANOVA) fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Dónde:

y_{ij} = variable respuesta obtenida del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque

μ = media global

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento (clon)

β_j = efecto de j-ésimo bloque

ε_{ij} = error experimental

$i = 1, 2, 3, 4$ y 5

$j = 1, 2, 3$ y 4

Las hipótesis fundamentales en los tratamientos fueron:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0 \text{ vs } H_1: \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

Para finalizar se aplicó una prueba de comparación de medias múltiples HDS de Tukey ($p \leq 0.05$), los residuos de los modelos se les realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett (τ y β) para determinar el cumplimiento de estos supuestos.

Resultados y Discusión

De forma general, los cinco clones injertados no presentaron diferencias significativas en las variables de diámetro del patrón, diámetro del injerto y número de bandolas a una probabilidad de rechazo de $p \leq 0.05$. Sin embargo, en la variable altura total el clon INIFAP 9509 obtuvo el mayor valor promedio (83.10 cm) con diferencias significativas al resto de los clones ($p < 0.05$), este material también es conocido bajo el nombre de ROMEX 51 y se considera un cafeto de porte alto y tamaño de grano grande (World Coffee Research, 2025); por el contrario, el clon INIFAP-9715 registró la menor altura total promedio con 55.35 cm, la diferencia mínima significativa (DMS) fue de 12.68 cm. En la variable diámetro de copa el clon INIFAP 9714 obtuvo el mayor valor con 73.97 cm y solo presentó diferencias significativas con el clon INIFAP 9715 con 53.66 cm, la DMS es de 18.37 cm. El clon INIFAP 9715 obtuvo los menores valores de crecimiento en la mayoría de las variables evaluadas y en sobrevivencia el menor porcentaje fue para INIFAP 0024 con el 83.33% (cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de las variables evaluadas en cinco clones de café robusta.

Tratamiento (clon)	Diámetro de patrón (mm)	Diámetro del injerto (mm)	Altura total (cm)	Diámetro de copa (cm)	Número de bandolas	Sobrevivencia (%)
INIFAP 0024	17.40 a	11.17 a	58.60 bc	61.82 ab	16.89 a	83.33
INIFAP 0028	20.35 a	12.91 a	62.60 bc	55.64 ab	22.74 a	95.83
INIFAP 9509	19.03 a	13.01 a	83.10 a	65.66 ab	15.74 a	100.00
INIFAP 9714	20.38 a	13.13 a	68.60 b	73.97 a	21.85 a	87.50
INIFAP 9715	16.52 a	10.36 a	55.35 c	53.66 b	17.33 a	95.83
Promedio	18.73	12.12	65.65	62.15	18.91	92.49
CV	11.42	11.99	8.57	13.12	24.95	14.05
DMS	4.82	3.27	12.68	18.37	10.63	29.29

Donde: CV es el coeficiente de variación en %; DMS es la diferencia mínima significativa.

La prueba de Shapiro-Wilk indicó normalidad en los residuos para las variables respuesta diámetro del patrón, diámetro del injerto, altura total, diámetro de copa y número de bandolas; en cambio, para la sobrevivencia los residuos no siguen una distribución normal, para este tipo de datos expresados en porcentaje se recomienda aplicarles una transformación angular mediante el Arco seno de la raíz cuadrada o realizar la prueba no paramétrica de Friedman. En cuanto a la prueba de homogeneidad de varianzas de Bartlett se cumplió con el supuesto en los bloques y los tratamientos para todas las variables evaluadas (cuadro 2).

Cuadro 2. Estadísticos para verificar los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

Variable	Prueba de Shapiro-Wilk		Prueba de Bartlett			
	w	p-valor	Fuente	gl	χ^2	p-valor
Diámetro de patrón (mm)	0.96	0.69	β	3	1.40	0.70
			τ	4	1.98	0.73
Diámetro del injerto (mm)	0.97	0.83	β	3	1.16	0.76
			τ	4	2.97	0.56
Altura total (cm)	0.98	0.99	β	3	1.67	0.64
			τ	4	1.20	0.87
Diámetro de copa (cm)	0.94	0.24	β	3	1.14	0.76
			τ	4	3.87	0.42
Número de bandolas	0.94	0.31	β	3	2.00	0.57
			τ	4	0.30	0.98
Sobrevivencia (%)	0.85	0.006	β	3	5.81	0.12
			τ	4	4.44	0.10

Dónde: W es el valor de la prueba de Shapiro-Wilk; gl son los grados de libertad; χ^2 es el valor de Chi-cuadrado; β es el bloque; τ es el tratamiento.

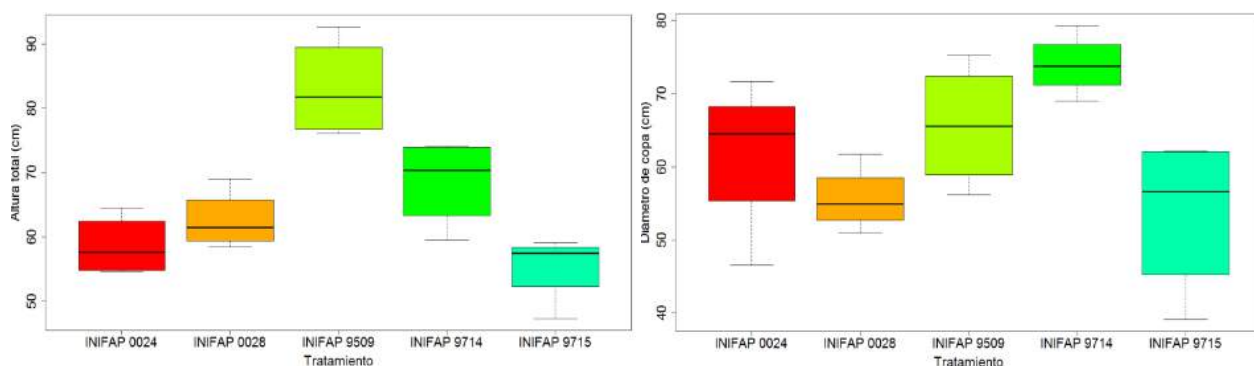


Figura 1. Distribución de los valores de altura total y diámetro de copa donde se detectaron diferencias significativas.

Conclusiones

1.- A la edad de siete meses el clon INIFAP 9509 fue sobresaliente en la variable altura total, mientras que en el diámetro de copa es INIFAP 9714, en el resto de las variables evaluadas no se observaron diferencias significativas. 2.- La respuesta de crecimiento inicial puede ser un indicador de la adaptación a las condiciones agroecológicas de la región de Tezonapa pero también a las características genéticas de los materiales. 3.- Es importante continuar con la toma de datos a mediano y largo plazo e incluir las variables de producción, número de nudos productivos y número de frutos por nudo y la medición del estrés hídrico de los materiales durante los periodos escasa precipitación.

Agradecimientos

Al INIFAP por el financiamiento del proyecto SIGI No. 13405036178 titulado “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”

Referencias bibliográficas

AEMET y OECC (2018). Cambio Climático: Calentamiento Global de 1,5°C. Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid.

Blum, A. (2005). Drought resistance, water use efficiency, and yield potential- are they compatible, dissonant, or mutually exclusive. *Australian J. Agric. Res.* 56:1159-1168.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendios de información geográfica municipal. Tezonapa, Veracruz de Ignacio de la Llave. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30173.pdf.

SAS Institute Inc. (2025). SAS OnDemand for Academics [Software]. <https://welcome.oda.sas.com/>

World Coffee Research (WCR). (2025). INIFAP 95-9, Clon Romex 51. <https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es/variedades/inifap-95-9>.



MAÍCES ADAPTADOS A LA REGIÓN DE VALLES ALTOS DEL ESTADO DE MÉXICO: RENDIMIENTO DE GRANO Y RASTROJO

Ma. del Rosario Tovar-Gómez¹, Claudia Pérez-Mendoza¹, José Luis Arellano-Vázquez¹

¹INIFAP, CIRCE, CE Valle de México

*Autor para correspondencia: tovar.rosario@inifap.gob.mx

Palabras clave. *Zea mays*, variedades, producción.

Introducción

La producción de alimentos es un tema estratégico y de seguridad nacional; sin duda alguna, la generación y disponibilidad de híbridos y variedades mejoradas, así como la tecnología de producción en los diferentes cultivos y regiones agroecológicas del país, son la base para incrementar la productividad en la agricultura. El maíz es uno de los tres granos básicos que alimentan la humanidad, tuvo su origen y diversificación inicial en las montañas y valles de México, por medio de la intervención de los antiguos pobladores de este territorio, en un proceso coevolutivo que condujo a la formación de una de las plantas cultivadas de mayor diversidad genética, cuya riqueza aún se mantiene en este país, principalmente por los productores del medio rural (Kato *et al.*, 2009).

En México, el maíz se utiliza principalmente para consumo humano, aunque por su alto rendimiento y contenido de energía, se emplea también en la alimentación animal como forraje verde, conservado como ensilado, el rastrojo y el grano. De acuerdo al SIAP (2025), en México, la superficie sembrada de maíz grano para el 2023 fue de 6,941,031 ha, con una producción de 27,549,918 t, en donde el Estado de México ocupó el cuarto lugar de producción a nivel nacional con 1,811,192 t. En este Estado, el maíz grano presentó el primer lugar en producción y los principales municipios fueron Almoloya de Juárez con 116,891 t, seguida de Ixtlahuaca (78,731.4 t) y Villa Victoria 69,909 t.

En México, el 80% de la superficie se siembra principalmente con maíces nativos y el 20% de la superficie del país se siembran con maíces mejorados (Aragón *et al.*, 2006). La generación y evaluación constante de nuevas variedades de maíz adaptadas a la región, es crucial para mejorar la producción agrícola, reducir la dependencia de importaciones y lograr la autosuficiencia alimentaria, especialmente para una población creciente día a día. Existen nuevas variedades mejoradas que el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado que tienen mayores rendimientos, con mayor resistencia al acame y a las plagas y enfermedades que se presentan en el maíz. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar características agronómicas y el rendimiento de siete genotipos de maíz adaptados a los Valles Altos del Estado de México.

Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de Cuanalán, Acolman, Estado de México con un productor cooperante, durante la primavera-verano del 2021. Se estableció un ensayo, bajo condiciones de "punta de riego" en donde se evaluaron cuatro híbridos comerciales del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP (H-50, H-48, H-70 y H-52), dos híbridos experimentales (HV-65, Canguro-H173) y una variedad criolla de la Región (Xolox). El diseño experimental utilizado fue bloques al azar generalizado con tres repeticiones. La densidad de siembra fue de 70,000 plantas ha⁻¹ y la dosis de fertilización fue de 120-00-00 de N-P-K, además de dos aplicaciones de fertilizante foliar. Se realizaron dos escardas y el control de malezas se llevó a cabo aplicando un herbicida postemergente. La cosecha se llevó a cabo en la etapa de madurez fisiológica del grano. Las variables registradas fueron: días a floración femenina (FF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM) y rendimientos de rastrojo (RR) y grano (RG). Con los datos registrados, se llevaron a cabo los análisis de varianza y para las variables que resultaron significativas, se efectuaron pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey $\alpha = 0.05$ y una prueba de correlación de Pearson utilizando el programa estadístico de SAS® (SAS Institute, 2022).

Resultados y Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio indicaron diferencia estadística ($P \leq 0.01$) en las variables agronómicas y de rendimiento determinadas en las diferentes variedades de maíz evaluadas (cuadro 1). La mayoría de los materiales utilizados fueron de ciclo intermedio (73 a 91 días a FF). Los valores del coeficiente de determinación (R^2) oscilaron entre 0.68 a 0.96, los cuales son cercanos a 1, esto indica un buen ajuste del modelo estadístico para describir la relación que existe entre las variables de estudio. El coeficiente de variación (CV) para las cuatro variables evaluadas varió entre 3.71 a 15.7 %, valores que confieren una buena confiabilidad en la validez de estos resultados.

Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables agronómicas y de rendimiento evaluadas en siete variedades de maíz.

Fuentes de variación	Variables [†]			
	AP (m)	AM (m)	RR t ha ⁻¹	RG t ha ⁻¹
Variedad	0.13***	0.10**	46.42***	0.73*
R^2	0.86	0.76	0.68	0.96
CV	3.71	7.69	15.45	5.15

[†]AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; RR= rendimiento de rastrojo; RG= rendimiento de grano. R^2 = Coeficiente de determinación; CV = Coeficiente de variación; *** $P \leq 0.0001$. ** $P \leq 0.001$, * $P \leq 0.01$.

Como se puede observar en el Cuadro 2, la variedad de maíz criolla Xolox, tuvo la mayor altura de planta (2.93 m) y a mazorca (1.90 m); seguido por el híbrido varietal HV-65 y, los de menor porte para AP y AM fueron, respectivamente, los híbridos H-52 (2.23 m) y H-70 (1.37 m).

Cuadro 2. Comparación de medias para las variables agronómicas y de rendimiento evaluadas en siete variedades de maíz.

Variedad	Variables [†]			
	AP (m)	AM (m)	RR t ha ⁻¹	RG t ha ⁻¹
C. Xolox	2.93 a	1.90 a	23.87 a	7.15 c
HV-65	2.63 b	1.70 ab	18.96 ab	8.26 ab
Canguro-H173	2.57 b	1.50 bc	24.10 a	7.86 ab
H-48	2.53 b	1.53 abc	12.63 b	7.03 bc
H-50	2.53 b	1.40 bc	19.87 ab	7.60 abc
H-52	2.23 bc	1.46 bc	21.13 ab	6.90 bc
H-70	2.47 bc	1.37 c	17.80 ab	8.85 a
Media	2.56	1.55	19.77	7.52
DMSH	0.26	0.33	8.51	1.12

[†]AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; RR= rendimiento de rastrojo; RG= rendimiento de grano. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey $P \leq 0.05$).

En cuanto a los rendimientos, el híbrido Canguro-H173, presentó el más alto valor en rastrojo (24.10 t ha⁻¹) seguido del criollo Xolox y del H-52, siendo el H-48 el que obtuvo el rendimiento menor. Como se puede observar, en cuanto al rendimiento de grano, éste varió entre 6.90 a 8.85 t ha⁻¹ sobresaliendo en este parámetro el híbrido H-70 así como el HV-65. Por otra parte, es de destacar las correlaciones negativas observadas entre la altura de la planta y el rendimiento de grano ($r = -0.47$; $p < 0.03$) así como de AM y RG ($r = -0.55$; $p < 0.001$), las cuales explican que los genotipos con mayor altura, presentaron un menor rendimiento de grano. Es importante mencionar, que tanto el híbrido Canguro-H173 como el híbrido varietal HV-65 fueron generados, principalmente, para la producción de forraje, conservando un equilibrio entre la producción de la biomasa y el rendimiento de grano. Asimismo, el criollo Xolox, de la raza chalqueño,

también fue seleccionado como un cultivar con alto potencial de rendimiento de forraje, aunque su desventaja es que presentó de 15 a 25% de acame.

El híbrido Canguro-H173 y el híbrido intervartietal HV-65, se adaptan a la Región de los Valles Altos del Centro de México, con altitudes de 2200 a 2550 m.s.n.m. en áreas de alta productividad con riego y buen temporal, son híbridos de textura del grano dentado y semicristalino, el primero de cruza trilineal y el segundo de cruza intervartietal, de ciclo vegetativo tardío con 85 días a floración en localidades ubicadas en altitud de 2200 m.s.n.m. y a 110 días en altitud de 2500 m.s.n.m. Ambos híbridos resistentes al acame en un 95 y 90%, respectivamente (Arellano y Tovar, 2018).

El H-70 es un híbrido trilineal, de alto rendimiento para áreas de temporal y riego del Altiplano Central de México, de grano blanco y textura semicristalina, con adaptación favorable a altitudes de 2200 a 2600 m., de madurez intermedia, ya que logra su floración femenina a los 102 días, es resistente al acame y a las enfermedades de planta y mazorca (Arellano *et al.*, 2011).

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos y de acuerdo con las condiciones en que se realizó el presente estudio se concluye lo siguiente: 1) La variedad afecta el rendimiento de grano y rastrojo del maíz, 2) Los genotipos con la mayor producción de rastrojo, no necesariamente tienen la mayor producción de grano 3) Los genotipos con los mayores rendimientos en rastrojo fueron Canguro-H173, Criollo Xolox y H-52 y 4). Los genotipos con la mayor producción de grano fueron H-70 y HV-65.

Agradecimientos y Fuente financiera

Los autores desean expresar su agradecimiento al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo económico otorgado a través del proyecto titulado: Tecnologías de producción en cultivos agrícolas para contribuir en el desarrollo agropecuario y bienestar de los pobladores del oriente del Valle de México (Núm. SIGI: 13332635379).

Referencias bibliográficas

- Aragón C. F., Taba S., Hernández C. J. M., Figueroa C. J.D. y Serrano A. V. 2006. Actualización de la información sobre los maíces criollos de Oaxaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, 133 pp.
- Arellano V. J.L., Tovar G. M.R. 2018. Canguro-H173 y HV-65. Híbridos de maíz para forraje en áreas de alta productividad del Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México. Desplegable para productores Núm. 7.
- Arellano V. J.L., J. Virgen V., M.A. Ávila P., I. Rojas M. 2011. H-70, Híbrido de maíz de alto rendimiento para áreas de temporal y riego del Altiplano Central de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental Valle de México. Folleto Técnico Núm. 13.
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera edición. 116 pp. México, D.F.
- SAS Institute. 2022. The SAS System for Windows User's Guide. Release 9.4. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 35 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2023. Anuario estadístico de la producción agrícola. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (28 de junio de 2025).

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE POBLACIONES DE MAÍZ NATIVO DEL ESTADO DE VERACRUZ

María de los Ángeles Acevedo-Cortés^{1*}, Isaac Meneses-Márquez¹, Francisco J. Ugalde-Acosta², Simón Leyva-Vela¹

¹ INIFAP, CE Cotaxtla

*Autor para correspondencia: acevedoangeles85@gmail.com

Palabras clave. Tuxpeño, olotillo, tepecintle.

Introducción

En México los maíces nativos se encuentran ampliamente distribuidos y poseen la ventaja de ser germoplasma altamente adaptado a las condiciones edáficas y climáticas de la comunidad y del terreno del productor (Astier et al., 2021); en Veracruz se encuentran presentes: i) la raza Tuxpeño que posee características agronómicas sobresalientes, distribuida en las regiones tropicales y subtropicales y en mayor concentración en la vertiente del Golfo de México (CONABIO, 2011). Además, es una de las razas con mayor adaptabilidad, distribución y representatividad geográfica en México; lo que indica alta aptitud ambiental para la distribución de esta raza (Ruiz et al., 2013), posee mazorca cilíndrica de varias hileras con grano dentado. ii) La raza Olotillo, que tiene adaptación a trópico húmedo y seco, produce bajo condiciones edáficas limitantes, suelos someros, y bajo uso de insumos; es un material de grano suave con buen rendimiento de tortilla, se caracteriza por sus mazorcas alargadas de olote delgado y flexible grano dentado a semiharinoso. iii) La raza Tepecintle que presenta mazorca cilíndrica y grano dentado, la particularidad que la distingue son las puntas de sus olotes descubiertas o desprovistas de grano. Presenta una extensa variedad de colores entre los que predominan los tipos blancos, amarillos y anaranjados (CONABIO 2010). Lo anterior indica que se puede evaluar y aprovechar la fuente de genes de estas razas. El objetivo del presente estudio fue conocer la divergencia en caracteres morfológicos en mazorca de poblaciones de maíz de la raza Tuxpeño, Olotillo y Tepecintle colectadas en Veracruz.

Materiales y Métodos

La fuente de germoplasma base del presente estudio fueron cuatro poblaciones de maíz nativo: Tuxpeño (Tuxp1), Olotillo y Tepecintle, colectados en la zona norte (Papantla) y Tuxpeño (Tuxp2) colectado en el sur (Chacaltianguis) del estado de Veracruz, con productores que conservan estos maíces por más de 10 años y donde se concentra la mayor distribución geográfica de estas razas. La caracterización se realizó en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, ubicado en Medellín de Bravo, Veracruz.

Caracterización morfológica

La estimación de distancias morfológicas se realizó con los datos generados de la caracterización en diez mazorcas por población y nueve variables: PMz peso de mazorca (g), LONGM longitud de mazorca (g), DMz diámetro de mazorca (cm), NH número de hileras, SH semillas por hilera, PS Peso de semilla (g), P100S peso de cien semillas (g), PO peso de olote (g) y DO diámetro de olote (cm).

Análisis estadístico

La matriz de distancias morfológicas se obtuvo usando la distancia de Mahalanobis (1936), como sigue:

$$D_{ij}^2 = [(\mu_i - \mu_j)' \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)]^{0.5}$$

Dónde:

D_{ij}^2 = distancia estadística Mahalanobis entre la línea i y la j.

μ_i y μ_j = vector de medias de la línea i y j, respectivamente.

Σ^{-1} = matriz inversa de la matriz de varianzas-covarianzas entre variables.

El análisis de grupos se realizó con base en las distancias estadísticas Mahalanobis, ésta se usó como medida de similitud morfológica entre poblaciones, generando el dendrograma por el método de agrupación

de parejas no ponderadas con la media aritmética (UPGMA-Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). Los datos fueron procesados con el programa estadístico Statistical Analysis System (Versión 9.1).

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de grupos basado en la matriz de distancias estadísticas de Mahalanobis (figura 1), muestran que cada población se separó como grupos independientes, esto por ser poblaciones de distinto origen genético y en la raza Tuxpeño proveniente del norte de Veracruz (Tuxp 1) y la raza Tuxpeño proveniente del sur de Veracruz (Tuxp 2) son poblaciones de diferente origen geográfico.

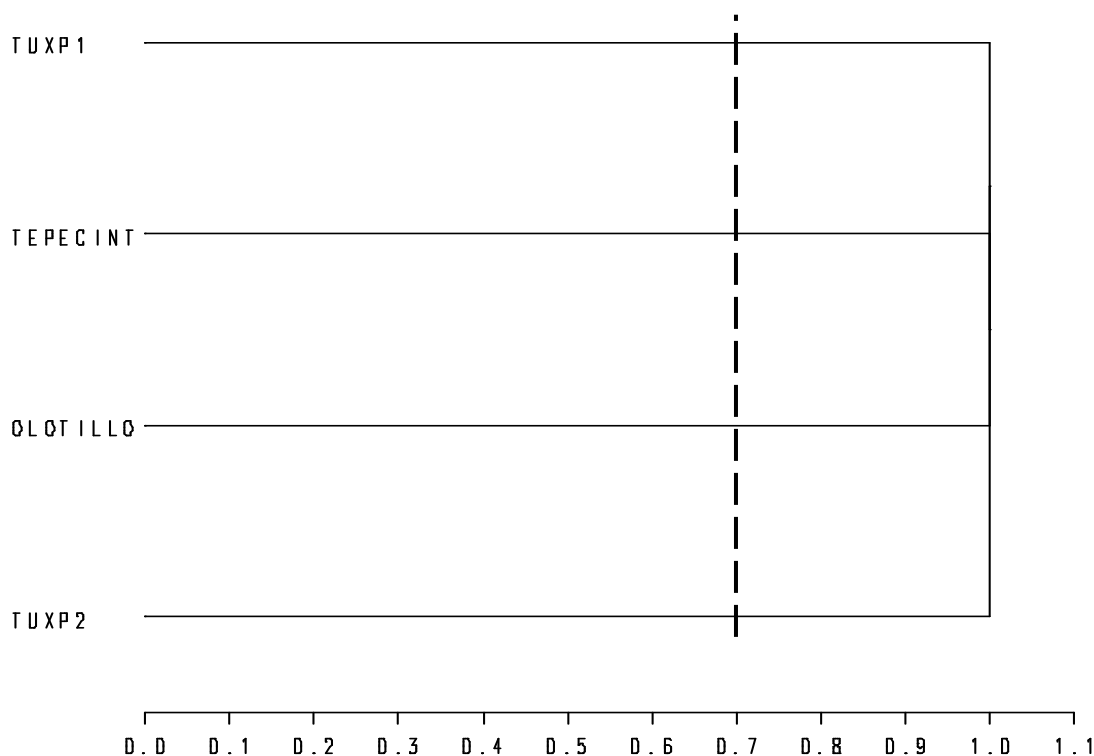


Figura 1. Agrupamiento de poblaciones de maíz, generado por las similitudes morfológicas, con base en las distancias de Mahalanobis (1936).

Los caracteres cuantitativos en mazorca que son componentes del rendimiento y de interés (figura 2) indican que la raza Olotillo presenta mayor longitud de mazorca lo que coincide con lo reportado por la CONABIO (2010), quienes mencionan que se caracteriza por sus mazorcas alargadas. En cuanto al peso de cien semillas (P100S) la raza Tuxpeño proveniente del norte de Veracruz (Tuxp1) mostró el mayor peso (38.6 g) de las cuatro poblaciones y en diámetro de mazorca la raza Tuxpeño: Tuxp1 y Tuxp2, presentaron valores de 4.98 y 4.85 cm, respectivamente.

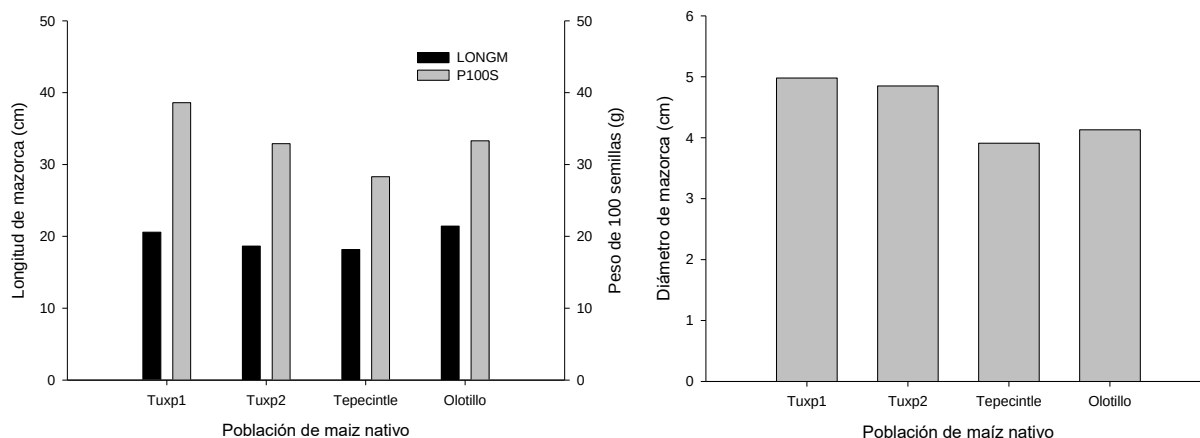


Figura 2. Caracteres cuantitativos componentes del rendimiento en cuatro poblaciones de maíz nativo de Veracruz.

Conclusiones

Las razas de maíz nativo Tuxpeño, Tepecintle y Olotillo colectados en el estado de Veracruz, poseen caracteres de mazorca sobresalientes y distintivos por lo que han sido usadas y conservadas por los productores por generaciones, confiriendo así adaptación y representan una fuente de genes para incorporarlos en programas de mejoramiento genético.

Referencias bibliográficas

- Astier, M., Perales Rivera, H., Orozco Ramírez, Q., Aragón Cuevas, F., Bye, R., Linares, E. y Mera Ovando, L.M. 2021. Conservación de la agrobiodiversidad en México: Propuestas y experiencias en el campo. Comisión Nacional del conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO)/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (CONANP). Ciudad de México. 221 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2010. Proyecto Global de Maíces Nativos. Tabla descriptiva de razas de maíz en México. Cd. De México, México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2011. Recopilación, generación, actualización y análisis de la información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México. CONABIO-INIFAP-INE. 78 p.
- Mahalanobis, P. C. 1936. On the generalized distance in statistics. Proceedings of the National Institute of Science of India, 12:49-55.
- Ruiz, C. J. A., Sánchez, G. J. J., Casillas, H. J. M., Willcox, M. C., Ramírez, D. J.L., González, E., Diego, R. 2013. Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 4:829-842.

MANEJO SOSTENIBLE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS PARA LA PRODUCCIÓN DE *Hericium erinaceus* EN COMUNIDADES DEL ALTIPLANO POBLANO (OCOTEPEC, PIZARRO Y CHICHICUAUTLA)

Andrea Barajas-Montiel^{1*}, Ricardo Irving Pérez-López¹, José Filomeno Conrado-Parraguirre¹, Omar Romero-Arenas¹

¹BUAP; Centro de Agroecología

*Autor para correspondencia: andrea.barajasmontiel.icuap@viep.com.mx

Palabras clave. Rastrojos, diversificación, viabilidad.

Introducción

El presente trabajo abordó el aprovechamiento sustentable de residuos agrícolas, especialmente los rastrojos como sustrato para la producción del hongo *Hericium erinaceus* (un hongo con alto potencial nutricional y medicinal) en las comunidades de Ocotepc, Pizarro y Chichicautla, Puebla. Este modelo buscó contribuir a la diversificación productiva, mejorar la calidad del suelo y reducir prácticas contaminantes como la quema, integrando enfoques participativos e indicadores para evaluar su viabilidad social, ambiental y económica.

Objetivo general

Determinar los factores sociales, ambientales y biológicos de mayor importancia para la producción sustentable de *Hericium erinaceus* en las comunidades del Altiplano Poblano.

Objetivos específicos

Diseñar y aplicar un diagnóstico participativo y sistémico para evaluar la sustentabilidad en las comunidades seleccionadas mediante indicadores e investigación de acción participativa, además de herramientas de análisis multicriterio.

Evaluar la eficiencia biológica, tasa de producción y tasa de biodegradación de los cuerpos fructíferos de *H. erinaceus* cultivados sobre distintos residuos agrícolas de cosecha de las comunidades seleccionadas.

Obtener la caracterización química de los compuestos presentes en los cuerpos fructíferos de *H. erinaceus*.

Materiales y Métodos

Objetivo específico 1: Se trabajó bajo un diseño mixto que combinó métodos cualitativos y cuantitativos, integrando la Investigación Acción Participativa (IAP). Se realizaron entrevistas semiestructuradas, talleres comunitarios y recorridos de campo para la identificación de puntos críticos y la construcción de forma participativa de indicadores de evaluación.

La sustentabilidad se entendió como una propiedad compleja que integra dimensiones ambiental, social y económica, considerando atributos clave como productividad, resiliencia y equidad. A partir de estos atributos se definieron 14 indicadores adaptados al contexto local mediante talleres y análisis multicriterio. Los datos cualitativos se transformaron en variables ordinales, facilitando su análisis y sistematización para identificar patrones generales y particularidades en el manejo de rastrojos en las comunidades estudiadas.

Objetivo específico 2: El diseño experimental contempló la producción de *H. erinaceus* usando cinco tipos de rastrojos locales (olote de maíz, rastrojo de maíz, zacate, ocojal y aserrín de encino), evaluando variables como tasa de colonización, rendimiento biológico. Se establecieron bloques completamente al azar con cinco repeticiones por tratamiento.

El análisis estadístico incluyó medidas de tendencia central (media y desviación estándar para cada variable, análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre cada tratamiento. Además, se elaboraron diagramas de caja para visualizar la dispersión de los datos.

Objetivo específico 3: Para la purificación de *H. erinaceus* y determinación de los compuestos de importancia nutraceútica (erinacinas y hericenonas), se realizó una maceración en etanol a 85 °C bajo reflujo, repitiendo el proceso tres veces y filtrando con papel Whatman grado 1 para obtener extractos homogéneos. Los extractos fueron concentrados posteriormente en rotavapor hasta un volumen reducido. La identificación preliminar de metabolitos se llevó a cabo mediante cromatografía en capa fina (TLC), evaluando diferentes sistemas de solventes; el sistema hexano:acetato de etilo (9:1) ofreció la mejor

separación. Los extractos se purificaron mediante cromatografía en columna con sílica gel como fase estacionaria, recolectando fracciones monitorizadas por TLC.

Finalmente, las fracciones seleccionadas fueron concentradas bajo vacío y analizadas mediante espectrofotometría UV-VIS y espectroscopia infrarroja (IR) para caracterización funcional, complementadas con análisis de resonancia magnética nuclear (RMN), que permitió confirmar la estructura de los metabolitos presentes.

Resultados y Discusión

Objetivo específico 1: la aplicación de la IAP y el análisis multicriterio permitieron visualizar los patrones diferenciados entre comunidades. El Análisis de Componentes Principales (PCA) explicó el 73.4% de la variabilidad total en los primeros dos componentes. En la figura 1 se observan tres agrupamientos bien definidos:

- Ocotepc (verde): se asoció positivamente a tres vectores como *Conservación*, *Cohesión*, *Diversificación*, *Tecnología* y *Capital*, lo que indica una mayor apertura comunitaria hacia prácticas innovadoras de manejo de rastrojos, así como una fuerte organización social.
- Pizarro (azul): mostró una relación intermedia, ubicada cerca del eje central, asociándose con indicadores como *Rentabilidad*, *Género* e *Innovación*. Esto sugiere una comunidad con potencial de transición hacia esquemas sustentables, aunque aún con limitaciones estructurales.
- Chichicuautila (rojo) se situó en el cuadrante opuesto, con baja asociación a los vectores positivos y mayor cercanía a prácticas más convencionales. La distancia de sus observaciones al centro indica menor cohesión y apropiación de estrategias sustentables.

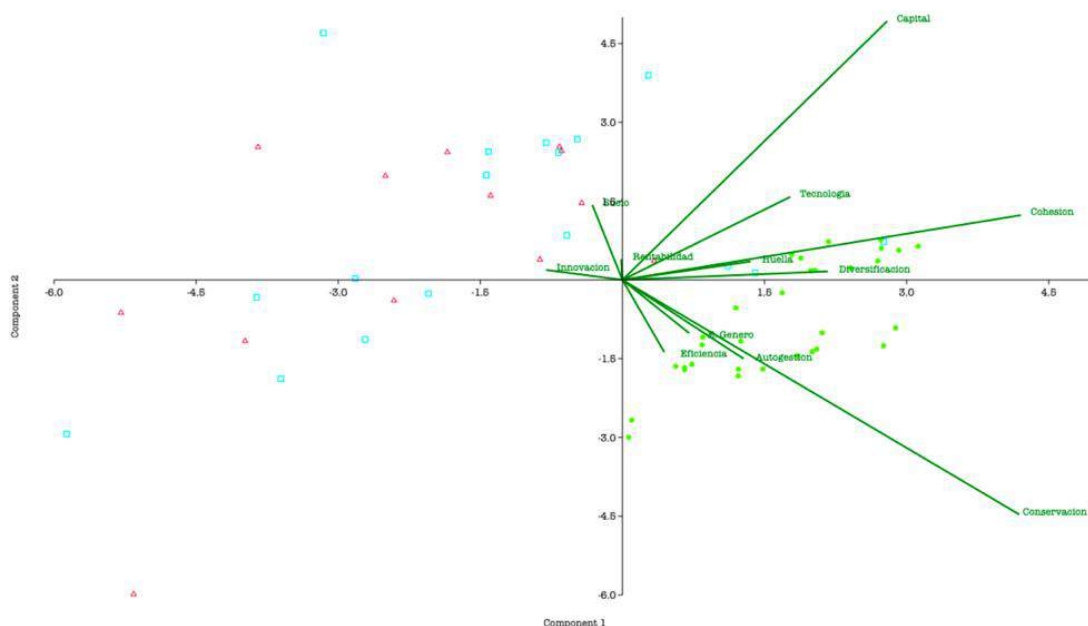


Figura 1. Análisis de componentes principales (PCA) de los 14 indicadores de sustentabilidad construidos bajo técnicas participativas en tres comunidades (verde: Ocotepc; azul: Pizarro; rojo: Chichicuautila).

Objetivo específico 2: el experimento demostró que el rastrojo de maíz y el ocoxal generaron los mayores rendimientos biológicos (RB > 85%), con menores tiempos de colonización y alta tasa de biodegradación. Por el contrario, el zacate presentó una colonización más lenta y menor eficiencia, aunque mostró potencial como suplemento del sustrato por su rápida descomposición.

El ANOVA evidenció diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos, lo cual fue reforzado visualmente por los diagramas de caja, que mostraron una menor dispersión y mayor rendimiento promedio en los tratamientos con rastrojo de maíz. Estos resultados respaldan la viabilidad del uso de residuos agrícolas locales como sustratos eficientes, brindando una solución sustentable al problema de quema de rastrojo y abriendo una alternativa económica para las comunidades rurales.

Objetivo específico 3: los extractos etanólicos concentrados de *H. erinaceus* fueron sometidos a pruebas cromatográficas y espectroscópicas. La resonancia magnética nuclear (RMN) permitió observar la presencia de erinacina A (figura 2), uno de los compuestos neuroregenerativos más relevantes en esta especie.

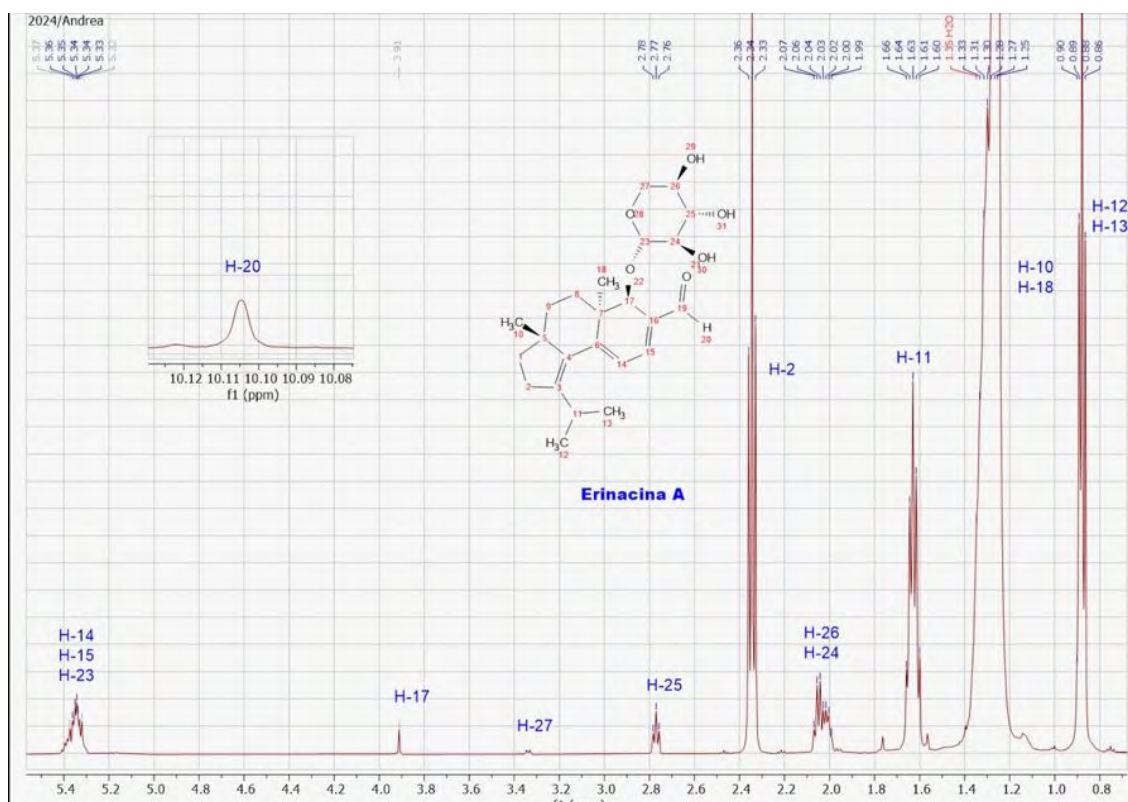


Figura 2: Espectro de resonancia magnética nuclear (RMN) de Erinacina A aislada de *Heridium erinaceus* cultivado sobre rastrojo de maíz.

Conclusiones

La confirmación se basó en los desplazamientos químicos característicos de los protones metilénicos y metílicos en la región alifática, y en el grupo hidroxilo fenólico (10.11 ppm), los cuales coincidieron con los datos reportados en la literatura de la erinacina A. Esta molécula presenta propiedades potenciales en la regeneración de tejido nervioso, lo que refuerza la relevancia de su producción local a partir de residuos agroindustriales.

En conjunto, los hallazgos respaldan la propuesta de un modelo de economía circular donde los residuos agrícolas no solo son reutilizados, sino revalorizados mediante la producción de un hongo de interés nutracéutico y medicinal, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

Agradecimientos

Agradecemos a las comunidades de Ocotepec, Pizarro y Chichicautla por su colaboración durante el desarrollo del proyecto. También a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, al Instituto de Ciencias

y a la Masagro por su acompañamiento. De manera especial, se reconoce al SECIHTI por el respaldo brindado mediante la beca de posgrado.

Fuente financiadora

Este trabajo fue financiado con apoyo del SECIHT, a través de una beca de posgrado.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M., & Nicholls, C. I. (2021). Agroecología: potenciando la agricultura campesina para revertir el hambre y la inseguridad alimentaria en el mundo. *Revista De Economía Crítica*, 2(10), 62–74. Recuperado a partir de <https://www.revistaeconomiacritica.org/index.php/rec/article/view/475>
- Lee, K. F., Tung, S. Y., Teng, C. C., Shen, C. H., Hsieh, M. C., Huang, C. Y., Lee, K. C., Lee, L. Y., Chen, W. P., Chen, C. C., Huang, W. S., & Kuo, H. C. (2020). Post-Treatment with Erinacine A, a Derived Diterpenoid of *H. erinaceus*, Attenuates Neurotoxicity in MPTP Model of Parkinson's Disease. *Antioxidants* (Basel, Switzerland), 9(2), 137. <https://doi.org/10.3390/antiox9020137>
- López-Ridaura, S. (2002). Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework. *Ecological Indicators*, 2(1-2), 135–148. [https://doi.org/10.1016/s1470-160x\(02\)00043-2](https://doi.org/10.1016/s1470-160x(02)00043-2)
- Sustainable bioeconomy for agrifood systems transformation* | Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). Fao.org. <https://www.fao.org/in-action/sustainable-and-circular-bioeconomy/en>
- Spangenberg, E. T., Moneypenny, A., Bozzo, G. G., & Perreault, M. L. (2025). Unveiling the role of erinacines in the neuroprotective effects of *Herichium erinaceus*: a systematic review in preclinical models. *Frontiers in Pharmacology*, 16. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1582081>

APROVECHAMIENTO DE FUENTES DE FÓSFORO INSOLUBLE MEDIANTE CULTIVO SUMERGIDO DE RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL

Marco Polo Carballo-Sánchez^{1*}, Rosa Mireya López-Ambrocio¹, Juan José Almaraz- Suárez¹, Rubén San Miguel-Chávez¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo

*Autor para correspondencia: carballo.marco@colpos.mx

Palabras clave. Rizobacterias, roca fosfórica, ácidos orgánicos.

Introducción

Una de las características más relevantes de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal es la solubilización de fósforo, esto debido a que dicho elemento se encuentra en gran proporción en formas insolubles que no pueden ser aprovechadas por las plantas. Si se trata de fósforo orgánico, se producen enzimas fosfatasas y fitasas extracelulares. Para fósforo inorgánico, el mecanismo para su solubilización es la producción de ácidos orgánicos. Con la aportación de las rizobacterias, se pueden aprovechar de una manera más eficiente los nutrimentos que no son disponibles para la planta. La forma más común de fósforo insoluble es la roca fosfórica, la cual es materia prima para la elaboración de fertilizantes químicos, que también se ha utilizado como fuente de fósforo para prácticas agrícolas sostenibles. Otra fuente es la estruvita, la cual es un complejo de amonio, magnesio y fósforo, reconocida para su uso en la agricultura como de lenta liberación y que puede ser recuperada de las aguas residuales. El uso de fuentes sostenibles de fósforo es esencial para la sostenibilidad de la agricultura y para la promoción de la salud del suelo, ya que el uso excesivo de fertilizantes químicos ha provocado su degradación.

Objetivo

En este trabajo se evaluó la capacidad de diez cepas de rizobacterias para la solubilización de tres fuentes distintas de fósforo insoluble, así como la interacción de las células bacterianas con las partículas de roca fosfórica y la producción de ácidos orgánicos.

Materiales y Métodos

Diseño experimental

Los experimentos realizados son parte de un diseño completamente al azar. El análisis estadístico de los resultados consiste en análisis de varianza y prueba post-hoc de Tukey mediante el software SAS 9.0. Los datos analizados cumplen con los supuestos de normalidad, homocedasticidad e independencia de las observaciones.

Selección de cepas

Las cepas utilizadas forman parte de la colección del laboratorio de Microbiología de Suelos del Colegio de Postgraduados. Estas fueron elegidas de acuerdo con la capacidad para solubilizar fosfato *in vitro*, de acuerdo con trabajos realizados en tesis de posgrado y artículos científicos. En el cuadro 1 se muestran datos de las cepas, la cual es la clave con la que están almacenadas en la colección y, así como la especie producto del proceso de identificación molecular.

Cuadro 1. Cepas utilizadas en los experimentos y su identificación.

Clave	Cepa	Clave	Cepa
R23	<i>Bacillus sp.</i>	BSP 1.1	<i>Paenibacillus sp.</i>
C36	<i>Bacillus australimaris.</i>	LB1	<i>Bacillus sp.</i>
R1	<i>Bacillus sp.</i>	C49	<i>Weizmannia ginsengihumi</i>
JLB4	<i>Arthrobacter pokkalii</i>	AB1	<i>Pseudomonas tolaasii</i>
OLSF3	<i>Rouxiella silvae</i>	C5	<i>Pseudomonas sp.</i>

Medio de cultivo

Se realizaron cultivos de las bacterias seleccionadas en una modificación del medio Pikovskaya para realizarse en líquido, variando solamente la fuente de fósforo. Dichas fuentes fueron roca fosfórica comercial cribada en malla 100 (24.52% P_2O_5 , Sílica de Occidente, México), estruvita (fórmula: $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$, Himedia, India) y fosfato de calcio tribásico (fórmula: $Ca_3P_2O_8$, Meyer, México). El cultivo se incubó por 192 horas en tubos cónicos de 50 ml, con un volumen de 30 ml en una incubadora con agitación orbital (Barnstead, EEUU), a 28°C y 180 rpm.

Caracterización de sobrenadantes de medio de cultivo

Los sobrenadantes del medio de cultivo líquido al final de la fermentación fueron obtenidos al retirar las células bacterianas mediante centrifugación. A dichos sobrenadantes se les caracterizaron los parámetros de pH (pH EP, Hanna Instruments, Rumania) y el contenido de fósforo soluble mediante el método de molibdato-vanadato adaptado para espectrofotómetro de microplaca (Biotek, Alemania). Todas las muestras se procesaron por triplicado.

Determinación de ácidos orgánicos producidos por las cepas

Las cepas cultivadas en presencia de fuentes de fósforo que tuvieron los valores de pH más bajos en medio líquido se analizaron mediante cromatografía de líquidos de alta resolución. El sistema (Agilent Technologies, CA, USA) consistió en una bomba cuaternaria modelo 1100, un inyector automático modelo 1200 y un detector de arreglo de diodos (mod. 1100). Los ácidos orgánicos fueron separados en una columna Zorbax SB-Aq (4.6x150mm, Ø 5 µm). El volumen de inyección fue de 20 µl. Las condiciones de elución fueron isocráticas, con un solvente de buffer de fosfatos 20mM, pH 2/Acetonitrilo 9:1. La elución se llevó a cabo a 25°C con un flujo de 1 mL min⁻¹ y la longitud de onda de detección fue de 280 nm. Se utilizaron inyecciones individuales de estándares de alta pureza (Sigma Aldrich, Toluca) como referencia de los tiempos de retención de los ácidos orgánicos.

Microscopía electrónica de barrido

Al final de la fermentación, se recuperaron agregados de biomasa con partículas de roca fosfórica de los tratamientos de BSP y R1, los cuales fueron sometidos a fijación con glutaraldehído, a un tren de secado con distintas concentraciones de etanol, secado supercrítico, tratamiento con tetróxido de Osmio y recubrimiento con metal. Las muestras se observaron en distintas regiones y a distintos aumentos, siendo las de 5000x las que se reportan en este trabajo.

Resultados

Se puede observar en la figura 1 que las muestras con los valores más bajos de pH son las que estuvieron expuestas a la roca fosfórica, siendo las cepas BSP 1.1, C5 y LB1 las que presentaron valores más bajos. Estas fueron seguidas de las muestras con fosfato de calcio, con valores que oscilan entre 4 y 5 y al final las muestras con estruvita con varios tratamientos con valores superiores al 5, excepto por LB1 y C49.

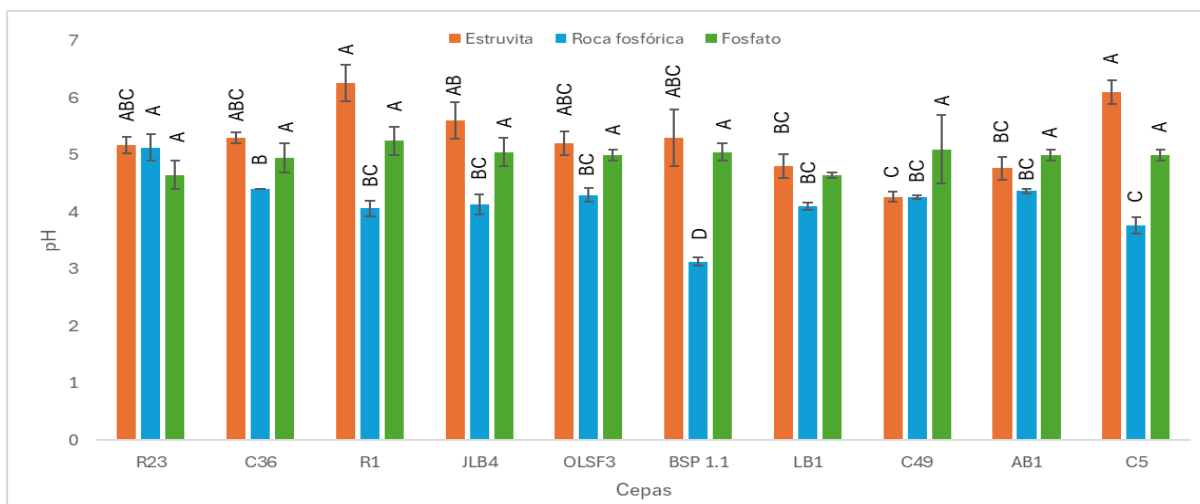


Figura 1. Valores de pH de medios de cultivo con las distintas cepas de rizobacterias con diversas fuentes de fósforo a las 192 h de cultivo.

Respecto a la solubilización de fósforo, representados en la figura 2, los valores más altos determinados en este experimento están relacionados con los tratamientos de estruvita, seguidos de los tratamientos con fosfato de calcio. Los tratamientos con roca fosfórica no mostraron valores de este parámetro, por lo que no se reportan.

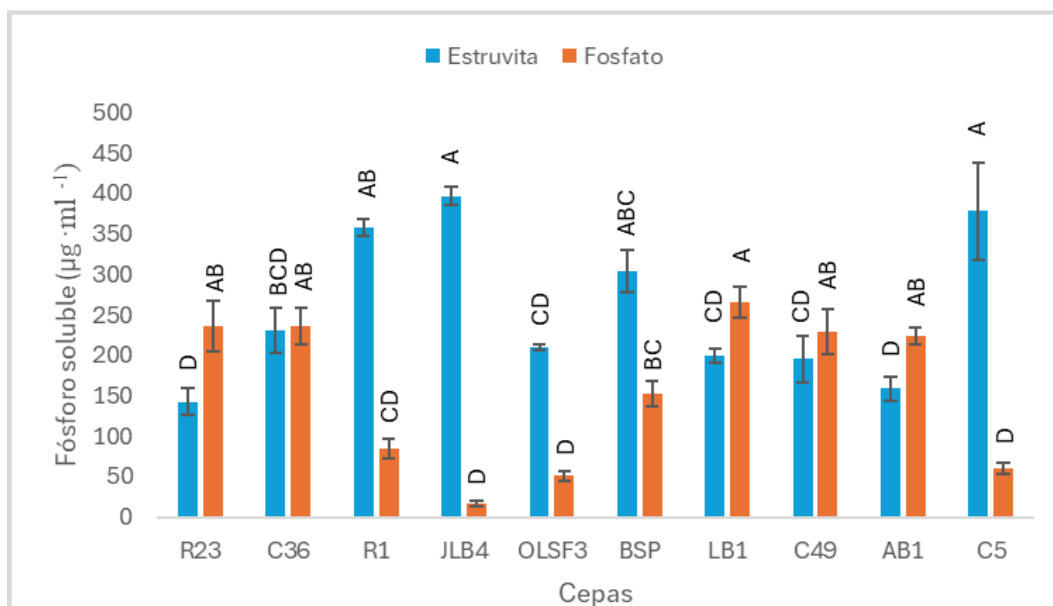


Figura 2. Valores de fósforo soluble para los cultivos de las distintas rizobacterias con estruvita y fosfato de calcio como fuente de fósforo.

Se puede observar en ambas micrografías de la figura 3 las estructuras de bacilo de las bacterias relacionadas con los géneros reportados sobre la superficie de las partículas de roca fosfórica, con un aumento de tamaño comparado con una célula bacteriana ordinaria.

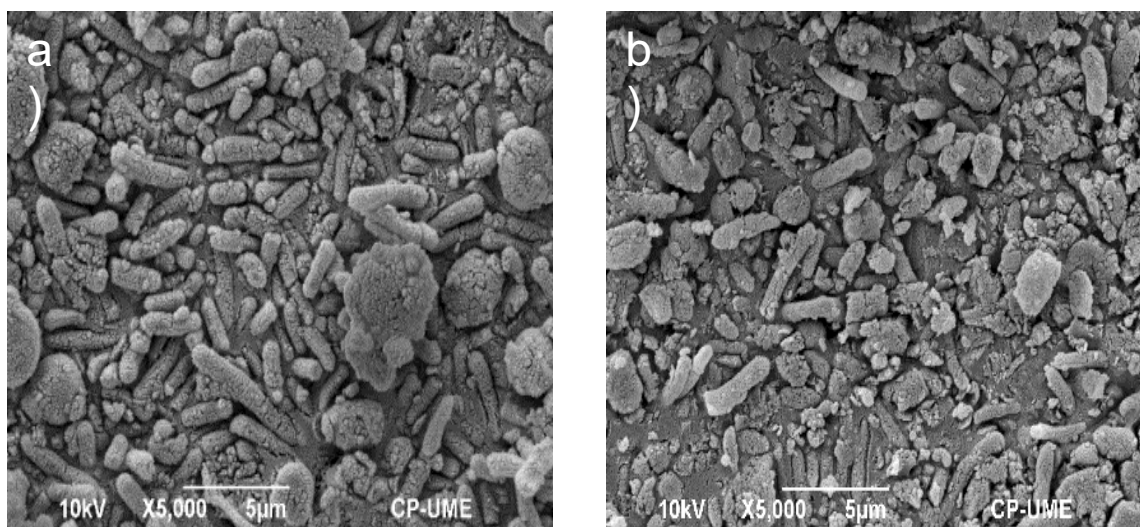


Figura 3. Micrografías SEM de fragmentos de roca fosfórica a las 196 horas de cultivo sumergido de a) *Paenibacillus* spp. BSP, b) *Bacillus* spp. R1.

Para la identificación de los ácidos producidos, se seleccionaron 6 cepas de los cultivos con roca fosfórica con los valores más bajos de pH. Se Puede observar en el cuadro 2 que el ácido butírico es el que fue producido por todas las cepas, mientras que los demás ácidos pueden o no ser producidos por las demás.

Cuadro 2. Identificación de ácidos orgánicos producidos por las cepas en cultivo sumergido con roca fosfórica como fuente de fósforo a las 196 h.

Ácido, tiempo de retención (min)	Cepas					
	AB1	BSP 1.1	C5	C49	LB1	R1
Acético (2.335)	✓	✓	✓	✓	✓	
Butírico (7.125)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fórmico (1.939)	✓	✓	✓		✓	✓
Glucónico (1.712)			✓			✓
Isovalérico (1.513)		✓	✓			
Metilmalónico (3.602)	✓					
Succínico (3.372)			✓		✓	✓
pH de la muestra	4.06 ±0.133	3.133 ± 0.066	3.77 ± 0.145	4.27 ± 0.033	4.1 ± 0.057	4.06 ± 0.133

Discusión

El fosfato de calcio es la fuente de fósforo insoluble más común para la realización de ensayos de solubilidad microbiana, aunque los valores de P soluble y de pH son más altos con el uso de estruvita, lo que resulta en mayor facilidad de disolución por parte de las bacterias sin requerir mayor producción de ácidos. Los tratamientos con roca fosfórica alcanzaron valores bajos, tanto de pH como de P soluble, principalmente por el proceso de solubilización, el cual requiere más tiempo y recursos de la célula para llevarlo a cabo, principalmente la producción de ácidos. Sin embargo, la roca fosfórica resulta ser la opción con menor costo y con la posibilidad de una liberación prolongada. El aumento de tamaño de las bacterias en el entorno de la roca fosfórica y acidez del medio se puede atribuir a la producción de exopolisacáridos que permiten no sólo adhesión a la superficie de las rocas, sino la formación de biopelículas que permiten protección contra el entorno y que en la rizósfera permiten la formación de comunidades microbianas. En los resultados de ácidos orgánicos se puede observar que no todas las bacterias producen los mismos ácidos, al menos bajo las condiciones del experimento. Esa capacidad de no producir los mismos ácidos orgánicos bajo las mismas condiciones representa una posibilidad para su caracterización metabólica.

Conclusiones

La capacidad solubilizadora de las rizobacterias está influenciada por la especie y la fuente de fósforo, ya que cada una presenta un perfil distinto de solubilización, pH y ácidos orgánicos producidos.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Los autores agradecen a la unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados por la realización de las micrografías. La realización de este trabajo fue permitida por el financiamiento a través del proyecto CONV_ENASAS _2024_15 SADER-COLPOS.

Referencias bibliográficas

Bashan Y, Kamnev AA, & de-Bashan LE (2012). Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. *Biol Fertil Soils*, 49(4), 465-479.

Ferrera-Cerrato R., Delgadillo-Martínez J., Alarcón A., Alvarado-López J., Pérez-Moreno J., Almaraz-Suárez J.J. (editores) (2021) *Microbiología aplicada a la agricultura y ecosistemas. Principios y técnicas para su investigación*. (1ª ed.) Biblioteca básica agrícola, Colegio de Postgraduados

Pikovskaya RI (1948) Mobilization of phosphates in soil in relation with vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya* 17:362–370

LOS HUERTOS FAMILIARES COMO ESTRATEGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE LA AGROBIODIVERSIDAD EN LA REGIÓN TEXCOCO

Lorena Cortés-Espinoza^{1*}, Erika Muñiz-Reyes¹, Bertha Sofía Larque-Saavedra¹, Margarita Díaz-Valasis¹

¹INIFAP, CEVAMEX

*Autor para correspondencia: cortes.lorena@inifap.gob.mx

Palabras clave. Producción familiar diversa.

Introducción

México de acuerdo a varios estudios, es uno de los principales países con mayor biodiversidad. Presentándose en áreas agrícolas la agrobiodiversidad, siendo la diversidad biológica, consecuencia de la interacción de las actividades humanas con las especies de interés, y de ambas con distintos ambientes, condiciones sociales y formas de uso” (Astier, et al., 2021). En los agroecosistemas se manifiesta una biodiversidad fitogenética importante, en donde los huertos familiares juegan un papel importante desde la antigüedad. Los huertos son sistemas donde se desarrolla la agricultura familiar que fueron adaptados por el ser humano para su beneficio con una connotación importante para el hogar y a su alrededor, donde se manifiesta la agrobiodiversidad, las relaciones sociales, culturales, económicas y de alimentación (Aguilar, 2016). Los recursos fitogenéticos y su diversidad han estado amenazados por el cambio climático, la nueva ruralidad, la cultura alimenticia que se va modificando, el desarrollo urbano -que limita los espacios para los huertos familiares y áreas de cultivo-; así como, por la revolución verde -que ha limitado la diversidad de las especies cultivadas y eliminado otras- y la modernidad que han modificado los ecosistemas. En la Región de Texcoco no ha sido la excepción, además, con el deterioro del Lago de Texcoco, el crecimiento urbano, entre otros factores, han creado modificaciones en la diversidad genética vegetal y en los huertos familiares; por lo que, se genera el interés de realizar el presente trabajo.

Objetivos

Analizar la importancia de los huertos familiares en la Región de Texcoco como estrategia clave para la conservación de la agrobiodiversidad, visualizando su papel en la preservación de especies vegetales y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles.

Materiales y Métodos

El estudio sobre la biodiversidad en los huertos se llevó a cabo desde un enfoque regional, utilizando un muestreo no probabilístico, en cadena y por conveniencia, con el fin de obtener una muestra representativa de la región. La herramienta metodológica principal fue la encuesta, diseñada para recopilar información clave sobre las prácticas y condiciones agrobiológicas de la producción familiares. La Región que se seleccionó para realizar este trabajo fue la Región 3 Texcoco (figura 1). La regionalización del Estado de México se basó en el Índice de Desarrollo Humano, Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, Condiciones políticas, Logística de traslado, Población municipal y Área territorial Los municipios. La Región 3 está integrada por los municipios de Atenco, Chiautla, Chicoloapan, Chiconcuac, Chimalhuacán, Papalotla, Tepetlaoxtoc, Texcoco y Tezoyuca.

Se utilizó el muestreo por conveniencia, en donde se aplicó el cuestionario a personas que tuvieran un huerto familiar; utilizando también, el muestreo en cadena, mediante el cual fueron contactados los individuos que cumplieran la condición estipulada; siendo las personas encuestadas y agentes clave quienes indicaron los sujetos con huertos familiares y los posibles candidatos para ser encuestados. Se encuestaron a 50 personas de la Región Texcoco, en los municipios de Atenco, de Chiautla, de Papalotla, de San Vicente Chicoloapan, de Tepetlaoxtoc, de Texcoco y de Tizayuca; abarcando siete de nueve municipios que conforman la Región (figura 1). También, se recabó información general en cursos y talleres que se realizaron relacionados con huertos familiares sin aplicar el cuestionario.

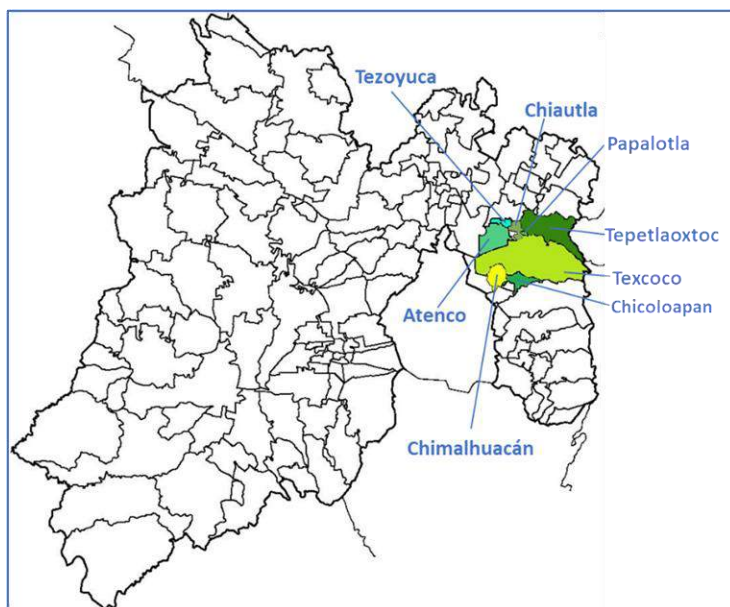


Figura 1. Municipios de la Región Texcoco del Estado de México donde se realizó el estudio.

Resultados y Discusión

En los huertos familiares de la Región Texcoco, se encontró alrededor de 154 especies vegetales (cuadro 1), de acuerdo al número de especies cultivadas, se identificó como primer lugar las plantas medicinales y aromáticas con 48 (figuras 2 y 3), en segundo lugar las ornamentales con 43 (figuras 2 y 3), tercer lugar los frutales con 34 (figura 5), en cuarto lugar, las hortalizas con 20 -se incluyó la papa y el nopal verdura en esta clasificación- (figura 4) y en quinto lugar otros con 9 – granos básicos, forestales, chía, cafeto y agave-. Esta diversidad en los huertos contribuye a conservar la agrobiodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas, al rescate y preservación de las plantas medicinales y aromáticas, y otros servicios ecosistémicos, al tener especies medicinales, aromáticas y ornamentales, se genera la atracción de polinizadores, que favorece a la producción de hortalizas, de granos básicos, de frutales y las demás plantas con fin alimenticio.

Cuadro 1. Inventario de plantas cultivadas en la Región de Texcoco.

No	Nombre común	No	Nombre común	No	Nombre común	No	Nombre común
1	Aceituna negra	40	Cola de caballo	79	Lechuga	118	Pimienta
2	Acelga	41	Copal	80	Limón	119	Pino
3	Agapando	42	Corona de cristo	81	Lirios	120	Piña
4	Agave	43	Cuna de moisés	82	Maíz	121	Piñón
5	Aguacate	44	Dalias	83	Malamadre	122	Pirul
6	Ajenjo	45	Diente de león	84	Malva	123	Pitahaya
7	Ala de ángel	46	Durazno	85	Malva	124	Planta cebrá
8	Albahaca	47	Epazote	86	Malvón	125	Quelite
9	Alcachofa	48	Espada	87	Mandarina	126	Rábano
10	Alcanfor	49	Espinaca	88	Manita	127	Romero
11	Alcatraz	50	Estafiate	89	Manzana	128	Rosa
12	Alfalfa	51	Eucalipto	90	Manzanilla	129	Rosa de alabastro

No	Nombre común	No	Nombre común	No	Nombre común	No	Nombre común
13	Anturio	52	Floripondio	91	Maracuyá	130	Rosa de castilla
14	Apio	53	Frambuesa	92	Maravilla	131	Ruda
15	Azucena	54	Fresa	93	Mejorana	132	Sábila
16	Bambú	55	Frijol	94	Menta	133	Salvia
17	Brócoli	56	Geranio	95	Milenrama	134	Sansevieria
18	Bugambilia	57	Girasol	96	Mora	135	Santaelena
19	Cactáceas	58	Gladiola	97	Muicle	136	Santamaría
20	Café	59	Granada	98	Naranja	137	Siempreviva
21	Calabacita	60	Guayaba	99	Níspero	138	Suculentas
22	Caléndula	61	Guayaba brasileña	100	Nochebuena	139	Té limón
23	Cannabis	62	Hierba del sapo	101	Nogal	140	Té verde
24	Canela	63	Hierbabuena	102	Nopal	141	Tejocote
25	Capulín	64	Higo	103	Orégano	142	Teresita
26	Cebolla	65	Hinojo	104	Organillo	143	Tomate
27	Cebollín	66	Hoja de burro	105	Órgano	144	Tomillo
28	Cedrón	67	Hoja santa	106	Orquídea	145	Toronja
29	Ceiba	68	Huele de noche	107	Ortiga	146	Toronjil
30	Cempasúchil	69	Huizache	108	Palma	147	Tulipán
31	Cereza	70	Jacaranda	109	Palo de Brasil	148	Tuna
32	Chabacano	71	Jade	110	Papa	149	Uva
33	Chía	72	Jazmín	111	Papaya	150	Vaporub
34	Chile	73	Jazmín enredadera	112	Paraíso	151	Verdolaga
35	Chirimoya	74	Jitomate	113	Pata de elefante	152	Xoconostle
36	Cilantro	75	Kalanchoe	114	Pepino	153	Zapote
37	Ciruela	76	Laurel aromático	115	Pera	154	Zarzamora
38	Citronela	77	Laurel ornamental	116	Pericón		
39	Col brúcelas	78	Lavanda	117	Petunia		



Figura 2. Dalias intercaladas con albahaca y acelgas.



Figura 3. Sábilas, kalanchoe, siempreviva, suculentas, medicinales y ornamentales.



Figura 4. Tomate, chile de árbol y cilantro para producción de semilla.



Figura 5. Manzana, durazno, limón, naranja, maracuyá, entre otros frutales.

Los sistemas de producción a pequeña escala en su conjunto contribuyen a la diversidad de plantas en la Región Texcoco, observando un inventario significativo, sin tomar en cuenta la diversidad de variedades en diferentes especies, además, son espacios importantes de conservación de la agrobiodiversidad (Chablé et al., 2015). Se identificó que en los huertos donde se realizó el estudio, tienen en promedio seis especies de frutales (cubriendo el 17.65 de las encontradas), seis especies de plantas medicinales y aromáticas (12.50%), cuatro especies de plantas ornamentales (9.09%) y cuatro de hortalizas (20.00%); con diversas variedades principalmente de limón, maracuyá, manzana, chile, lechuga, sábila, rosas, cactáceas y/o suculentas. Este promedio de representatividad de la diversidad de especies identificadas en los huertos es bajo; asimismo, de acuerdo con la información recabada, la problemática que están enfrentando las familias y que limita el desarrollo de la producción, son la falta de agua y la falta de espacio -por reducción del terreno a través de generaciones- para esta actividad; otro problema que se identificó es que no es propia la vivienda y se encuentran rentando. Estas condiciones restringen la producción de hortalizas o de especies con una demanda mayor de agua o falta de tolerancia a sequías o falta de este líquido. Lo anterior ha propiciado la búsqueda de alternativas como lo observado en algunos huertos en los que se capta agua de lluvia y reutilizan las aguas grises de la cocina para cubrir las necesidades de este vital líquido para las plantas; con respecto al espacio limitado eligen cultivar en macetas (macetas y botes de 20 litros) en la azotea y en espacios pequeños y/o con piso firme -de cemento- (figura 6). Los espacios asignados para la producción familiar tienen en promedio 1535.96 metros cuadrados (m^2), con un mínimo de 10 y un máximo de 1,7000; se cuenta con el 78 % de huertos con una superficie menor que el promedio que van de un rango de 10 a 500 m^2 y con 22 % con mayor superficie que el promedio en un rango de 1,500 a 1,7000 m^2 . Al considerar únicamente 78 % de huertos, se obtiene un promedio de 153.28 m^2 y al considerar el 22 % tienen en promedio 6,438.18 m^2 de superficie para los sistemas de producción a pequeña escala. Por lo anterior, si se clasifican los huertos en pequeños y grandes, la gran mayoría son pequeños en comparación con los resultados de García y colaboradores (2017), en otros municipios del Estado de México la superficie promedio es para Villa Guerrero de 642 m^2 , para Malinalco de 626 m^2 y para Tenancingo de 454 m^2 . Por consiguiente, en esas superficies se alberga la agrobiodiversidad en la Región Texcoco, en sistemas sustentables familiares, en donde solamente una familia utiliza agroquímicos y otra productos agroecológicos y agroquímicos y el resto únicamente agroecológicos. Estos sistemas garantizan una producción sostenible que generan servicios ecosistémicos, como la producción de alimentos, la conservación y recuperación de la biodiversidad fitogenética, la mejora de suelo y agua -al no utilizar agroquímicos-, condiciones para la atracción de polinizadores -al cultivar plantas medicinales y aromáticas y ornamentales-.



Figura 6. Producción en macetas y captación y reutilización de aguas grises de la cocina.

Conclusiones

En la Región 3 Texcoco, en la producción familiar, los principales problemas identificados, fueron la escasez de agua y el espacio limitado, para los cuales los individuos aplican soluciones prácticas para contrarrestarlas; sin embargo, estas condiciones influyen en la biodiversidad de plantas cultivadas en cada uno de los huertos, que en términos de números es baja de forma individual. No obstante, los huertos familiares en conjunto juegan un papel importante en la conservación de la agrobiodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas, por su diversidad de especies cultivadas como frutales, medicinales y aromáticas, ornamentales, hortalizas, granos básicos, forestales, chía, cafeto y agave, y al aplicar prácticas agrícolas sostenibles empleando métodos agroecológicos sustentables. La inclusión de plantas medicinales, aromáticas y ornamentales ayuda a preservar estos recursos y favorece otros servicios ecosistémicos importantes, propiciando que los huertos sean resilientes ante las condiciones actuales y que sean ecosistemas sostenibles.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Al con Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por el apoyo financiero recibido para realizar el presente trabajo y al INIFAP por proporcionar las condiciones y los medios materiales para llevarlo a cabo.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, C. W. 2016. Los huertos familiares como espacios de Conservación de la memoria biocultural. En Salvador Flores Guido. Importancia y recomendaciones para la conservación de los huertos familiares en la Península de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, p. 6-9.
- Astier, M., Perales Rivera, H., Orozco Ramírez, Q., Aragón Cuevas, F., Bye, R., Linares, E. y Mera Ovando, L. M. 2021. Conservación de la agrobiodiversidad en México: propuestas y experiencias en el campo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) / Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Ciudad de México. 210 pp.
- Chablé, R., Palma, D., Vázquez, C., Ruiz, O., Mariaca, R. y Ascensio, J. 2015. Estructura, diversidad y uso de las especies en huertos familiares de la Chontalpa, Tabasco, México. Ecosistemas y recursos agropecuarios, v. 2, n. 4, p. 23-39.
- García, F. J. C., Gutiérrez C. J. G., Balderas P. M. Á., y Juan P. J. I. 2017. El agroecosistema con huerto familiar en el subtrópico mexicano: conocimiento, uso y manejo. En R. Jarquín y A. Huerta (Coords.), La agricultura sostenible como base para los agronegocios. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, p. 427-435.

EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDOS EN *Argemone mexicana* PARA OBTENER COMPUESTOS DE INTERÉS INDUSTRIAL

Lilia Salas-Pérez^{1*}, Artemisa Barbara Abril Flores-de Villa¹, Reyna Roxana Guillen-Enríquez²

¹Universidad Autónoma de Coahuila. ²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

*Autor para correspondencia: lsalas@uadec.edu.mx

Palabras clave. *Argemone mexicana*, extracción por ultrasonidos, compuestos industriales.

Introducción

Argemone mexicana es una planta nativa de México considerada maleza y distribuida en gran parte del país, extendiéndose desde el sur de Estados Unidos hasta Sudamérica y siendo conocida comúnmente, entre otros nombres como amapolilla, cardo o chicalote. Esta planta tiene tallos y hojas espinosas, con flores amarillas pálidas o brillantes compuestas de 3 sépalos con cuernos elongados y una corola doble trómera (Patocka *et al.*, 2024). Entre las especies más afectadas por esta planta se encuentran cultivos de las leguminosas, cereales, oleaginosas, hortalizas y frutales (Elizondo-Luevano *et al.*, 2024a). Aunque estas plantas sean consideradas malezas sin un valor estético o económico, presentan una gran cantidad de alcaloides y compuestos fitoquímicos que pueden ser de importancia en la industria farmacéutica, cosmética y química. Estos compuestos son metabolitos secundarios de las plantas conocidos como compuestos fenólicos, tal como los flavonoides y otros compuestos con capacidad antioxidante, los cuales se han relacionado con propiedades citotóxicas, antifúngicas y antibacterianas de las plantas (Elizondo-Luevano *et al.*, 2024b).

En este sentido, los compuestos fenólicos tienen una amplia gama de aplicaciones en la industria química, donde destacan su uso en la producción de resinas y en la fabricación de diversos productos como tintes y fibras sintéticas. También son importantes en la industria farmacéutica y alimentaria debido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias. Uno de los compuestos fenólicos con mayor capacidad antioxidante estudiados son los flavonoides, que tienen múltiples aplicaciones en la industria química aprovechando su capacidad para modular funciones enzimáticas. Además, se utilizan en la industria alimentaria como conservantes y colorantes, en la cosmética por sus propiedades antioxidantes y en la farmacéutica por sus efectos beneficiosos para la salud. En adición, también se utilizan en la síntesis de nuevos compuestos como herbicidas y pesticidas naturales (Khan y Bhadauria, 2019). Todos estos compuestos pueden ser extraídos en diferentes concentraciones de acuerdo con los métodos de extracción que se empleen.

De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible emitidos por las Naciones Unidas, el uso de tecnologías sostenibles es una prioridad. Un ejemplo de esto son las técnicas de extracción basadas en los principios de la química verde para obtener compuestos o ingredientes bioactivos de origen vegetal. La Extracción Asistida por Ultrasonidos (EAU) aplica vibraciones ultrasónicas generadas a altas frecuencias para mejorar la extracción de bioactivos vegetales. En comparación con las técnicas convencionales, la EAU se ha considerado más eficiente debido a su menor consumo de disolventes y tiempos de extracción más cortos, por lo tanto, se logran menores desperdicios de disolventes y energía.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue comparar la técnica de EAU respecto a una extracción convencional (EC) para medir el contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides y la capacidad antioxidante de *Argemone mexicana* con la finalidad de proveer un antecedente teórico del uso de esta planta con miras de aprovechar este recurso nativo para diversificar en la industria farmacéutica, cosmética o química.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, ubicado en la región sureste del estado, específicamente en la Comarca Lagunera. Este situado al este-noreste de Torreón entre las coordenadas 25°45'32" de latitud norte y 102°58'58" de longitud oeste, con altitud promedio de 1090 metros sobre el nivel del mar, con un clima muy seco o estepario. La temperatura media anual es de 21 °C, con una precipitación anual de 250 milímetros y la composición del suelo corresponde al tipo xerosol.

Material Vegetal y Extracción

Se recolectaron hojas y flores de *Argemona mexicana* de campos de cultivo de los siguientes ejidos: Ejido Dolores, Ejido Santa Teresa, Ejido Luchana, Ejido Concordia y Ejido San Antonio de Gurza (Figura 1).



Figura 1. Ubicación de los ejidos donde se tomaron las muestras de estudio.

Las muestras fueron lavadas y puestas a secar en incubadora a 200° Celsius por 6 horas. Las muestras secas fueron molidas a 9000 rpm durante 60 s para disminuir el tamaño de las partículas (Grindomix GM200, Retsch GmbH, Haan, Alemania).

EC. Para obtener los extractos por el método convencional, se mezclaron 2 g de muestra seca (hojas y flores) con 10 ml de etanol al 80 % en tubos de plástico con tapa de rosca, los cuales se colocaron en un agitador rotatorio (ATR Inc., EE. UU.) durante 24 h a 20 rpm a 5 °C. Posteriormente, los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 5 min y se extrajo el sobrenadante para su análisis.

EAU. Se pesaron 2 g de muestra seca (hojas y flores) en un tubo de ensayo añadiendo 10 ml de etanol al 80 %. La mezcla se agitó durante 25 minutos hasta su homogeneización y, posteriormente, se introdujo en el equipo de ultrasonificación durante 10 minutos con un ajuste del 50 % de la potencia sonora a 80 W con un rango de frecuencia de 20 kHz (Ultrasonics, procesador ultrasónico 2100®). Tras este proceso, se almacenaron en viales de color ámbar para su análisis (Sadat *et al.*, 2022).

Compuestos fenólicos totales

Se mezclaron 30 µl de extracto con 270 µl de agua destilada en un tubo de ensayo. Posteriormente, se añadieron 1,5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu diluido (1:15) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EE. UU.) y se agitó durante 10 s. Tras 5 min, se añadieron 1,2 ml de carbonato de sodio (7,5 % p/v) y se agitó durante 10 s. La solución se colocó en un baño de agua a 45 °C durante 15 min y se dejó enfriar a temperatura ambiente. La absorbancia de la solución se leyó a 765 nm en un espectrofotómetro UV (Genesys 10®). Para calcular el contenido fenólico, se realizó una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar y los resultados se registraron en mg de ácido gálico equivalente por g en peso seco (mg g⁻¹ PS).

Contenido de flavonoides totales

Se tomaron 250 µL del sobrenadante del extracto etanólico y se agregaron 1,25 mL de agua destilada y 75 µL de NaNO₂ al 5%, se agitó la mezcla en vórtex y se dejó reaccionar durante 5 min. Posteriormente, se agregaron 150 µL de AlCl₃H₂O al 10%, se agitó la mezcla en vórtex y se dejó reaccionar durante 6 min. A continuación, se agregaron 500 µL de NaOH 1M y 275 µL de agua, agitando la mezcla en vórtex. La absorbancia se leyó en un espectrofotómetro UV (Genesys 10) a una longitud de onda de 510 nm. Para cuantificar la concentración, se elaboró una curva estándar preparada con quercetina. Los resultados se expresaron como mg de equivalentes de quercetina por g en peso seco (mg g⁻¹ PS).

Capacidad antioxidante total

Se preparó una solución de DPPH⁺ (Aldrich, St. Louis, Missouri, EE. UU.) en etanol, ajustando la absorbancia de la solución a 1100 ± 0,010 a una longitud de onda de 515 nm. Para la determinación de la capacidad antioxidante, se mezclaron 50 µl de muestra y 1950 µl de solución de DPPH⁺, y tras 30 min de reacción, se leyó la absorbancia de la mezcla a 517 nm en un espectrofotómetro UV (Genesys 10). Las lecturas se tomaron por triplicado y se utilizó etanol como blanco. Se preparó una curva estándar con Trolox

(Aldrich, St. Louis, Missouri, EE. UU.) y los resultados se presentan como capacidad antioxidante en μM equivalente de Trolox por g en base a peso seco (μM equiv Trolox g^{-1} PS).

Análisis Estadístico

Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza en el programa estadístico SAS versión 9.2 (Statistical Analysis System, North Carolina State University, Raleigh, NC, USA). El diseño del experimento fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento (cada ejido evaluado) y dos variables independientes (método de extracción y parte de la planta). Las comparaciones entre medias se realizaron mediante la prueba de Tukey con una significancia de $p \leq 0.05$.

Resultados y Discusión

Se utilizaron dos metodologías de extracción diferentes, que involucran EAU y EC en este estudio, para evaluar el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FLAVT) y la capacidad antioxidante total (CAT) de las hojas y las flores de *Argemone mexicana*.

Para los métodos de extracción, los valores más altos se observaron en el método de EAU, respecto al método de EC, esto de acuerdo con Sadat *et al.*, (2022). Se observan diferencias significativas en las medias entre las hojas y las flores (cuadro 1). Las flores presentan consistentemente medias más altas que las hojas, lo que sugiere que la parte de la planta influye en la variable medida, independientemente del método de extracción.

El promedio de CFT para la hoja es 21.36 AGE mg g^{-1} PS (SD = 0.8), mientras que para la flor es 26.41 AGE mg g^{-1} PS (SD = 0.7). Esto indica que las flores tienen un rendimiento significativamente mayor que las hojas ($p \leq 0.05$), como lo indica la clasificación de Tukey (a para flores y b para hojas en ambos métodos). Similarmente, el promedio de FLAVT muestra un contenido de 6.42 QE mg g^{-1} PS en la hoja (SD = 1.2) y 9.97 QE mg g^{-1} PS para la flor (SD = 0.8), mostrando también una diferencia significativa.

La CAT generó una media de 208 μM equiv Trolox g^{-1} PS (SD = 1.3) para hojas y 271 μM equiv Trolox g^{-1} PS (SD = 1.1) para flores, nuevamente con diferencia significativa. La prueba de Tukey confirma que las diferencias observadas son estadísticamente significativas. Las letras asignadas (a y b) indican que las flores (a) son significativamente diferentes de las hojas (b) en todos los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Contenido de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante total de plantas de *Argemone mexicana* obtenida en el municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.

TE	Parte de la Planta	Media ($\bar{X}$)	Desviación Estándar	Diferencia significativa entre método ≤ 0.05
CFT (AGE mg g ⁻¹ PS)				
EUA	Hoja	21.36 ^b	0.8	a
	Flor	26.41 ^a	0.7	
EC	Hoja	14.09 ^b	0.9	b
	Flor	18.14 ^a	1.1	
FLAVT (QE mg g ⁻¹ PS)				
EUA	Hoja	6.42 ^b	1.2	a
	Flor	9.97 ^a	0.8	
EC	Hoja	4.72 ^b	1.1	b
	Flor	6.91 ^a	0.9	
CAT (μM equiv Trolox g ⁻¹ PS)				
EUA	Hoja	208 ^b	1.3	a
	Flor	271 ^a	1.1	
EC	Hoja	119 ^b	0.9	b
	Flor	167 ^a	1.1	

TE: Tipo de extracción, EAU: extracción asistida por ultrasonido, EC: Extracción convencional, CFT: Compuestos fenólicos totales, AGE mg g^{-1} PS: mg de ácido gálico equivalente por g en peso seco, FLAVT: Flavonoides totales, QE mg g^{-1} PS: mg de equivalentes de quercetina por g en peso seco, CAT: Capacidad antioxidante total, μM equiv Trolox g^{-1} PS: μM equivalente de Trolox por g en base a peso seco. Diferentes letras en la columna denotan diferencia significativa de acuerdo a la prueba de tukey para parte de la planta y método de extracción (≤ 0.05).

Conclusiones

En general, dentro de los extractos EAU estudiados, las flores de *Argemone mexicana* exhibieron un mejor rendimiento en cuanto a las propiedades de CTF, flavonoides y actividad antioxidante que los EC. Este estudio destaca que la aplicación de técnicas innovadoras y sostenibles para obtener un grupo específico de compuestos bioactivos, junto con el uso de análisis químico avanzado de extractos vegetales complejos, hace posible obtener ingredientes con potencial en la industria farmacéutica, cosmética y química. Así, la extracción asistida por ultrasonido (UAE) demostró ser una metodología más sostenible que la extracción convencional para obtener compuestos con actividades antioxidantes.

Agradecimientos

Se agradece al CONAHCYT el apoyo del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores.

Fuente financiadora

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) en sus programas del SNII.

Referencias bibliográficas

- Elizondo-Luévano, J. H., Garza-Vega, L. M., Torres-Hernández, Ángel D., Quintanilla-Licea, R., and Chávez-Montes, A. (2024a). *Argemone mexicana* (Papaveraceae) y Berberina - Tesoros Ocultos de la Medicina Herbal. *Revista De Ciencias Agroalimentarias Y Biotecnología*, 1(1), 5–11. DOI: <https://doi.org/10.29105/rcab1.1-3>
- Elizondo-Luévano, J. H., Quintanilla-Licea, R., Monroy-García, I.N., Kačániová, M., Castillo-Velázquez, U., Bazaldúa-Rodríguez, A.F., Garza-Vega, L.M., Torres-Hernández, Á. D., and Chávez-Montes, A. (2024b). Evaluación de las propiedades anticancerígenas de *Argemone mexicana* L. y Berberine: un estudio comparativo. *Plants*, 13 (10), 1374. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13101374>
- Khan, Aziz Mohammad and Seema Bhaduria. Analysis of medicinally important phytochemicals from *Argemone mexicana*. *Journal of King Saud University - Science* 31, n.º 4 (1 de octubre de 2019): 1020-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.05.009>.
- Patocka, J., Ovando-Martínez, M., Navratilova, Z., Oleksak, P., Ogwu, M., Nepovimova, E. and Kuca, K. (2024). *Argemone mexicana* L. (Papaveraceae): chemistry, pharmacology, and toxicology. *Phytochemistry Reviews*. 23. 1167-1182. DOI:10.1007/s11101-024-09918-y.
- Sadat, A. F. M., Hossain, E., Kibria, G., Rahman, S., Sakib, N., Nila, T. and Islam, Md. (2022). Validation of a green extraction method based on Ultrasound Assisted Aqueous Extraction from Fresh Plants of *Argemone mexicana*. *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 13, Issue 3.

AGROBIODIVERSIDAD, AGRICULTURA FAMILIAR Y SERVICIOS AMBIENTALES: MÓDULO AGROECOLÓGICO PARA LA PRODUCCIÓN FAMILIAR CEVAMEX

Erica Muñiz-Reyes*

*INIFAP, Campo Experimental Valle de México

*Autor para correspondencia: muniz.eric@inifap.gob.mx

Palabras clave. Diversidad, plantas nativas, polinizadores.

Introducción

Existe una clasificación general que incluye los servicios ecosistémicos de soporte, abastecimiento o provisión, de regulación y culturales (Chero & Ugaz, 2022), los bienes y servicios que podemos recibir de los ecosistemas dependen de la estructura y función específica con la que se cuente. Los agroecosistemas aportan servicios ambientales o ecosistémicos particulares como la polinización o la descomposición (de soporte), pero también genera relaciones complejas como la acción de insectos como enemigos naturales (de regulación), como depredadores y parasitoides. Estos y otros servicios podrán obtenerse sí y solo si la estructura ecológica adecuada está presente para que emerjan funciones del mismo. De tal manera que un sistema agrobiodiverso manejado con prácticas compatibles, podrá aportar estos y otros servicios dependiendo de la complejidad dada. El conocimiento sobre estos servicios dará pie al cuidado y conservación de los mismos, lo cual podrá lograrse a través de la colectividad y/o del trabajo interdisciplinario. La inclusión de la biodiversidad en agroecosistemas que manejan agricultores y campesinas y campesinos atiende a una lógica productiva y puede tener diversos grados de complejidad. Los huertos en general (escolares, institucionales, familiares, urbanos, etc.), aportan de manera importante algún grado de agrobiodiversidad no solo dependiente del espacio, sino de la profundidad con la que se generan estos espacios y es importante observar los servicios ecosistémicos que se van dando a través del tiempo y de la construcción continua. Entre mayor sea la agrobiodiversidad, tendremos mayores funciones entre organismos, siempre dependiente de la estructura que la conforme (Sarandón, 2020). Los espacios agrobiodiversos promueven redes ecológicas de un valor inestimable. El presente trabajo tiene como objetivo exponer la relevancia y pertinencia de huertos agrobiodiversos en la gestión de servicios ecosistémicos que detonan procesos biológicos y ambientales, así como fomentar la construcción y conservación de estos espacios en institucionales que sirvan como espacios de aprendizaje continuo.

Materiales y Métodos

El Módulo de Agricultura Familiar (MAF), tiene sus inicios a finales del 2013 e inicios del 2014. Se estableció en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en el Campo Experimental Valle de México, con la finalidad de ser un espacio para el intercambio de experiencias y el trabajo con las comunidades urbanas aledañas. Se ha logrado la incorporación gradual de especies vegetales que contribuyen a incrementar la agrobiodiversidad. En el primer año sólo se establecieron cultivos agrícolas en un esquema de agricultura familiar, haciendo uso del sistema de milpa básico, el cual incluyó maíz (*Zea mays*), calabaza (*Cucurbita pepo*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). En el siguiente año se incorporaron otros cultivos en distintos subsistemas de agricultura familiar los cuales incluyeron hortalizas como zanahoria (*Daucus carota*), betabel (*Beta vulgaris*), espinaca (*Spinacia oleracea*), lechuga (*Lactuca sativa*), rábano (*Raphanus sativus*), acelga (*Beta vulgaris*), cebolla (*Allium cepa*) y ajo (*Allium sativum*). En los años subsecuentes se incorporó un mayor número de especies vegetales y se cubrió el espacio inutilizado con distintos subsistemas adecuados a diferentes áreas de superficie. En el año 2022 se comenzó con un inventario de especies vegetales que formaban ya parte de la estructura vegetal del huerto biodiverso y tener elementos para inferir las relaciones ecológicas dadas en la actualidad. El inventario vegetal que compone el MAF se tiene como base para el diagnóstico futuro de la diversidad de insectos que ha sido posible y determinar el papel ecológico y qué servicio ecosistémico específico se aporta en un espacio correspondiente a la pequeña escala.

Resultados y Discusión

Actualmente se tienen en el MAF más de setenta especies vegetales (cuadro 1) y en 2024 se tiene la siembra en charolas de germinación para incluir mayor número y diversidad de plantas nativas como apoyo a polinizadores para incrementar el servicio ecosistémico de soporte.

Cuadro 1. Especies vegetales presentes en el Módulo de Agricultura Familiar del INIFAP-CEVAMEX y su aporte a servicios ambientales o ecosistémicos.

Nombre común	Nombre científico	SE *	Nombre común	Nombre científico	SE *
Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	P	Jitomate	<i>Solanum. lycopersicum</i>	P
Ajo	<i>Allium sativum</i>	P	Jitomate cherry	<i>Solanum lycopersicum var. cerasiforme</i>	P
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	P,S	Lantana	<i>Lantana camara</i>	S,R
Amaranto grano	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	P,C	Lavanda	<i>Lavandula angustifolia</i>	P,S
Amaranto verdura	<i>Amaranthus spp.</i>	P,C	Lechuga morada	<i>Lactuca sativa</i>	P
Apío	<i>Apium graveolens</i>	P	Limón	<i>Citrus limon</i>	P,S
Árnica	<i>Arnica montana</i>	P,C	Maíz	<i>Zea mays</i>	P,C
Brocolí	<i>Brassica spp.</i>	P	Malvón	<i>Pelargonium hortorum</i>	P,S
Bugambilia	<i>Bougainvillea spectabilis</i>	P, C	Manzana	<i>Pyrus malus</i>	P,S
Capulín	<i>Prunus serotina</i>	P	Menta	<i>Mentha ssp.</i>	P,C
Cebolla	<i>Allium ampeloprasum</i>	p	Menta poleo	<i>Mentha pulegium</i>	P,C
Cebollín oriental	<i>Allium schuenoprasum</i>	P	Moringa	<i>Moringa oleifera</i>	P,C
Cedrón	<i>Aloysia citrodora</i>	P,S	Muicle	<i>Justicia spicigeral</i>	P,C
Cempoascuhil	<i>Tagetes erecta</i>	P,C,R	Noche buena	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	P,C
Chabacano	<i>Prunus armeniaca</i>	P	Nopal	<i>Opuntia ficus-indica</i>	P,C
Chayote	<i>Sechium edule</i>	P	Ortiga menor	<i>Urtica urens</i>	P,C
Chía	<i>Salvia hispanica</i>	P,S	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	P
Chiles (diversos)	<i>Capsicum spp.</i>	P	Perejil	<i>Petroselinum crispum</i>	P
Chirimoya	<i>Annana cherimola</i>	P	Rábano	<i>Raphanus spp.</i>	P
Cilantro	<i>Coriandrum savitum</i>	P	Romero	<i>Salvia rosmarinus</i>	P,C,S
Dalia	<i>Dahlia coccinea</i>	P,S	Rosas	<i>Rosa</i>	C
Durazno	<i>Prunus persica</i>	P	Ruda	<i>Ruta gravealens</i>	P,C
Epazote zorrillo	<i>Chenopodium incisum</i>	P,C	Sabila	<i>Aloe vera</i>	P,C,S
Estafiate	<i>Artemisia ludoviciana</i>	P,C	Salvia	<i>Salvia lantana.</i>	P,S,R
Frambuesa	<i>Rubus idaeus</i>	P	Siempreviva	<i>Sedum dendroideum</i>	P,S,R
Fresa	<i>Fragaria</i>	P	Tepozán	<i>Buddleja cordata</i>	P,S,R

Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	P,S	Tomate verde	<i>Physalis ixocarpa</i>	P
Frijol ayocote	<i>Phaseolus coccineus</i>	P,S	Tomillo	<i>Tymus vulgaris</i>	P,S
Geranio	<i>Geranium ssp.</i>	P,S,R	Toronjil	<i>Agastache mexicana</i>	P,S,R
Girasol	<i>Helianthus spp.</i>	P,S,R	Trigo	<i>Triticum spp.</i>	P
Hierba dulce	<i>Phyla scaberrima</i>	P	Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>	P,S
Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	P	Verdolaga	<i>Portulaca oleacea</i>	P,S
Hierbabuena	<i>Mentha ssp.</i>	P,C	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	P
Hinojo	<i>Foeniculum vulgare</i>	P,C,S,R	Zarzamora	<i>Rubus ulmifolius</i>	P
Huauzontle	<i>Chenopodium berlandieri</i>	P	Zinnia	<i>Zinnia spp.</i>	S,R
Gengibre	<i>Zingiber officinale</i>	P,S			

*Soporte (S); Provisión (P); Regulación (R); Cultural (C).

En los primeros años del MAF se pensó en instaurar agrobiodiversidad con fines alimentarios, sin embargo, en los últimos años se decidió incorporar especies que no aportan a la alimentación pero que tienen papales ecológicos relevantes para dar mayor estabilidad al sistema. Debido a lo anterior el incremento de especies vegetales como plantas medicinales, florales, mejoradoras de suelo, refugio de enemigos naturales y polinizadoras se ha realizado paulatinamente dentro del área destinada. Las plantas que se incluyen actualmente aportan al menos un servicio ambiental o ecosistémico específico. Existen familias taxonómicas que solo se observaron hasta que se instalaron plantas como hinojo, lantana, frijol ayocote, chí, zinnia, tepozán, dalias y otras florícolas. Los insectos de la familia Ichneumonidae y Braconidae pertenecen al Orden Hymenoptera, el cual contiene a la mayoría de especies de parasitoides, con las superfamilias Ichneumonoidea y Chalcidoidea (Barrera, 2020). Los dípteros también representan un grupo importante como parasitoides, de la misma manera los órdenes Coleoptera, Hymenoptera y Diptera incluyen a importantes agentes de control biológico (Zamorano, 2014). De la misma manera, se incorporaron plantas que son huéspedes florales de insectos polinizadores de las familias Papilionidae y Hesperidae del Orden Lepidoptera. Del orden Diptera sobresalen la familia Syrphidae (también reguladores biológicos) y Bombyliidae (moscas abejorro), debido a su importancia ecológica, de hecho, es un indicador biológico debido a que en el MAF no se utilizan insecticidas químicos para el manejo de insectos fitófagos. En este espacio es posible detectar abejas nativas como las de la familia Halictidae que se encuentran en *Dalia*, así como Apidae que es muy común en casi cualquier sistema. Como lo señala (Nicholls, 2008), uno de los grupos de insectos más importantes por su papel ecológico son los depredadores, parasitoides e hiperparasitoides, ya que son los que ejercen la regulación de poblaciones en el medio natural, pero también en los agroecosistemas.

Conclusiones

Los agroecosistemas de pequeña escala que mantienen un grado de diversidad de plantas y que son manejados mediante principios agroecológicos, aportan diferentes servicios ambientales o ecosistémicos. En este trabajo se ha enfatizado la ocurrencia y diversidad de insectos que aportan a la polinización y que se gestionan espacios no solo de alimentación, sino de refugio y de promoción de regulación de poblaciones. Un diseño diverso permite sinergias en el sistema y que en conjunto aporten a la gestión de procesos ecológicos. El inventario vegetal que compone el MAF se tiene como base para el diagnóstico futuro de la diversidad de insectos con mayor especificidad y determinar el papel ecológico e incluso las sinergias ecológicas.

Agradecimientos y Fuente financiadora

La autora agradece el financiamiento otorgado a través del proyecto “Agricultura familiar: base de la seguridad alimentaria” No. 11442034887. Recursos Fiscales INIFAP 2019-2022 y en la actualidad se continua con este proyecto permanente. Al trabajador de campo Salvador Hernández, estudiantes de diversas instituciones que con gran entusiasmo colaboran en la construcción diaria. También agradece a todas y todos los voluntarios que a través de los cursos apoyan en la conservación de este espacio. A los pobladores/as de las comunidades aledañas por su participación y su colaboración para compartir sus experiencias en el tema de agrobiodiversidad y agricultura familiar.

Referencias bibliográficas

- Barrera, J. F. (2020). Concepto, alcances e implicaciones del control biológico. En: Bernal, A., Maestro, H. C., Mejía, T., del Bosque, R., & Ángel, L. Fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades.
- Chero, J. C. B., & Ugaz, W. A. C. (2022). Valoración Económica de los servicios Ecosistémicos Área de Conservación Regional Moyán Palacio, región Lambayeque. UCV Hacer, 11(3), 33-40.
- Nicholls, C. I. (2008). Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico (Vol. 2). Universidad de Antioquia.
- Sarandón, S. J. (2020). Agrobiodiversidad, su rol en una agricultura sustentable. Biodiversidad, agroecología y agricultura sustentable, 13-36.
- Zamorano, P. (2014). Especies de insectos descritas en el año 2012: Una evaluación sobre el aporte de cada país a la biodiversidad entomológica mundial. Bol. SEA, 54, 459-466.





Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias



**Colegio de
Postgraduados**



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tema
forestal



4to Congreso
INTERAMERICANO
DE AGUA SUELO Y
AGROBIODIVERSIDAD
Ciudad de México, México | 11-15 de agosto 2021

EVALUACIÓN DE NIVEL DE SEVERIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA SELVA EL OCOTE, CHIAPAS, MÉXICO

Gerardo Colín-García^{1*}, Alma Liz Vargas-de la Mora¹, Manuel Jesús Castellanos-Vázquez², Adolfo López-Peréz³, Blanca Estela Santiago-Mejía⁴, Madai Sánchez-Galindo⁵
¹CIRPAS CE Centro de Chiapas, INIFAP. ²REBISO, CONANP. ³Postgrado de Hidrociencias, COLPOS.
⁴CIRNE CE Río Bravo, INIFAP. ⁵CIRGOC CE Cotaxtla, INIFAP
*Autor para correspondencia: colin.gerardo@inifap.gob.mx

Palabras clave. Áreas naturales protegidas, dNBR, imágenes satelitales.

Introducción

Un incendio forestal ocurre cuando el fuego se extiende de manera descontrolada y afecta a los bosques, selvas, así como, áreas con vegetación de zonas áridas y semiáridas. Actualmente, se han convertido en una preocupación importante para muchas regiones del mundo, debido a su incremento exponencial en términos de frecuencia e intensidad. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la superficie terrestre cubierta con áreas de bosque corresponde a 4.06 billones de hectáreas (30.06 %); sin embargo, se encuentran seriamente amenazados por el incremento en la deforestación, degradación e incendios forestales.

Para comprender la dinámica de los incendios forestales un recurso ampliamente utilizado es el análisis de imágenes satelitales, ya que permiten la visualización de áreas afectadas e identificar el nivel de severidad. Este proceso se realiza mediante la comparación en diferentes temporalidades del Índice de Área Quemada (NBR, por sus siglas en inglés), creado a partir de la combinación de bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés) e infrarrojo medio (SWIR, por sus siglas en inglés), este índice utiliza la correlación entre la severidad de un incendio de una zona determinada y su reflectancia, ya que la reducción de la densidad de vegetación y del contenido de clorofila provoca una disminución de la reflectancia en el NIR, mientras que la desecación de las hojas y la mayor exposición del suelo hacen que aumente la reflectancia en el SWIR R (Key & Benson, 2006).

En México, los bosques comprenden una superficie de 34.85 millones de hectáreas de acuerdo con Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), con una tasa de pérdida estimada en 208,746 ha año⁻¹ durante el 2001-2022, debido principalmente a la deforestación, cambio de uso de suelo e incremento de incendios forestales. El periodo de incidencia de estos últimos está comprendido principalmente entre los meses de marzo a junio antes del inicio de las lluvias, cuando el ambiente está seco y las temperaturas son elevadas. Particularmente, el estado de Chiapas ocupó el segundo lugar a nivel nacional en superficie afectada por incendios forestales durante el año 2024.

En la región de Valles Zoque del estado de Chiapas, continuamente se presenta un alto número de incendios ocasionado por las quemas agrícolas, los productores las realizan como una labor previa al establecimiento de nuevas áreas de cultivos y pastizales (Barrios-Calderón & Escobar-Flores, 2020). Sin embargo, en esta zona se localiza la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO) se resguarda una gran diversidad de ecosistemas y es un importante centro de recarga hídrica. Sin embargo, presenta una tendencia de incremento en la fragmentación forestal que compromete seriamente la sostenibilidad de sus recursos naturales (Escobar-Ocampo et al., 2023).

Objetivo

Determinar el nivel de severidad de los incendios forestales para el año 2024 en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO), Chiapas, mediante el empleo de índices espectrales de imágenes de satélite.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO) localizada en el noroeste del estado de Chiapas, México; comprende una superficie de 101,291.40 ha entre las coordenadas 16°45'40.10" a 17°08'55.77" de Latitud Norte y 93°21'43.50" a 93°54'25.19" de Longitud Oeste y se distribuye en los municipios de Ocozocoautla, Cintalapa, Jiquipilas, Mezcalapa y Berriozábal como se observa en la figura 1.

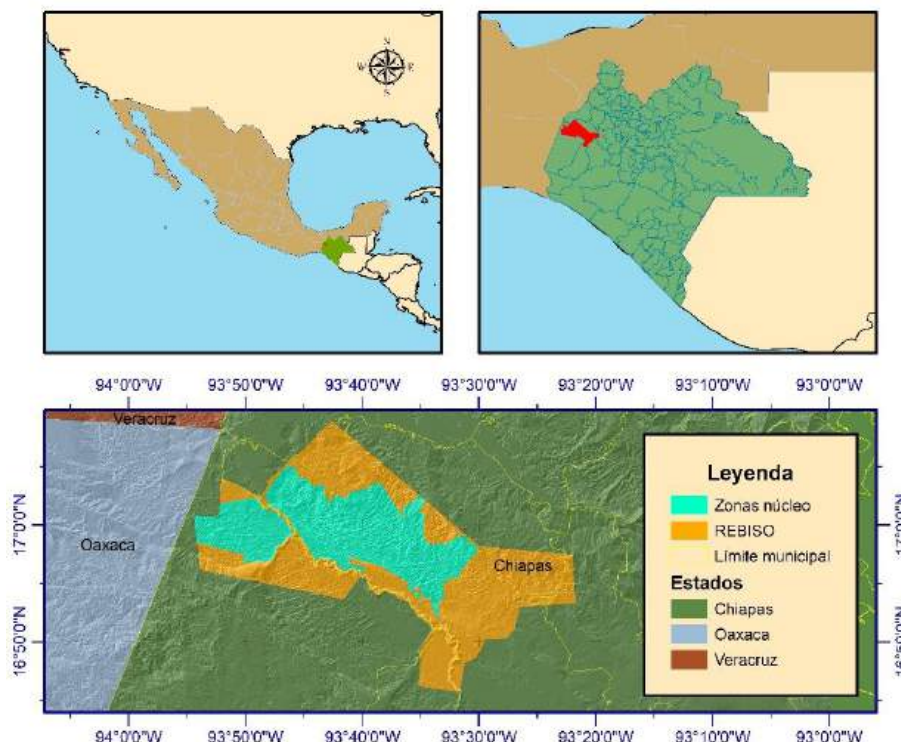


Figura 12. Localización de la REBISO, Chiapas, México.

La REBISO presenta un rango de elevación que varía desde 135.00 hasta 1,539.00 m con una altitud media de 749.88 m y presenta una pendiente media de 28.01% correspondiente a una zona con relieve escarpado. El clima predominante es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, la precipitación y temperatura media anual es de 1,526.45 mm y 21.84 °C, respectivamente. Los principales grupos de suelo de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en base al Sistema de Clasificación de la Base Referencial Mundial (WRB) de la FAO son Phaeozems (34.63 %), Leptosoles (26.42 %), Luvisoles (22.29 %), Alisoles (7.56 %), Lixisoles (7.11 %), Cambisoles (1.88 %), Plintsoles (0.09 %) y Vertisoles (0.03%). Además, con base en el Sistema de Monitoreo de Cambio en el Suelo de América del Norte (NALCMS) el bosque de latifoliadas caducifolio tropical o subtropical presenta una amplia dominancia ya que comprende el 72.98 % de la superficie, seguido de las zonas de uso agropecuario (pastizales y áreas de cultivo) con el 24.87 % y el área restante (2.15 %) está cubierta por bosque de latifoliadas perennifolio tropical o subtropical (1.09 %), asentamientos humanos (0.55 %), cuerpos de agua (0.30 %), y bosque de pino (0.05 %).

Para el análisis espacial del impacto de los incendios forestales desarrollados en el año 2024 se descargaron imágenes satelitales Sentinel 2 de la página oficial del sistema Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>) que cubren en su totalidad el área comprendida por la REBISO y corresponden a fechas antes del incendio (5 de marzo de 2024) y después del incendio (29 de mayo de 2024), ambas con un porcentaje de nubosidad menor al 25 %. Estas imágenes son de nivel de procesamiento 2A, que incluyen correcciones geométricas, radiométricas y atmosféricas; previo a su análisis, se remuestrearon a una resolución espacial de 10 m, para que todas las bandas tuvieran la misma resolución espacial.

El Índice de Área Quemada (NBR) para la REBISO se calculó a partir de la combinación de las bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) e infrarrojo medio (SWIR) mediante la Ecuación 1 utilizando el software Quantum GIS (Quantum Geographic Information System, versión 3.16.8, <https://www.qgis.org/>) (Key & Benson, 2006).

$$NBR = \frac{NIR - SWIR_2}{NIR + SWIR_2} \quad (1)$$

Posteriormente, se calculó el nivel de severidad del incendio con el índice dNBR mediante la Ecuación 2 que proporciona las diferencias entre la imagen satelital previa (5 de marzo) y posterior al incendio (29 de mayo).

$$dNBR = dNBR_{pre} - dNBR_{post} \quad (2)$$

En el Cuadro 5, se muestra la clasificación de los intervalos de dNBR de acuerdo con el nivel de severidad de los incendios forestales propuesto por Key & Benson (2006).

Cuadro 5. Nivel de severidad de incendios forestales de acuerdo con el dNBR.

Clase	Intervalo de dNBR	Nivel de severidad
1	< -0.25 a 0.10	Sin afectación o muy baja
2	0.10 a 0.27	Baja
3	0.27 a 0.44	Moderada
4	0.44 a 0.66	Alta
5	>0.66	Muy alta

Finalmente, se calcularon las geoestadísticas de los incendios forestales en la REBISO contabilizando la superficie en hectáreas para cada clase de severidad tomando en cuenta el número total de píxeles (count) y la resolución espacial de la imagen de satélite (10 m) mediante la Ecuación 3.

$$S_i = \frac{count_i \times 10 \times 10}{10000} \quad (3)$$

Resultados y Discusión

Los resultados del procesamiento del dNBR para el análisis del grado de severidad de los incendios forestales para el área comprendida por la REBISO indican que el 61.94 % de la superficie tiene un nivel de riesgo muy bajo o sin afectaciones. En contraste, el 0.49 % (499.76 ha) requiere intervención prioritaria por ser el área con nivel de afectación alta y muy alta. No obstante, el área afectada por incendios forestales corresponde al 38.06% de la superficie de la REBISO hasta el día 29 de mayo del 2024 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Superficie por categoría de nivel de severidad de los incendios forestales en la REBISO.

Clase	Nivel de severidad	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Sin afectación o muy baja	62,737.02	61.94
2	Baja	33,178.00	32.76
3	Moderada	48,76.66	4.81
4	Alta	488.1	0.48
5	Muy alta	11.66	0.01

Las áreas con algún nivel de afectación moderada (4.81 %) corresponden principalmente a zonas aledañas a las localidades con el mayor número de habitantes al oeste de la REBISO, en los municipios de Ocozacoautla de Espinosa y Berriozábal. Se observa que las zonas núcleo que comprenden una superficie de 13,695.05 ha y se caracterizan por contener una considerable riqueza de flora y/o fauna y por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida. Asimismo, se ellas se registran incendios en el 33.87 % de su superficie poniendo en riesgo considerable a estos ecosistemas. Además, al ser consideradas zonas núcleos no debería presentar incidencia de incendios derivados de actividades agropecuarias, ya que no está permitido realizar estas actividades en esos territorios, por lo cual, la preocupación principal radica en el nivel de severidad que, aunque predominantemente es severidad baja

bajo, existe un porcentaje relevante que va de severidad media a muy alta; como se observa en la Figura 13.

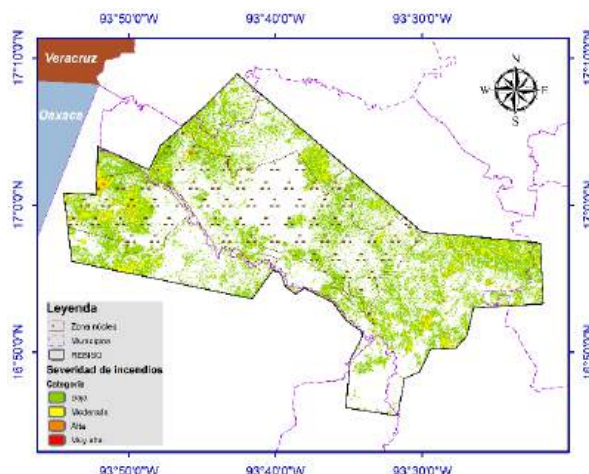


Figura 13. Nivel de severidad de los incendios forestales en la REBISO, Chiapas, México.

De manera general, los incendios forestales desempeñan un papel clave en la deforestación, especialmente en las áreas tropicales, su incremento impone un mayor riesgo de pérdida irreversible de bosques, convirtiendo a estos en ecosistemas cada vez más vulnerables a la degradación. Durante 2001 y 2018, Escobar-Ocampo et al. (2023) reporta una deforestación de 753 ha de bosque en el área comprendida por la REBISO y una tendencia de la fragmentación del bosque por el incremento de áreas de uso agropecuario. En este mismo periodo, en Latinoamérica el 40.1 % la superficie de bosque (3,393,250 ha) se incendió una sola vez, sin embargo, el 48 % de los bosques se han convertido a otros usos de suelo, principalmente pastizales (Armenteras et al., 2021).

Anteriormente, la REBISO ha presentado diversas temporadas de incendios con niveles altos de severidad, por lo cual se les considera como el principal factor en la pérdida de la superficie de los bosques y la principal causa se atribuye a las quemas agropecuarias. Sin embargo, en entrevistas realizadas a productores de la región al menos el 45 % admiten desconocer las técnicas y procedimientos adecuados para llevarlas a cabo (Barrios-Calderón & Escobar-Flores, 2020), factor clave considerando que el 24.87 % de la superficie presenta uso de suelo agropecuario.

Históricamente el fuego ha sido utilizado para la apertura de nuevas áreas de producción como una labor necesaria para la agricultura, dado que, desde la perspectiva campesina es útil para mejorar la fertilización natural del cultivo y el control de plagas en la ganadería extensiva. Por lo cual, bajo este contexto las políticas sobre el uso del fuego han cursado de un sistema cultural de labor previo al cultivo hacia un sistema prohibitivo y de supresión. A partir del 2001, la FAO en conjunto con instituciones internacionales ha desarrollado una política sobre el Manejo de los Incendios Forestales y aplicada principalmente en las Áreas Naturales Protegidas (ANP); aunque este cambio ha impulsado estrategias de control y prevención del fuego a través de la colaboración comunitaria, el problema central no se ha solucionado, debido a que el productor aun considera a las quemas agrícolas como una actividad esencial durante el proceso de producción de sus cultivos y pastizales (

Figura 14).

En este sentido, el productor realiza la quema agrícola de manera anual en la agricultura para el establecimiento de cultivos básicos, principalmente maíz y frijol. Además, en la ganadería esta práctica suele llevarse a cabo con menor frecuencia, en promedio varía de dos a tres años. Sin embargo, un grupo de productores están transitado hacia un manejo silvopastoril dejando atrás esta práctica y acogiendo un manejo ambientalmente amigable (Gutiérrez Navarro et al., 2017).



Figura 14. Combate a los incendios forestales en la REBISO, Chiapas, México.

Conclusiones

Los incendios forestales en la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO) causaron un deterioro significativo de la vegetación, con pérdidas considerables de flora y fauna, en una extensa área de territorio. Las diferencias obtenidas con el índice dNBR a partir de imágenes de satélite previa (5 de marzo de 2024) y posterior (29 de mayo de 2024) indican que al menos el 38.06 % de la superficie presenta algún nivel de severidad de bajo a muy alto. Por lo cual, la ubicación espacial del nivel de severidad puede emplearse como un instrumento para las instituciones gubernamentales que participan en la toma de decisiones sobre las diferentes acciones de sensibilización y manejo integral del fuego. Por lo tanto, se concluye que el manejo adecuado de las imágenes satelitales, mediante la aplicación de índices espectrales como el análisis de severidad de incendios permite la ejecución de acciones ante estos eventos a corto tiempo, así como, ubicar espacialmente las áreas con mayores impactos. Además, los resultados podrían proporcionar información valiosa a los tomadores de decisiones en el monitoreo de incendios forestales para identificar áreas con mayor susceptibilidad a los incendios forestales.

Agradecimientos

Al personal de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO) y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) por el financiamiento del proyecto de investigación titulado “Estudio de límite de cambio aceptable para la planeación y regulación de uso de suelo y las actividades productivas”

Referencias bibliográficas

- Armenteras, D., Dávalos, L. M., Barreto, J. S., Miranda, A., Hernández-Moreno, A., Zamorano-Elgueta, C., González-Delgado, T. M., Meza-Elizalde, M. C., & Retana, J. (2021). Fire-induced loss of the world's most biodiverse forests in Latin America. *Science Advances*, 7(33), 3357–3370. https://doi.org/10.1126/SCIADV.ABD3357/SUPPL_FILE/SCIADV.ABD3357_SM.PDF
- Barrios-Calderón, R. de J., & Escobar-Flores, R. E. (2020). Análisis de la problemática de los incendios forestales y sus implicaciones en la pérdida de cobertura forestal en Cintalapa, Chiapas. *Revista de Geografía Agrícola*, 65, 63–83. <https://doi.org/10.5154/R.RGA.2020.65.04>
- Escobar-Ocampo, M. C., Castillo-Santiago, M. Á., Escobar-Flores, R. E., & Chanona-Pérez, S. P. (2023). Cambios en el uso del suelo y su impacto en la conectividad del paisaje en el corredor Selva El Ocote-Finca El Corinto. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945151–e945151. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2023.94.5151>
- Gutiérrez Navarro, A., García Barrios, L. E., Parra Vázquez, M., Rosset, P., Gutiérrez Navarro, A., García Barrios, L. E., Parra Vázquez, M., & Rosset, P. (2017). De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas: perspectivas campesinas. *Región y Sociedad*, 29(70), 31–70. <https://doi.org/10.22198/RYS.2017.70.A329>
- Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment: Sampling and Analysis Methods. FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. <https://research.fs.usda.gov/treearch/24066>

DENSIDAD Y MORFOLOGÍA DE LA FIBRA DE LA MADERA DE *Eucalyptus urophylla* EN EL SURESTE DE MÉXICO

Secundino Torres-Lamas^{1*}, Pablo Martínez-Zurimendi², Marynor Elena Ortega-Ramírez³, Manuel Jesús Cach-Pérez², Marivel Domínguez-Domínguez⁴

¹INIFAP, CE Chetumal. ²El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. ³Universidad Politécnica de Huatusco. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco

*Autor para correspondencia: torres.secundino@inifap.gob.mx

Palabras clave. Anatomía de madera, calidad de madera, mejoramiento genético forestal.

Introducción

La producción mundial de madera en rollo ha mostrado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, incrementándose de 3,543 millones de m³ en 1990 a 4,000 millones en 2022. Se estima que la demanda global continuará en aumento en los próximos años. Ante este panorama, México tiene una oportunidad estratégica para posicionarse como un exportador relevante de productos derivados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, una especie que ha mostrado excelente adaptación y amplio establecimiento en regiones tropicales del país, particularmente en el sureste. La madera de *E. urophylla* es adecuada para la producción de pulpa papelera, madera aserrada y carbón vegetal (Furlan et al., 2020). Actualmente, su principal uso en México es en la fabricación de tableros de fibra de densidad media (MDF); sin embargo, en el sureste ha surgido un creciente interés por diversificar sus aplicaciones con el fin de incrementar su valor agregado. En este contexto, las propiedades de la madera son un componente estratégico en los programas de mejoramiento genético. Las más relevantes son la densidad de la madera y la morfología de la fibra. La densidad incide directamente en el rendimiento de pulpa, la calidad del papel y la eficiencia en la producción de carbón, mientras que la morfología de las fibras influye en las propiedades físicas y mecánicas de los productos derivados. En México, la densidad ha sido la propiedad más estudiada, aunque las evaluaciones se han enfocado principalmente en árboles jóvenes de entre uno y tres años de edad. En contraste, la morfología de las fibras aún no ha sido investigada.

Objetivo

Evaluar la variación en la densidad de la madera y morfología de la fibra (longitud, diámetro, diámetro del lumen y grosor de la pared celular) en árboles de 26 clones de *Eucalyptus urophylla* establecidos en el sureste de México.

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo en Huimanguillo Tabasco. Para ello, de un ensayo clonal de seis años de edad, se seleccionaron aleatoriamente 78 árboles pertenecientes a 26 clones de *Eucalyptus urophylla*. A los árboles en pie se le midió el diámetro a la altura del y pecho (DAP). La altura total se registró después del derribo de los árboles. De cada árbol se extrajeron cuatro rodajas tomadas a 0.30 m, 1.30 m, 50 % y 75% de la altura total. En el laboratorio, se obtuvieron 624 probetas de 2 x 2 x 2 cm de la médula y la albura. La densidad de la madera se determinó de acuerdo con la norma ASTM D2395-14 (2014), sumergiendo las probetas en agua por siete días para calcular su volumen verde (Vv). Luego, se secaron a 70 °C hasta peso constante (Po) y se calculó la densidad como la relación entre Po y Vv. Para la morfología de la fibra, de cada probeta se tomaron 35 g de astillas. Las astillas se colocaron en un frasco con cierre hermético. Cada frasco se aforó con 10 ml de ácido acético y 10 ml de peróxido de hidrógeno, posteriormente los frascos se colocaron en una estufa de secado a temperatura de 60 °C por 48 horas. Las fibras obtenidas se tiñeron con Pardo de Bismarck al 1 % y separaron con un agitador magnético. Las fibras se visualizaron con un microscopio óptico marca Velab, utilizando el objetivo de 10x para obtener mayor detalle. Se capturaron imágenes de 20 fibras por cada probeta, analizando un total de 12,480 fibras. Se midió su longitud, amplitud, lumen y grosor de la pared con el software ImageJ. A partir de estas mediciones se realizó una ponderación para obtener un valor promedio por árbol tanto para la densidad de la madera como para las características morfológicas de las fibras. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre clones para todas las variables. Previo a los análisis se corroboraron los

supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, cuando los datos no fueron normales se utilizó la prueba no paramétrica ART anova. Las medias se compararon con la prueba de Tukey.

Resultados y Discusión

Se observaron diferencias significativas (cuadro 1) entre clones y entre posiciones radiales (médula y albura) para todas las variables evaluadas ($p < 0.05$).

Cuadro 7. Densidad básica, longitud de fibra y diámetro de fibra en la médula y la albura de la madera de 26 clones de *Eucalyptus urophylla* a los seis años de edad.

Clon	Densidad (kg m ⁻³)		Longitud de fibra (μm)		Diámetro de fibra (μm)	
	Médula	Albura	Medula	Albura	Médula	Albura
F1	483.3 aB	518.2 aA	937.2 aB	1092.7 bA	16.7 cB	19.1 aA
F2	459.4 aB	488.4 bA	947.1 aB	1062.9 cA	18.1 aB	19.1 aA
F3	434.3 bB	465.3 cA	922.7 bB	1087.5 bA	16.7 cB	18.4 cA
F4	395.3 fB	525.0 aA	938.4 aB	1190.1 aA	18.2 aB	20.5 aA
F5	445.9 aB	500.3 bA	895.1 cB	1060.9 c A	17.6 bB	19.3 aA
F6	490.4 aA	488.3 bA	931.3 bB	1062.7 cA	17.8 aB	18.8 aA
F7	426.4 cB	500.0 bA	931.2 bB	1128.1 aA	18.7 aB	19.5 aA
F8	423.2 cB	479.6 bA	962.3 aB	1071.3 bA	18.3 aB	18.7 bA
F9	455.5 aB	474.5 bA	975.4 aB	1093.8 bA	16.2 dB	18.1 eA
F10	414.3 eB	517.6 aA	940.1 aB	1146.2 aA	18.8 aB	19.9 aA
F11	435.7 bB	505.7 aA	1006.4 aB	1122.3 aA	17.8 aB	19.2 aA
F12	458.3 aB	470.0 bA	888.7 dB	1102.5 bA	17.1 bB	20.4 aA
F13	454.0 aB	494.6 bA	947.6 aB	1112.9 aA	17.2 bB	18.2 dA
F14	443.3 bB	471.9 bA	996.1 aB	1072.0 bA	18.1 aB	18.8 aA
F15	469.6 aB	533.4 aA	965.0 aB	1123.0 aA	17.8 aB	20.0 aA
F16	466.8 aB	479.7 bA	929.7 bB	1043.6 dA	17.1 bB	18.1 eA
F17	435.6 bB	501.7 bA	999.3 aB	1141.5 aA	19.5 aB	20.7 a A
F18	442.0 bB	485.3 bA	1030.0 aB	1157.1 aA	17.1 bB	19.7 aA
F19	440.2 bB	500.2 bA	926.1 bB	1076.2 bA	17.6 aB	18.9 aA
F20	445.9 aB	494.7 bA	885.8 dB	1082.7 bA	15.9 eB	17.0 fA
F21	417.4 dA	535.1 aA	943.3 aB	1136.9 aA	17.1 bB	18.6 bA
F22	429.1 cB	448.8 eA	869.5 eB	955.9 fA	18.5 aB	19.0 aA
F23	477.1 aB	542.3 aA	891.1 dB	1089.0 bA	16.8 bB	18.3 dA
F24	466.4 aA	459.7 dA	919.4 bB	1037.8 eA	18.1 aB	20.2 aA
F25	431.9 bB	440.5 fA	914.3 bB	1037.5 eA	17.0 bB	19.0 aA
F26	457.7 aB	536.2 aA	988.1 aB	1140.4 aA	18.1 aB	19.2 aA

Las letras minúsculas indican diferencia estadística entre clones por sección radial, las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre la madera de la médula y la albura, ambas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

La densidad de la madera varió de muy liviana (≤ 500 kg m⁻³) a liviana (510 kg m⁻³- 650 kg m⁻³). La densidad fue mayor en la albura que en la médula en todos los clones. Los valores en médula oscilaron entre 395.3 kg·m⁻³ (F4) y 490.4 kg·m⁻³ (F6), mientras que en albura se encontraron valores entre 440.5 kg·m⁻³ (F25) y 542.3 kg·m⁻³ (F23). Los clones con mayor densidad en la albura fueron F15, F21, F23 y F26, todos con valores superiores a 530 kg·m⁻³. Los valores de densidad estuvieron dentro de los valores típicos de madera de especies de *Eucalyptus* de rápido crecimiento, fueron similares a las reportadas por Carrillo *et al.* (2017), quienes informaron densidades de 408 a 540 kg m⁻³ para *Eucalyptus globulus* Labill., y de 432 a 558 kg m⁻³ para *Eucalyptus nitens* Maiden de seis años de edad en Chile. Con relación a la longitud de la fibra, se observaron incrementos consistentes desde la médula hacia la albura. Los valores en médula oscilaron entre **869.5 μm** (F22) y **1030.0 μm** (F18), mientras que en albura se registraron valores entre **955.9 μm** (F22) y **1190.1 μm** (F4). El clon F4 presentó la mayor longitud de fibra en la albura, seguido por F18, F17 y F10. Estas longitudes se consideran cortas (≤ 1200 μm) (Sadiku y Micheal 2022) y estuvieron dentro del

rango estimado para especies del género, superando las observadas en *E. globulus* (510 a 880 μm) y *E. nitens* (550 a 730 μm) a los seis años en Chile (Carrillo *et al.*, 2017). El diámetro de fibra mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre clones y en la posición radial. En todos los casos, las fibras en la albura fueron más gruesas que en la médula. En la médula, los diámetros oscilaron entre 15.9 μm (F20) y 19.5 μm (F17), mientras que en la albura variaron de 17.0 μm (F20) a 20.7 μm (F17). Los clones F4, F12, F15, F17 y F24 presentaron los mayores diámetros en albura ($\geq 20.0 \mu\text{m}$), lo que sugiere su potencial para usos industriales que requieren fibras más gruesas. Por el contrario, clones como F3, F9 y F20 mostraron los diámetros más bajos en ambas zonas. El diámetro de la fibra fue similar al del híbrido *E. grandis* $\times$ *E. urophylla* que mostró valores de diámetro en el rango de 19.98 μm a 20.18 μm a los 5.6 años en Brasil (Quilhó *et al.*, 2006). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el lumen de la fibra y el grosor de la pared celular entre la madera de médula y albura en los 26 clones de *Eucalyptus urophylla* (cuadro 2).

Cuadro 8. Lumen y grosor de la pared de la fibra en madera de médula y albura de 26 clones de *Eucalyptus urophylla* de seis años de edad en el sureste de México.

Clon	Lumen de la fibra (μm)		Grosor de la pared celular (μm)	
	Médula	Albura	Médula	Albura
F1	9.2 aB	10.5 aA	3.8 bB	4.3 bA
F2	10.6 aB	10.9 aA	3.8 cB	4.1 dA
F3	10.0 aB	10.5 aA	3.4 gB	3.9 fA
F4	10.6 aB	10.9 aA	3.8 bB	4.8 aA
F5	8.7 cB	9.5 cA	4.4 aB	4.9 aA
F6	9.9 aB	10.6 aA	4.0 aB	4.2 dA
F7	9.5 aB	9.9 cA	4.6 aB	4.8 aA
F8	10.4 aA	10.0 aB	3.9 aB	4.4 aA
F9	9.1 aB	9.8 cA	3.6 eB	4.2 dA
F10	10.0 aA	9.9 bA	4.4 aB	5.0 aA
F11	9.8 aB	10.3 aA	4.0 aB	4.5 aA
F12	9.9 aB	11.5 aA	3.6 eB	4.5 aA
F13	8.4 dB	8.9 dA	4.4 aB	4.7 aA
F14	10.4 aB	10.7 aA	3.9 aB	4.1 dA
F15	9.3 aB	9.9 bA	4.3 aB	5.0 aA
F16	8.6 cA	8.4 fB	4.2 aB	4.8 aA
F17	10.6 aB	10.9 aA	4.5 aB	5.0 aA
F18	9.6 aB	10.9 aA	3.7 dB	4.4 aA
F19	10.0 aB	10.3 aA	3.8 bB	4.3 bA
F20	8.2 eB	8.8 eA	3.9 aB	4.1 dA
F21	10.1 aA	9.9 bB	3.5 fB	4.3 bA
F22	9.7 aA	9.7 cA	4.4 aB	4.7 aA
F23	8.9 bB	9.5 cA	3.9 aB	4.4 aA
F24	10.4 aB	11.6 aA	3.8 bB	4.3 bA
F25	10.2 aB	10.9 aA	3.4 fB	4.0 eA
F26	9.8 aB	10.3 aA	4.1 aB	4.5 aA

Las letras minúsculas indican diferencia estadística entre clones por sección radial, las letras mayúsculas indican diferencias significativas entre la madera de la médula y la albura, ambas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

En general, el lumen de la fibra fue mayor en la albura que en la médula en la mayoría de los clones, destacando los clones F12 (11.5 μm) y F24 (11.6 μm) con los valores más altos en albura, mientras que el clon F20 presentó los valores menores en ambos tejidos. En contraste, el clon F8 presentó un comportamiento inverso, con un lumen ligeramente mayor en médula que en albura. El diámetro de la fibra se asemejó al reportado por Quilhó *et al.* (2006) para el híbrido *E. grandis* $\times$ *E. urophylla*, los autores observaron valores de diámetro en el rango de 19.98 μm a 20.18 μm a los 5.6 años de edad. Respecto al grosor de la pared celular, también se encontraron valores consistentemente mayores en la albura que en la médula. Los clones F10, F15 y F17 destacaron por presentar los mayores espesores en albura (5.0 μm),

mientras que los clones F3 y F25 mostraron los menores valores en médula (3.4 μm). Los valores del grosor de la pared celular fueron similares a los observados por Mauri *et al.* (2017) para el híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* de seis años de edad en Brasil, lo autores reportaron valore de 3.41 μm a 3.91 μm .

Conclusiones

Los 26 clones de *Eucalyptus urophylla* evaluados mostraron variabilidad significativa en la densidad y la morfología de la fibra, lo que permite su aprovechamiento en distintos sectores industriales. Clones con fibras más largas y anchas son adecuados para la producción de papel y tableros MDF. Los clones con las paredes celulares más gruesas podrían destinarse para la producción de carbón vegetal o usos estructurales. Estas diferencias respaldan la selección específica según el uso final. El estudio confirma el valor del mejoramiento genético para diversificar aplicaciones industriales de la madera de esta especie.

Agradecimientos

A la empresa Forestaciones operativas de México S.A de C.V. por las facilidades otorgadas para la realización del trabajo.

Fuente financiadora

Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, CONAFOR-CONACYT, a través del proyecto A3-S-130398 "Evaluación temprana de ensayos progenies y clonales de la especie *Eucalyptus urophylla* utilizada en las plantaciones forestales comerciales de la empresa Forestaciones Operativas de México SA de CV en el estado de Tabasco.

Referencias bibliográficas

- Carrillo, I., Valenzuela, S., & Elissetche, J. P. (2017). Comparative evaluation of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* wood and fibre quality. *IAWA Journal*, 38(1), 105–116. <https://doi.org/10.1163/22941932-20170160>
- Furlan RA, Moraes CB, Tambarussi EV (2020) Genetic parameters of *Eucalyptus* spp. clones in Northeastern Brazil. *Floresta* 50(2):1267-1278. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i2.62524>
- Mauri, R., Alves, J. de A., Oliveira, J. T. da S., Lima, J. T., Tomazello Filho, M., & Calegario, N. (2017). Morfologia das fibras do lenho de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes topografias e altitudes. *Scientia Forestalis*, 45(113), 77–87. <https://doi.org/10.18671/scifor.v45n113.07>
- Quilhó, T., Miranda, I., & Pereira, H. (2006). Within-tree variation in wood fibre biometry and basic density of the urograndis eucalypt hybrid (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*). *IAWA Journal*, 27(3), 243–254. <https://doi.org/10.1163/22941932-90000152>
- Sadiku, N. A., & Micheal, C. M. (2022). Fibre sourcing for the Nigerian pulp mills: Evaluation of suitability indices of selected Nigerian rainforest wood fibres. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 9(2), 135–146. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2022.9.2.135-146>

ECUACIONES ALOMÉTRICAS ADITIVAS PARA ESTIMAR LA BIOMASA AÉREA DE *Lysiloma latisiliquum* (L.)

Martín Aquino-Ramírez^{1*}, Rolando Misael Tlaxcala-Méndez², Julio Cesar Ríos-Saucedo³, Ramiro Puc-Kauil³, Jerónimo Sepúlveda-Vázquez¹

¹INIFAP CIR-Sureste CE Edzná. ²INIFAP CIR-Golfo Centro CE El Palmar. ³INIFAP CIR-Norte Centro CE Valle del Guadiana

*Autor para correspondencia: martin.aquino.forestal@gmail.com

Palabras clave. Alometría, biomasa, errores aditivos.

Introducción

Debido al cambio climático, en las últimas décadas ha aumentado la necesidad de disponer de información sobre la cantidad de biomasa vegetal presente en un ecosistema determinado y requiere estimaciones fiables de las reservas de carbono en diferentes ecosistemas forestales. La biomasa forestal es uno de los indicadores básicos para la medición del carbono almacenado, especialmente cuando se trata a nivel de árbol. Por lo tanto, estimar la biomasa de los bosques con precisión es fundamental para evaluar la función ecológica, lo que permite tomar medidas proactivas contra el cambio climático e informar el desarrollo de políticas para mejorar el medio ambiente. Frecuentemente para estimar la biomasa a nivel de árbol se ha empleado ecuaciones alométricas específicas o para grupos de especies, que incorporan parámetros del árbol fácil de medir en campo como variables predictoras, por ejemplo, la altura total del árbol, el diámetro normal y la densidad específica de la madera. En la Península de Yucatán diferentes ecuaciones alométricas han sido generadas para grupos de especies de árboles tropicales en los estados de Quintana Roo y Yucatán. Sin embargo, la información de la distribución de biomasa hacia los componentes estructurales de los árboles tropicales es desconocida, puesto que estas ecuaciones fueron desarrolladas para estimar solamente la biomasa aérea total.

Lysiloma latisiliquum (L.) Benth. (conocida localmente como Tzalam) es una especie arbórea de importancia ecológica por su dominancia y abundancia en las selvas del estado de Yucatán. Además, es aprovechada por las comunidades locales para la obtención de madera, leña y carbón. La cuantificación de la biomasa aérea de árboles de *Lysiloma latisiliquum* permitirá determinar sus contribuciones en la captura y almacenamiento de CO₂, lo cual podrá representar un beneficio adicional para ejidos y comunidades del sur de Yucatán, bajo esquemas de pago por servicios ambientales.

Objetivo

Desarrollar ecuaciones alométricas aditivas para estimar la biomasa por componente estructural y total de *Lysiloma latisiliquum* en una selva mediana subperennifolia del ejido Sudzal Chico en el sur de Yucatán, México.

Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en el área de aprovechamiento forestal del ejido Sudzal Chico, municipio de Tekax, Yucatán (figura 1). Un muestreo selectivo y destructivo fue aplicado a 30 individuos de Tzalam en el mes de febrero de 2025. Los individuos seleccionados fueron aquellos que no mostraron la presencia de plagas ni enfermedades y que no presentaran algún daño físico o mecánico. El clima se clasifica como Aw0 (w), cálido subhúmedo con lluvias en verano y bajo porcentaje de lluvias invernales. El tipo de suelo que predomina en el área son leptosoles, con poca profundidad y alta pedregosidad. El diámetro normal (Dn) de cada ejemplar fue medido con una cinta diamétrica modelo 283D/10 *Forestry Supplier* a una altura de 1.30 m desde el nivel del suelo y la altura total (HT) fue obtenida con cinta métrica una vez derribado el árbol. Cada individuo fue separado en tres componentes estructurales: fuste, ramas y hojas. El peso fresco total de cada componente fue obtenido *in situ* con una báscula digital Torrey modelo PCP250 de 250 kg y una precisión de ± 0.5 kg. El fuste fue seccionado en trozas de 2.0 m de longitud desde la base hasta la punta o hasta la primera bifurcación del árbol, y en la base de cada una de ellas se obtuvo una rodaja de aproximadamente de 5.0 cm de grosor. En tanto, para las ramas se obtuvo una rodaja en la parte baja, media y alta de la copa y tres muestras aleatorias de 1.0 kg para las hojas. Todas rodajas y muestras fueron

pesadas en campo para obtener los pesos frescos con una báscula electrónica (TECNOCOR modelo COR-30) y precisión de ± 5 g. Finalmente, todas las muestras fueron transportadas al laboratorio donde fueron secadas a 105 °C en una estufa VWR 1350 FD hasta lograr un peso constante. La biomasa de cada componente fue determinada con el factor promedio resultante de la relación peso seco/peso fresco de las muestras tomadas de cada componente y luego se multiplicó por el peso fresco correspondiente a todo el componente. La biomasa aérea total (BT) de cada individuo fue obtenido como la suma de la biomasa del fuste (Bf), ramas (Br) y hojas (Bh). Dos modelos alométricos comúnmente usados en el área forestal fueron seleccionados para estimar BT o la biomasa de cualquiera de los componentes estructurales del árbol de *L. latifolium*. Estos modelos incluyen al Dn y HT o la combinación de ambas variables de la siguiente forma: 1) $B = \exp[-\beta_0 + \beta_1 \ln(Dn) + \beta_2 \ln(HT)] + \epsilon_i$ y 2) $B = \exp[-\beta_0 + \beta_1 \ln(Dn^2 HT)] + \epsilon_i$, donde B=biomasa total o de cualquier componente estructural del árbol (kg), Dn=diámetro normal (cm), HT=altura total (m), β_0 , β_1 , β_2 =coeficientes de regresión y ϵ_i = error aleatorio. La propiedad de aditividad se garantizó al desarrollar dos sistemas de modelos alométricos basados en los modelos 1 y 2, en donde la biomasa aérea total fue expresada como la suma de las ecuaciones de todos los componentes estructurales del árbol (Bi et al. 2015). Los coeficientes de las ecuaciones de cada sistema fueron estimados simultáneamente empleando el Método Generalizado de Momentos (MGM) con el procedimiento PROC MODEL del programa SAS/ETS® (SAS, 2004). El MGM es útil para obtener estimaciones de parámetros eficientes en un sistema de ecuaciones con términos de error heterocedástico sin especificar su naturaleza. El desempeño de los modelos en cada sistema se evaluó con base en estadísticos de bondad de ajuste como el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), la raíz del cuadrado medio del error (RMSE, kg) y el error medio absoluto (EMA).

Resultados y Discusión

Las características dasométricas y los valores de peso seco en los diferentes componentes estructurales de *L. latifolium* son presentados en el cuadro 1. La proporción promedio de biomasa en el fuste tuvo una amplitud de 70.97% a 46.06% en las categorías diamétricas de 10 a 25 cm y fue disminuyendo de 39.02% a 33.34% en las categorías diamétricas de 30 a 35 cm. En tanto, en categorías diamétricas de 10 y 15 cm el porcentaje medio de biomasa se encontraron de 27.08 a 30.60 en ramas y fue incrementando de 51 hasta un 63.76 en categorías de 20 a 35 cm. El porcentaje medio de biomasa asignado en hojas fue similar en todas las categorías diamétricas encontrándose valores de 1.23 a 2.90 (cuadro 2).

Cuadro 1. Características dasométricas y pesos secos de los componentes estructurales de los árboles derribados de *L. latifolium* en una selva mediana subperennifolia del ejido Sudzal Chico, Yucatán, México.

Estadístico	Dn(cm)	H(m)	Bf(kg)	Br(kg)	Bh(kg)	Bt(kg)
Mínimo	9.68	7.9	12.69	2.80	0.23	20.12
Máximo	37.20	21.5	349.74	861.80	29.95	1104.20
Media	21.72	16.20	128.82	172.22	6.98	308.02
CV	40.97	18.36	76.01	118.70	120.95	92.86

CV = coeficiente de variación (%).

El aporte relativo de las ramas a la BT fue mayor con el incremento del diámetro, lo que indica que los árboles invierten una mayor proporción de biomasa en ramas que la del fuste como una estrategia de crecimiento para competir con los árboles vecinos al crecer en altura y expandir el área de la copa para acceder a recursos limitantes y sombrear a sus competidores (Dimobe *et al.*, 2018). Los parámetros estimados, el error estándar y el nivel de confiabilidad de los estimadores son presentados el cuadro 3, donde se puede observar que, en todos los casos estos estimadores son altamente significativos para el S2, mientras en el S1 algunos parámetros no fueron significativos ($p > 0.05$).

Cuadro 2. Distribución de biomasa aérea (%) en los componentes aéreos para las diferentes categorías diamétricas de *L. latisiliquum* en una selva mediana subperennifolia del ejido Sudzal Chico, Yucatán, México.

CD	Componente estructural (%)		
	Fuste	Ramas	Hojas
10	70.97	27.08	1.95
15	67.59	30.60	1.81
20	47.62	51.15	1.23
25	46.06	52.01	1.93
30	39.02	58.82	2.16
35	33.34	63.76	2.90
Promedio	50.77	47.24	2.00

CD = categoría diamétrica.

Cuadro 3. Parámetros estimados de las ecuaciones alométricas aditivas para estimar la biomasa de los componentes estructurales de *Lysiloma latisiliquum*.

SE	Componente del árbol	Par.	Est.	E.E.	Valor t	Pr > t	R ² adj	RMSE	EMA
S1	Fuste	β_{10}	1.947882	1.1023	1.77	0.0885	0.7895	44.9	29.1
		β_{11}	4.865308	1.5705	3.10	0.0045			
		β_{12}	9.386188	1.4952	6.28	<.0001			
	Ramas	β_{20}	1.61003	0.2087	7.72	<.0001	0.8384	82.1	58.4
		β_{21}	0.621913	0.5422	1.15	0.2614			
		β_{22}	3.112917	0.3161	9.85	<.0001			
	Hojas	β_{30}	-0.00538	0.6242	-0.01	0.9932	0.9059	2.5	1.8
		β_{31}	3.161694	0.3098	10.20	<.0001			
		β_{32}	0.392976	0.6099	0.64	0.5248			
	Total						0.9549	60.7	44.6
S1	Fuste	β_{10}	2.536113	0.5191	4.89	<.0001	0.7865	45.2	28.4
		β_{11}	0.81078	0.0604	13.42	<.0001			
	Ramas	β_{20}	7.579645	0.6940	10.92	<.0001	0.8270	80.0	55.2
		β_{21}	1.371294	0.0752	18.24	<.0001			
	Hojas	β_{30}	10.33636	0.9708	10.65	<.0001	0.8756	2.9	1.7
		β_{31}	1.323864	0.0980	13.51	<.0001			
	Total						0.9392	60.5	41.6

S.E.= Sistema de ecuaciones alométricas; Par = Parámetros del modelo; Est. = valor de los parámetros estimados; E.E. = Error estándar aproximado; Sx=error estándar; $\bar{E}$ = sesgo promedio.

Las ecuaciones de distribución de biomasa en los dos sistemas presentaron coeficientes de R²adj superiores a 0.78, siendo los más altos para ramas y hojas y el más bajo en el fuste; mientras que para la Bt fueron de superiores a 0.93 (cuadro 3). Los resultados de bondad de ajuste indicaron que las ecuaciones alométricas del S2 presentaron valores más bajos de RMSE (< 80kg) y EMA (< 41). La capacidad predictiva de las ecuaciones alométricas aditivas frente a los valores observados manifestó un comportamiento muy aceptable (figura 1). La ecuación de Bt seleccionada en este estudio muestra un excelente ajuste con una R²adj = 0.94 y cumple la propiedad de aditividad al estimar los componentes de los árboles y la biomasa total a través de un sistema de ecuaciones alométricas como lo sugiere Wang *et al.* (2018).

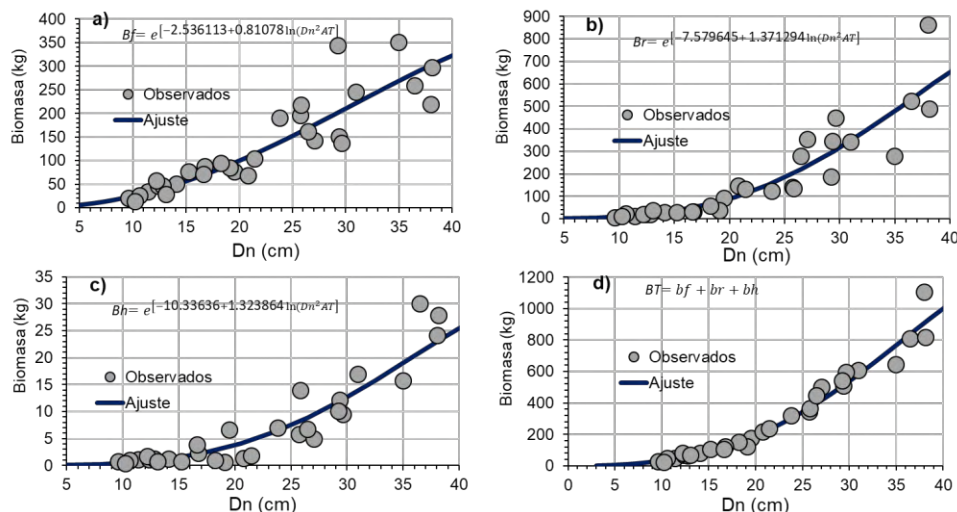


Figura 1. Valores observados de a) biomasa del fuste, b) biomasa de ramas, c) biomasa hojas y d) biomasa total versus curvas de predicción generadas a partir de las ecuaciones alométricas aditivas del S_2 para *Lysiloma latisiliquum*.

Conclusiones

Las ecuaciones alométricas generadas proporciona estimaciones confiables de biomasa aérea que garantizan la aditividad entre los componentes estructurales de *L. latisiliquum*, lo cual permitirá su aplicación en futuros estudios, como en el contexto de esquemas de pago por servicios ambientales, sin la necesidad de utilizar procedimientos destructivos.

Agradecimientos y fuente financiadora

El presente trabajo se realizó con financiamiento de recursos externos INIFAP a través del proyecto “Transferencia de tecnología en la producción de carbón vegetal con el horno metálico tipo CEVAG (NCPA Sudzal Chico)” con número de registro SIGI: 3-1.6-437635545-F-M.2-2.

Referencias bibliográficas

- Bi, H., Murphy, S., Volkova, L., Weston, C., Fairman, T., Li, Y., Law, R., Norris, J., Lei, X., & Caccamo, G. (2015). Additive biomass equations based on complete weighing of sample trees for open eucalypt forest species in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 349 (1),106-121. doi: 10.1016/j.foreco.2015.03.007
- Dimobe, K., Mensah, S., Goetze, D., Ouédraogo, A., Kuyah, S., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2018). Aboveground biomass partitioning and additive models for *Combretum glutinosum* and *Terminalia laxiflora* in West Africa. *Biomass and Bioenergy*, 115(1), 151-159. doi: 10.1016/j.biombioe.2018.04.022
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/ETS® 9.1 User's Guide. Cary, NC. 2416 p.
- Wang, J., Zhang, L., & Feng, Z. (2018). Allometric equations for the aboveground biomass of five tree species in China using the generalized method of moments. *The Forestry Chronicle*, 94(3), 214-220. doi: 10.5558/tfc2018-034

MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN Y BENEFICIO DE SEMILLA DE *Mimosa benthamii* Y DE *Lysiloma divaricata*

Ricardo Rivera-Vazquez^{1*}, Daniela Gómez-Espinoza², Bárbara Camacho-Santana², Ma. Cristina Irma Pérez-Pérez²

¹INIFAP, CE Bajío. ²TNM, Instituto Tecnológico de Celaya

*Autor para correspondencia: rivera.ricardo@inifap.gob.mx

Palabras clave. Diversidad vegetal, compuestos fitoquímicos.

Introducción

La semilla es la forma más práctica y eficiente para recolectar, transportar, estudiar y almacenar la diversidad vegetal, por corresponder a un estado compacto, resistente e independiente dentro del ciclo de vida de una planta (Di Sacco et al., 2018; Oliva et al., 2014). Por ello, aunque la recolección de semillas forestales es una actividad básica, ésta se ve afectada por diversos factores, como las características físicas de las especies (espinas, altura, época de producción), la dispersión y localización de los ejemplares, entre otros. Además, la producción de frutos y semillas es variable anualmente, dependiendo de condiciones como la humedad, precipitación o sequía (Oliva et al., 2014).

La recolección de semilla, implica la cosecha de frutos y el beneficio de los mismos para la obtención de las semillas (Valera y Aparicio, 2011). Por lo que, para contar con semilla de calidad, se debe considerar desde el sitio de recolección (buen aspecto del arbolado, y el fruto en la época y periodo fisiológico adecuado) hasta su manejo en el área de beneficio y almacenamiento (mejores condiciones de obscuridad, humedad y temperatura).

Seleccionamos dos especies, *Mimosa benthamii* J.F.Macbr. y *Lysiloma divaricata* (Jacq.) J.F.Macbr., por su alto contenido de compuestos fitoquímicos; estos incluyen chalconas, alcaloides, flavonoides, indoles, terpenos, terpenoides, saponinas, esteroides, aminoácidos, glicósidos, flavonoles, fenoles, lignoides, polisacáridos, ligninas, sales y ésteres grasos (Rizwan et al., 2020). Dichos compuestos confieren a las especies importantes actividades antioxidantes, antimicrobianas y otras actividades biológicas.

De acuerdo con SMAOT (2020), *M. benthamii* es un árbol o arbusto de 1 a 6 m de altura, las ramas jóvenes son rojizas acostilladas, pubescentes, con espinas recurvadas, hojas compuestas, inflorescencia en espigas de color rosado, muy vistosas, fruto una vaina poco espinosa de 4 a 8 cm de largo, semillas lenticulares de 6 a 10 semillas por vaina, y de color café oscuro. Mientras que *L. divaricata* es un árbol de 3 a 15 m de alto, corteza café grisácea a blanco grisácea, hojas compuestas acuminadas en el ápice, caducas, flores en racimos blancas, fruto una legumbre oblonga de 8 a 13 cm, con semillas de 10 a 12 por legumbre, color café oscuro.

Objetivo

Ensayar un método para coleccionar y dar beneficio a semillas de *Mimosa benthamii* y *Lysiloma divaricata*.

Materiales y Métodos

El proceso de colecta se estructura en seis etapas fundamentales:

- a) La identificación de las áreas óptimas para la recolección. Son áreas naturales donde se pueden encontrar ejemplares de estas especies, y dependiendo del interés se buscan los ejemplares con alta producción de vaina (si se busca obtener semilla), de porte alto (si se quieren para ornato) o de follaje denso (si se quieren para aprovechar las hojas), entre otros intereses.
- b) La recolección manual de los frutos. Por tratarse de ejemplares de porte mediano, lo más idóneo es la colecta manual de los frutos, en el caso de *M. benthamii* usar guantes debido a que tienen espinas las ramas y frutos. Aunque también se pueden usar escaleras o sacudir el árbol.
- c) El traslado y manejo de los frutos hacia las áreas de resguardo destinadas para su secado. Para el acopio y traslado de las vainas es conveniente tenerlas bajo sombra, llegando al área de beneficio, se procede a extenderlas para que se sequen los frutos, esto puede durar de tres a siete días dependiendo de la intensidad solar.

d) La extracción de la semilla a través de la trituration del fruto. Las vainas deben romperse para sacar la semilla, para romperlas se pueden usar pisones de madera o fierro, aplastarlas con el vehículo o abrirlas manualmente.

e) La limpieza de la semilla. Las semillas obtenidas del paso anterior, pueden tener “basuras” que deben quitarse, estas son restos de vainas, hojas, ramas, tierra, insectos, etc., para ello se ocupan arneros de distintos tamaños de los orificios para dejar pasar o no la semilla.

f) El almacenamiento a corto plazo. La semilla limpia se guarda en frasco herméticos, pueden ser de vidrio o de PET, es importante cubrir la totalidad del espacio del frasco para disminuir el aire y con esto la incidencia de plagas de almacén (gorgojos), también se puede agregar naftalina para, en caso de tener gorgojos las semillas, disminuir las poblaciones de insectos.

Resultados y Discusión

La colecta de frutos se realizó en el Arboretum Forestal del INIFAP, en el Campo Experimental Bajío, por lo que no fue necesario hacer la identificación de árboles madre para la colecta del fruto, sin embargo, es importante mencionar que en áreas naturales se seleccionan los árboles de acuerdo a los objetivos que se busquen (alta producción de vainas, porte alto, sombra densa, etc.). La colecta del fruto se hizo a mano usando guantes en el caso de *M. benthamii* porque tiene espinas, y en algunos casos se hizo sacudió el árbol para obtener más vainas colocando un plástico en el suelo para recolectarlas. Los frutos colectados fueron guardados en costales y puestos a la sombra para su transportación, posteriormente en el área de beneficio los frutos se extendieron en el suelo cubierto con plástico en un área soleada para que terminaran de madurar los frutos y tuviesen una humedad inferior al 15%. Después de una semana, los frutos se recogen en costales, a estos costales se les aplasta con un pisón de madera o metal para liberar la semilla, con la ayuda de dos harneros, el primero para eliminar las partes grandes del fruto pero que permita el paso de la semilla, y el segundo para eliminar la basura pequeña y tierra, por lo que la semilla ya no pasa el harnero. La semilla obtenida se selecciona a mano quitando impurezas y semilla picadas por gorgojos. Finalmente, la semilla se guarda en frascos herméticos llenándolos al borde para disminuir la cantidad de aire y con esto limitar el desarrollo de plagas como el gorgojo, adicionalmente se agrega una bolita de naftalina para reforzar el control de estas plagas de almacén, colocándolos en un lugar fresco, oscuro y con poca humedad; este sistema permite tener viable la semilla por al menos de tres a cinco años.



Áreas para recolección



Recolección de frutos



Traslado y manejo de frutos



Figura 1. Proceso de recolección y beneficio de semillas de *M. benthamii* y *L. divaricata*.

Conclusiones

El procedimiento para obtener semilla de *M. benthamii* y *L. divaricata*, fue el adecuado, pues permite obtener una buena cantidad de semilla y de buena calidad.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Este trabajo se realizó con apoyo del proyecto “Banco de Germoplasma Forestal Arboretum” con recursos del INIFAP.

Referencias bibliográficas

- Di Sacco, A; Way, M; P. León L. y C.I. Suarez B. (2018) Manual de recolección, procesamiento y almacenamiento de semillas de plantas silvestres. V1.2. Royal Botanic Gardens Kew. Reino Unido, 66p.
- Oliva V., M.A., F. Vacalla, D. Pérez y A. Tucto. 2014. Recolección de semillas de especies forestales nativas: experiencias en Molinopampa, Amazonas, Perú. 19 p.
- Rizwan, K., Majeed, I., Bilal, M., Rasheed, T., Shakeel, A. e Iqbal, S. (2022). Fitoquímica y farmacología diversa del género *Mimosa*: una revisión. *Biomoléculas*, 12 (1), 83. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom12010083>
- Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial (SMAOT). 2020. Documento Técnico Base del Inventario de Especies Vegetales Nativas del Estado de Guanajuato. SMAOT. Guanajuato, México.
- Valera, S.A. y A.G. Aparicio. 2011. Aspectos básicos sobre semillas y frutos de especies forestales: recomendaciones para su cosecha. Cuadernillo No. 1. Serie técnica “Sistemas forestales integrados”, INTA, Bariloche, Chile. 10 p.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y FISIOLÓGICA DE SEMILLAS DE *Cupressus guadalupensis* S. Watson

Juan Manuel Pichardo-González^{1*}, Juan Manuel Palma-Palma², Martín Quintana-Camargo¹, Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez¹, Carlos Iván Cruz-Cárdenas¹, Francisco Fabián Calvillo-Aguilar¹, María Guadalupe Pérez-Reynoso¹

¹INIFAP, Centro Nacional de Recursos Genéticos. ² Universidad Tecnológica de la Tarahumara

*Autor para correspondencia: pichardo.juan@inifap.gob.mx

Palabras clave. Germinación, Ciprés de Guadalupe, calidad de semilla.

Introducción

El ciprés de Guadalupe (*Cupressus guadalupensis* S. Watson) es una especie arbórea endémica de la Isla Guadalupe en el Pacífico mexicano, territorio que se ubica a 260 km de la costa de Baja California y a 400 km al suroeste de Ensenada. El bosque de ciprés de Guadalupe, lo conforman tres agrupaciones de árboles de ciprés principales: parches o rodales (en estos términos se toma en cuenta el dosel y los espacios abiertos) que de acuerdo a definiciones del FAO y la Silvicultura en general, se definen como un grupo continuo de árboles lo suficientemente uniforme en composición florística, distribución en clases de edad y condición como para constituir una unidad homogénea y distinguible. Estos tres parches, llamados: norte, centro y sur, son relativamente densos y están distribuidos en la parte alta de la isla, cerca del monte Augusta (Ramírez, 2014). El ciprés de Guadalupe se cataloga en estado crítico de conservación, debido al impacto continuo, que por casi dos siglos sufrió la especie, debido a la presencia de ganado caprino introducido a la isla por navegantes y cazadores a inicios del siglo XVIII. Se considera en peligro de extinción en México por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 de SEMARNAT y amenazada a nivel mundial por la Lista Roja de **Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza** (UICN, 2025). Por ello, es importante implementar accesiones para su conservación *in situ* y *ex situ*. En este sentido, en el Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) se recibió una muestra de semillas de esta especie para su conservación y resguardo; sin embargo, los estudios sobre la evaluación de calidad de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson son muy escasos. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad física y fisiológica de las semillas de esta especie con el propósito de generar un protocolo de análisis de calidad de semilla y de conservación y resguardo en la Colección Nacional de Recursos Genéticos Forestales del CNRG-INIFAP.

Materiales y Métodos

El trabajo se llevó a cabo en febrero y marzo de 2020 en el Laboratorio de semillas de la Colección de semillas del CNRG-INIFAP, ubicado en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. Se utilizó una muestra (accesión) de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson recolectadas en agosto de 2018 en la Isla Guadalupe, Enseñada, Baja California, México. Se evaluaron tres variables de calidad física de las semillas. El peso de mil semillas (ISTA, 2017) se evaluó realizando cuatro repeticiones y el resultado se expresó en g. Asimismo, se determinó el contenido de humedad de las semillas por el método de la termobalanza utilizando un determinador de humedad electrónico (termobalanza) marca AND® modelo MS-70. Esta determinación se realizó con cuatro repeticiones y el resultado se expresó en porcentaje (Rao *et al.*, 2007). También se realizó el análisis de la integridad física de las semillas mediante un equipo de rayos X (ISTA, 2017) marca Flaxitron® Modelo MX-20 (Specimen Radiography System). Se analizaron cuatro repeticiones de 25 semillas, en las cuales la integridad física de las semillas se determinó mediante las radiografías obtenidas en el análisis. En la presente investigación sólo se consideraron las semillas que se clasificaron como llenas cuyo valor se expresó en porcentaje (ISTA, 2017). Por otro lado, se evaluó la calidad fisiológica de las semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson mediante un ensayo de germinación, en el cual se probaron dos tratamientos pregerminativos a la semilla y se usaron cuatro repeticiones de 25 semillas. Un primer tratamiento consistió en imbibir (hidratar) las semillas durante 24 horas en agua destilada y un segundo tratamiento consistió en imbibir (hidratar) las semillas durante 24 horas en una solución de ácido giberélico (AG₃) al 1%. Una vez que se cumplió el tiempo de estos tratamientos a las semillas, estas fueron sembradas en cajas de germinación de acrílico transparente de 17.5 cm de largo por 12.5 cm de ancho y de 6 cm de altura en un sustrato compuesto por una mezcla de turba canadiense (peat moss), agrolita y

vermiculita en una proporción 2:1:1 de turba canadiense, vermiculita y agrolita, respectivamente. Se sembraron cuatro repeticiones de 25 semillas por tratamiento. En este ensayo se usó un diseño experimental complementa mente al azar con cuatro repeticiones. Las semillas fueron incubadas en un cuatro de germinación a una temperatura de 25 ± 2 °C, con un fotoperiodo de 8 h luz y 16 h oscuridad. Los resultados de la germinación se expresaron en porcentaje (ISTA, 2017). En las variables evaluadas de calidad física se obtuvo el promedio de los valores obtenidos de las cuatro repeticiones. Por su parte en el ensayo de germinación (calidad fisiológica) los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico SAS versión 9.3. Previo a los análisis los datos de esta variable (la cual se expresa en porcentaje) se transformaron mediante la función arco seno $\sqrt{X/100}$. Se realizó un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05).

Resultados y Discusión

Los resultados de la evaluación de la calidad física de *Cupressus guadalupensis* S. Watson mostraron que el peso de mil semillas promedio fue de 15.55 g, el contenido de humedad promedio fue de 9.64% y en el análisis de la integridad física de las semillas con el equipo de rayos X el porcentaje de semillas llenas promedio fue del 78%. Los resultados anteriores mostraron que los pesos de la semilla fueron muy uniformes, con lo que se infiere que el tamaño de la semilla también fue muy uniforme. En lo referente al contenido de humedad de la semilla, esta variable tuvo un valor ligeramente alto, por lo que, en las actividades de acondicionamiento de esta semilla, se optó por someterlas a secado hasta que alcanzaron un contenido de humedad de entre el 6 y 7% para almacenar semilla de esta especie. Con relación al análisis de integridad física de las semillas con rayos X, los resultados mostraron que el porcentaje de semillas llenas fue relativamente bajo con el 78%, por lo que con estos resultados se puede esperar que la germinación presente también valores bajos. Por ello, se sugiere que el análisis de rayos X se complemente con una evaluación de la calidad fisiológica. En términos generales, las semillas de la accesión de *Cupressus guadalupensis* S. Watson tuvieron una calidad física aceptable para ingresarse y conservarse un banco de germoplasma sobre todo porque es una especie forestal.

Cuadro 1. Resultados de la evaluación de la calidad física de *Cupressus guadalupensis* S. Watson.

Repeticición	Peso de mil semillas (g)	Contenido de humedad (%)	Análisis rayos X Semillas llenas (%)
1	15.85	9.62	81
2	15.32	9.93	80
3	15.45	9.97	78
4	15.61	9.06	72
Promedio	15.55	9.64	78

En lo que respecta a la evaluación de la calidad fisiológica a través del ensayo de germinación aplicando dos tratamientos pregerminativos, el análisis de varianza (cuadro 2) mostró que la germinación de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson no mostró diferencias significativas con la aplicación de tratamientos pregerminativos a las semillas.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de la evaluación de la germinación de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson con tratamientos pregerminativos.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Germinación (%)
Tratamientos pregerminativos	1	99.03 ns
Error	6	66.46
C.V. (%)		53.70
Media		15.18

C.V. = Coeficiente de variación. *, ** = significativo con $p \leq 0.05$ y con $p \leq 0.01$, respectivamente; ns = No significativo.

La comparación de medias de Tukey (figura 1) mostró que los tratamientos pregerminativos en las semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson no tuvieron diferencias significativas. No obstante, el tratamiento de agua destilada con ácido giberélico presentó el mayor valor numérico con 11% de germinación, mientras que el tratamiento con agua destilada presentó el 6%. Mendoza y Morales (1994) reportaron un porcentaje de germinación en vivero del 31% en semillas de esta especie, valor que es superior al de la semilla evaluada en el presente trabajo. Por lo anterior, se sugiere seguir probando otros tratamientos pregerminativos para promover la germinación en laboratorio en las semillas de Ciprés de Guadalupe. La baja calidad fisiológica de la semilla de *Cupressus guadalupensis* S. Watson en el presente trabajo posiblemente se debe a que la accesión tenía un gran porcentaje de semillas no viables, aunado a que ya habían pasado alrededor de 2.5 años de su recolecta hasta que se realizaron los análisis de calidad. Aun cuando no hubo diferencias en los tratamientos evaluados, el tratamiento de agua destilada con ácido giberélico mostró resultados promisorios.

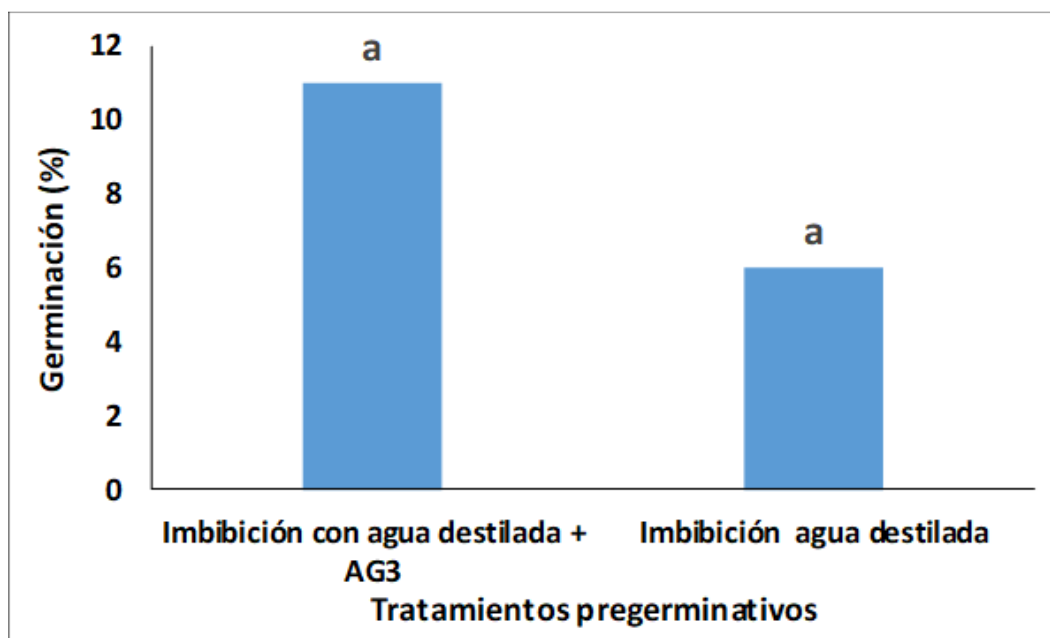


Figura 1. Comparación de medias de Tukey de la germinación de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson aplicando tratamientos pregerminativos. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

Al relacionar los resultados de la calidad física con los resultados de la calidad fisiológica, solamente el porcentaje de semillas llenas fue con el que se pudo inferir que el porcentaje germinación podría presentar valores bajos debido a los valores relativamente bajos de semillas llenas; sin embargo, se debe considerar también que las semillas llenas no aseguran su germinación debido a que podría haber semillas muertas o de viabilidad baja que no germinan.

Conclusiones

Las semillas de la accesión de *Cupressus guadalupensis* S. Watson tuvieron una calidad física aceptable para conservarse un banco de germoplasma sobre todo porque es una especie forestal; sin embargo, dichas semillas mostraron una calidad fisiológica baja. La evaluación de la germinación de semillas de *Cupressus guadalupensis* S. Watson con tratamientos pregerminativos no mostró diferencias estadísticas entre los tiramientos evaluados, por lo que se sugiere seguir probando otros tratamientos pregerminativos para promover la germinación de las semillas de esta especie. A pesar de que no hubo diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados, el tratamiento de agua destilada con ácido giberélico mostró resultados promisorios.

Agradecimientos

A la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) por el financiamiento a través del proyecto “Fomento y Operación del Subsistema de Recursos Genéticos Forestales dentro del Centro Nacional de Recursos Genéticos” con No. de SIGI 1138523270.

Referencias bibliográficas

- International Seed Testing Association (ISTA). 2017. International Rules for Seed Testing. Rules 2017.
- Mendoza, I. y C. Morales. 1994. Técnicas de Producción de Planta en Vivero para *Cupressus lindleyi* y *Cupressus guadalupensis*, en Chapingo, México. Tesis profesional (Ing. Forestal) División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Ramírez S. N.L. 2014. Índices de vegetación: una herramienta para el monitoreo de esfuerzos de conservación. El caso del Bosque de Ciprés de la Isla Guadalupe. Tesis Maestro en Ciencias. Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Ensenada, Baja California, México. 99 p.
- Rao, N. K., J. Hanson, M.E. Dulloo, K. Ghosh, D. Novell y M. Larinde. 2007. Manual para el manejo de semillas en bancos de germoplasma. Manuales para Bancos de Germoplasma No. 8. Bioversity International, Roma, Italia. 165 p.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2025. Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. <https://www.iucnredlist.org/es> (Consultado en mayo 2025).



FORMACIÓN DE CALLO EMBRIOGÉNICO Y EMBRIONES SOMÁTICOS DE *Quercus castanea* CON FINES DE CONSERVACIÓN *IN VITRO*

Carlos Roman Castillo-Martínez^{1*}, Miguel Ángel Vallejo-Reyna¹, Efraín Velasco-Bautista¹, Lizbet Fernández-Cruz¹

¹INIFAP, CENID-COMEF

*Autor para correspondencia: castillo.carlos@inifap.gob.mx

Palabras clave. Encino, embriogénesis, micropropagación.

Introducción

El género *Quercus* cuenta con aproximadamente 161 especies reportadas para México de importancia, ecológica, asociadas muchas veces con especies del género *Pinus*, en el complejo pino-encino, dentro las cuales se encuentra *Quercus castanea* con amplia distribución en el país, con la problemática que esta especie y otras del género poseen semillas recalcitrantes (Valencia, 2004). Por la propia importancia de este género, dentro del hemisferio norte se han explorado formas propagar por cultivo de tejidos para su conservación así (Brennan, *et. al.* 2017), reportaron el uso de cultivo de tejidos para propagar y conservar especies del género *Quercus* usando tejido de árboles maduros evaluando diferentes medios de cultivo. Una de las técnicas que ofrece la posibilidad de clonar y conservar individuos con sus características genéticas es la embriogénesis somática, en este sentido (Toribio, *et. al.* 2004) exploraron esta técnica en *Quercus suber*, partiendo de hojas obtenidas de brotes epicormicos, logrando generar varias líneas de callos embriogénicos y reportando respuestas diferenciales entre genotipos. Estos avances nos abren la puerta a usar esta técnica en *Q. castanea* como un modelo para su propagación y conservación.

Objetivo

Evaluar dos diferentes medios para generar callo embriogénico y embriones somáticos a partir de segmentos foliares de una especie de encino (*Quercus castanea*)

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en el laboratorio de biotecnología y germoplasma forestal del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF). Para el establecimiento inicial se utilizaron segmentos foliares de aproximadamente 1.0 cm de largo por 0.5 cm de ancho de material colectado del Querssetum del jardín botánico de la BUAP, los segmentos se colocaron en dos diferentes medios Medio1 medio de cultivo MS, adicionando 30 g L⁻¹ de sacarosa y 1.0 mgL⁻¹ de ANA (ácido naftalenacético) como regulador, el Medio 2, medio de cultivo WPM (Woody Plant Media) adicionando 30 gL⁻¹ de sacarosa, carbón activado 2 gL⁻¹, PVP (polivinil pirrolidona) 100 mg L⁻¹ y 0.5 mgL⁻¹ de 24-D, como regulador en ambos medios se ajustó el pH de 5.7 se agregaron 9 gL⁻¹ de agar, se colocaron 7 ml de medio en tubos de ensaye de 100 X 25 mm y se esterilizaron en autoclave a 120°C durante 15 minutos. Los segmentos foliares se colocaron 1 por cada tubo con 16 repeticiones por cada medio cultivo este proceso se realizó en campana de flujo laminar, una colocados en los tubos se transfirieron al cuarto de crecimiento en condiciones de fotoperiodo de 16 h. luz / 8 h. de oscuridad a una temperatura de 25±2°C. La evaluación de las variables consideradas se realizó a los 30 días para las variables oxidación y formación de callo y a los 60 días la formación de callo embriogénico y finalmente a los 90 días la obtención de maduración de embriones (raíz y parte aérea). El análisis estadístico se realizó tomando en cuenta la naturaleza de todas las variables se consideró una métrica binaria, en donde el valor de 1 indicó la presencia del atributo de interés (oxidación, formación de callo, desarrollo de embriones y raíces y tallos) y 0 ausencia del mismo; en estas condiciones se postuló un Modelo Lineal Generalizado con un distribución probabilística binaria y enlace Logit. El análisis numérico y gráfico de los datos se llevó a cabo mediante el PROC GLIMMIX del Software Sistema de Análisis Estadístico (SAS), Versión 9.4 (SAS, 2024).

Resultados y Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa en el cuadro 1 que el Medio 1 dio como resultado la oxidación de los tejidos mientras que el Medio 2 logró contener la oxidación en ese sentido también permitió el desarrollo de callo embriogénico y de formación de embriones cuadro 2 y 3, que finalmente dieron origen a embriones que pudieron desarrollarse figura 1.

Cuadro 1. Respuesta de oxidación en dos medios de cultivo en segmentos foliares de *Q. castanea*.

Tratamiento tipo de medio	Media de oxidación	Grupo de la prueba de Tukey
Medio 1	0.812	A
Medio 2	0.183	B

Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05), Medio 1 y Medio 2

Cuadro 2. Respuesta de formación de callo embriogénico en dos medios de cultivo en segmentos foliares de *Q. castanea*.

Tratamiento tipo de medio	Media de formación de callo	Grupo de la prueba de Tukey
Medio 1	0.823	A
Medio 2	0.181	B

Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05), Medio 1 y Medio 2.

Cuadro 3. Respuesta de formación de embriones somáticos en dos medios de cultivo en segmentos foliares de *Q. castanea*.

Tratamiento tipo de medio	Media de formación de embriones somático	Grupo de la prueba de Tukey
Medio 1	0.817	A
Medio 2	0.125	B

Medias con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05), Medio 1 y Medio 2.

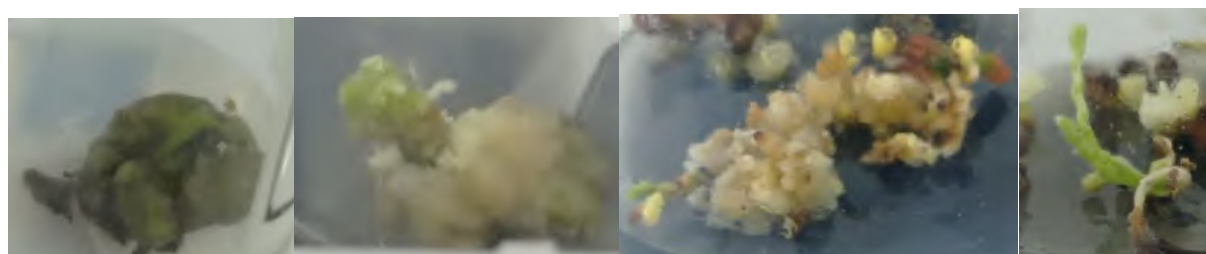


Figura 1. De izquierda a derecha, segmento foliar, inicio de formación callo, callo embriogénico con embriones somáticos en formación, embrión somático en maduración.

Resultados similares reportan (Toribio *et. al.* 2023), en *Q. sueber* partiendo de hojas de brotes juveniles; sin embargo, usando medios diferentes como el Gambor reguladores reportados como ANA, resaltando el hecho que muestran respuestas diferenciales entre genotipos de la misma especie. En nuestro caso las repuestas que se obtuvieron con medio WPM y como regulador de crecimiento 2,4-D, existiendo más similitud de respuesta a lo reportado por (Brennan, *et. al.* 2017) usando medio WPM. Pero es muy probable que con otras especies del género *Quercus* se observen diferentes respuestas con otros medios de cultivo y reguladores de crecimiento.

Conclusiones

El medio de cultivo WPM adicionado con el regulador de crecimiento 2,4-D a una concentración de 0.5 mgL⁻¹ dio origen a la formación de callo y generó embriones somáticos en *Q. castanea* que se lograron madurar en medio WPM, sin reguladores de crecimiento en un plazo de tiempo de 90 días.

Agradecimientos

Center for Conservation and Research of Endangered Wildlife, Cincinnati Zoo and Botanical Garden por financiar esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Brennan, A. N., Pence, V. C., Taylor, M. D., Trader, B. W., & Westwood, M. (2017). Tissue culture using mature material for the conservation of oaks. *HortTechnology*, 27(5), 644-649.
- SAS Institute Inc. (2024). SAS/ETS® User's Guide: The GLIMMIX Procedure. SAS Institute Inc. North Carolina, USA. 370 p.
- Toribio, M., Fernández, C., Celestino, C., Martínez, M. T., San-José, M. C., & Vieitez, A. M. (2004). Somatic embryogenesis in mature *Quercus robur* trees. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 76, 283-287.
- Valencia, S. (2004). Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la sociedad Botánica de México*, (75), 33-53.



EVALUACIÓN DE LA ABRASIÓN EN SEMILLAS DE CONÍFERAS APLICANDO DIFERENTES LIJAS Y TIEMPOS

César Ortiz-Torres^{1,2}, Armando Gómez-Guerrero¹, Carlos Ramírez-Herrera¹, Francisca O. Plascencia-Escalante¹

¹Colegio de Postgraduados. ²Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

*Autor para correspondencia: cesar.orto@outlook.com

Palabras clave. Escarificación, *Abies religiosa*, *Pinus greggii*.

Introducción

La exposición a la abrasión mecánica en semillas es un proceso que ayudan a mejorar su germinación, permitiendo reducir el grosor de la testa de las semillas, eliminar secciones como las braquiesclereidas y las osteosclereidas, con lo cual se ayuda a reducir la dureza de la cubierta seminal promoviendo la permeabilidad y la germinación (Ortiz-Bibian et al., 2019). La utilización de lijas para promover la abrasión es una técnica efectiva, sin embargo, es necesario conocer los tiempos de exposición y la efectividad de los materiales. Se ha reportado que la exposición de semillas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart. Cov.) de 10 a 15 s, es más efectiva para el proceso de germinación que un tratamiento con ácido sulfúrico (Dignart et al., 2005). Tanto en semillas de *P. greggii* como de *A. religiosa* no han sido reportados resultados concluyentes sobre la efectividad de la abrasión mecánica en la mejora de la germinación. Por lo tanto, es fundamental investigar más a fondo los métodos de abrasión y sus efectos específicos sobre las diferentes especies de coníferas para optimizar su germinación y desarrollo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos fisiológicos que tiene la abrasión cuando se utilizan diferentes tipos de lija y tiempos de exposición en semillas de *Pinus greggii* Engelm. y en *Abies religiosa* (Kunth) Cham.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en dos etapas. En la primera, se utilizaron las semillas de *P. greggii* con el objetivo de evaluar los efectos físicos generados por utilizar distintos tipos de lija y tiempos de exposición. En la segunda, con base en los resultados obtenidos previamente, se aplicaron dos tiempos de abrasión a semillas de *A. religiosa* para analizar sus efectos en su etapa de plántula y observar si se desprendían de su testa en la etapa de plántula.

Para realizar la escarificación de las semillas estas fueron rotadas en cilindros metálicos de 5 cm de altura por 5 cm de diámetro. Los cilindros estaban forrados en su interior por dos tipos de lijas: lija fina (Fandeli K-61 FIN ALO RR); y lija gruesa (Fandeli K-61 GSO ALO LR) (figura 1).

Los cilindros fueron rotados en un mecanismo de rotación eléctrico elaborado en el Programa Forestal del Colegio de Postgraduados. Este mecanismo consta de cuatro tubos conectados a un motor eléctrico que los mantiene girando durante un tiempo programado. Los tubos, revestidos de una goma plástica, sostienen los cilindros para garantizar su rotación constante (figura 1).

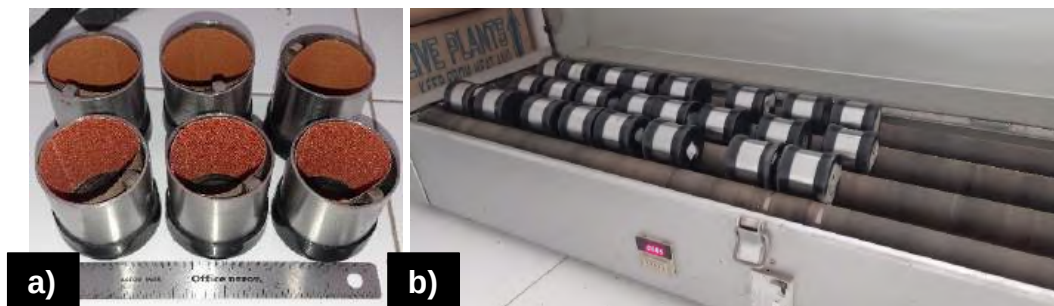


Figura 1. a) Cilindro metálico con lija; b) mecanismo de rotación

En la primera etapa fueron utilizadas 50 semillas de *P. greggii* para cada tipo de papel y tiempo de rotación utilizando tres repeticiones, en total fueron utilizadas 300 semillas. Estas se introdujeron en los cilindros y

se dejaron rotar por 4.5 h. Al concluir el tiempo de rotación se contabilizaron las semillas con algún tipo de daño y después se continuo con la rotación hasta cumplir las 9 h y volver a contabilizar las semillas alteradas.

Después de realizar los tratamientos en semillas de *P. greggii*, se aplicaron los siguientes tratamientos de tiempos de rotación a las semillas de *A. religiosa*: rotación durante 5 horas (R5) y rotación durante 10 horas (R10). Para cada tiempo de rotación, se utilizaron lijas finas y gruesas. Se realizaron 6 repeticiones por cada combinación, utilizando un cilindro con 50 semillas en cada repetición, sumando un total de 30 cilindros.

Para poder evaluar los efectos de la abrasión en las semillas, estas fueron sembradas esperando que los efectos se vieran reflejados en el desprendimiento de su testa. Antes de la siembra, se empleó un tratamiento pregerminativo, que consistió en remojar las semillas en agua a 30 °C (± 4 °C) durante 10 minutos. Posteriormente, las semillas se sembraron en charolas con un sustrato compuesto por peat-moss, vermiculita y agrolita en una proporción de 60-20-20 y se regaron con un aspersor de agua destilada cada dos días hasta la germinación y luego cada tercer día.

A los 48 días fue evaluada la capacidad de germinación de las semillas, una semilla era considerada como germinada cuando emergía su tallo del sustrato. Posteriormente se dejó que las plántulas se desarrollaran por 7 días más y al día 51 se realizó un conteo final de las plántulas que aún tenían la testa y de las que ya no.

Resultados y Discusión

Efectos en semillas de *P. greggii*

Después de aplicar 4.5 h se observó que la superficie de la testa de las semillas de *P. greggii* presentaron desgaste en su superficie. Así también, se encontró que algunas semillas se dañaron presentando una fractura en su superficie o una fractura parcial. Como era de esperarse, después de 9 h el desgaste de las testas fue acumulativo y el número de semillas dañadas por la fricción aumento.

Cuadro 1. Número de semillas rotas después de 4.5 y 9 horas.

Tipo de lija	Total de semillas	Semillas rotas a 4.5 hrs	Semillas rotas a 9 hrs
LG1	50	1	3
LG2	50	1	4
LG3	50	0	2
Total	150	2	9
LF1	50	3	5
LF2	50	3	7
LF3	50	2	2
Total	150	8	14

LG: lija gruesa; LF: lija fina

Las semillas fracturadas que se registraron en el tratamiento de 4.5 horas fueron menos respecto al tratamiento de 9 horas. Una prueba de Wilcoxon realizada no mostró diferencias significativas entre tratamientos, probablemente por el bajo número de repeticiones. La mayor cantidad de semillas fracturadas encontradas en la prueba de 9 h se adjudica al tiempo de exposición de las semillas a la superficie abrasiva de las lijas. Así también, se encontró que las lijas finas tuvieron un mayor número de semillas rotas respecto a las contabilizadas en las lijas gruesas (cuadro 1).

Efectos en *A. religiosa*.

El desarrollo de las semillas se registró durante 48 días. Se observó que la germinación comenzó el día 19 y alcanzó su máxima germinación el día 37, con un total de 49 semillas germinadas (figura 2). La capacidad germinativa de las semillas fue baja, alcanzando solo el 19.6% en 48 días. Este tiempo de germinación fue más prolongado en comparación con otras experiencias, donde puede iniciarse desde el séptimo día y la máxima germinación el día 12 (Hernandez-Valera et al., 2023).

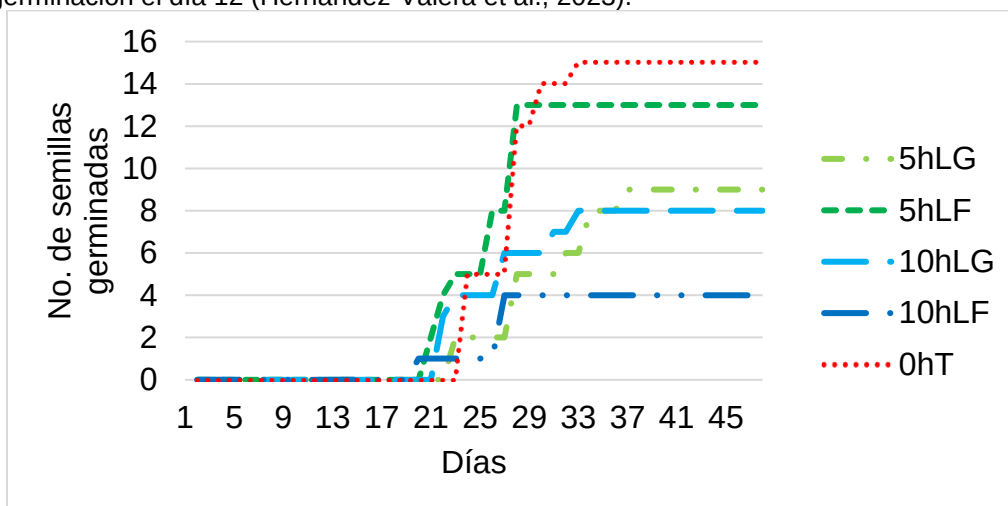


Figura 2. Gráfica de germinación de semillas de *A. religiosa* aplicando diferentes tratamientos.

Finalmente, para el día 51, se observó que los tratamientos aplicados probablemente tuvieron un efecto en evitar que la testa quedara adherida a los cotiledones. Cuando se aplicó el tiempo de rotación de 5 horas, el 96% de las semillas ya no tenían la testa adherida a los cotiledones, mientras que, en las plántulas que se desarrollaron sin tratamiento, el 60% aún conservaba la testa adherida (cuadro 2).

Cuadro 2. Germinación de semillas por tratamiento y número de semillas sin la testa en los cotiledones al final del experimento

Tiempo de rotación (horas)	Tipo de lija	Semillas utilizadas	Semillas germinadas	Plántulas con testa	Plántulas sin testa (%)
5h	LG	300	9	0	100
5h	LF	300	13	1	92
10h	LG	300	8	2	75
10h	LF	300	4	1	25
T	T	300	15	9	40

LG, lija gruesa; LF, lija fina; Testigo.

Conclusiones

En general, esta prueba experimental sugiere que la aplicación de abrasión por fricción tiene efectos en el desgaste de las testas en semillas de coníferas. En semillas de *A. religiosa* existe la posibilidad de que promueva el desprendimiento de la testa en etapa de plántula, ayudando a su desarrollo y evitando su muerte. Los resultados de este trabajo proponen que futuros experimentos se realicen con un mayor número de semillas, considerando que *A. religiosa* posea una baja viabilidad.

Referencias bibliográficas

- Dignart, S., Ferronato, A., Camargo, I. P., & Mendonça, E. A. (2005). Superação de dormência física em sementes de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart. Cov.)). *Rev. Bras. Pla. Med.*, 7(2), 1–6. https://www.sbpmed.org.br/admin/files/papers/file_wZiJ86DZ5oTZ.pdf
- Hernandez-Valera, L., Cetina Alcalá, V. M., Ramírez-Herrera, C., Jasso-Mata, J., Quiroz-Ibáñez, I. F., & González-Rosas, H. (2023). Sexual propagation of *Abies religiosa* (Kunth) Cham, by immersion in water at different temperatures and periods. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i7.2298>
- Ortiz-Bibian, M. A., Castellanos-Acuña, D., Gómez-Romero, M., Lindig-Cisneros, R., Silva-Farías, M. Á., & Sáenz-Romero, C. (2019). Variation among *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. et Cham populations along an altitudinal gradient. I. seed germination capacity. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 301–308. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.301-308>.





Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inirap
Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Agrario

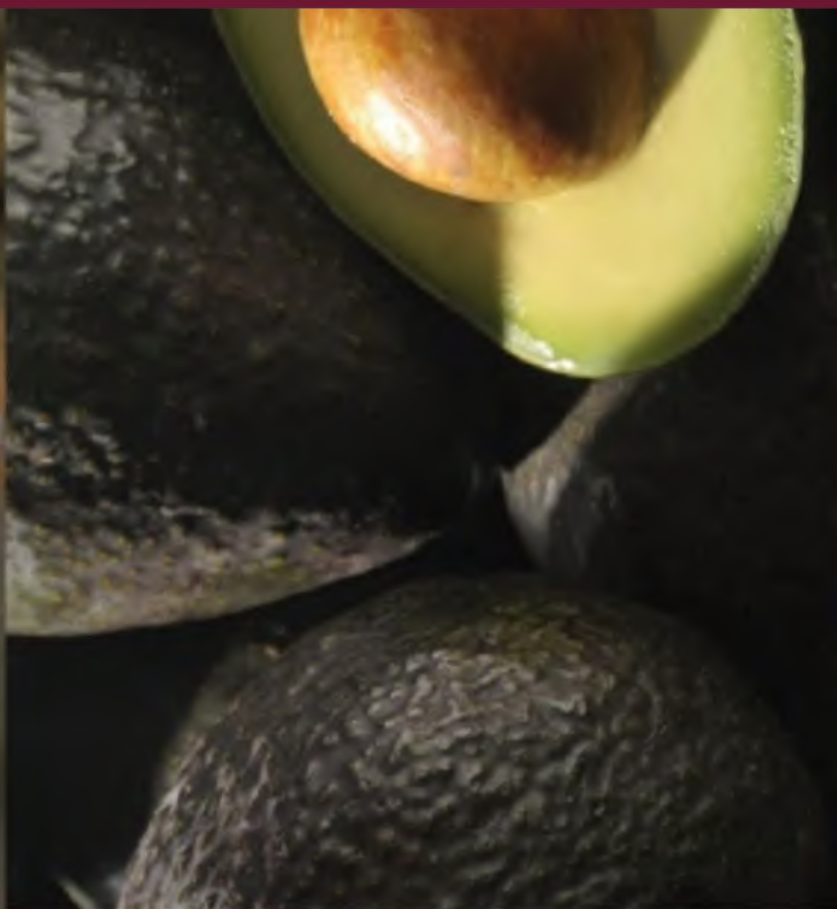
CP Colegio de
Postgraduados



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



Tema

transversal



4to. Congreso
INTERAMERICANO
DE AGUA SUELO Y
AGROBIODIVERSIDAD
Cd. de México, México | 8 al 10 de agosto 2022

GOBERNADORA [*Larrea tridentata* (SESSÉ & MOC. EX DC.) COVILLE] COMO BIOHERBICIDA PARA MALEZAS DE HOJA ANCHA ALTERNATIVA AL GLIFOSATO EN PRE SIEMBRA

Ma. Eugenia Cisneros-López^{1*}, Martín Espinosa-Ramírez¹, Miguel Ángel Valdez-Hernandez¹

¹INIFAP, CIRNE, CE Río Bravo

*Autor para correspondencia: cisneros.maria@inifap.gob.mx

Palabras clave. Alelopáticos, control, extractos.

Introducción

La agricultura convencional depende principalmente de herbicidas sintéticos para controlar las malezas. La evolución de las malezas resistentes a los herbicidas, por falta de nuevos herbicidas con nuevos mecanismos de acción y la conciencia pública sobre los herbicidas sintéticos, plantea la necesidad de desarrollar una herramienta sostenible y respetuosa con el medio ambiente para controlar las malezas. Un campo para descubrir este tipo de herramientas es el uso de compuestos naturales de origen vegetal llamados aleloquímicos. Estos químicos alelopáticos tienen actividades fitotóxicas con el potencial de usarse como herbicidas naturales (Khamare *et al.*, 2022).

México es un país que cuenta con una amplia diversidad vegetal; lo cual permite disponer de materias primas locales para la obtención de principios activos que pueden usarse en la industria química farmacéutica o agrícola. Tal es el caso, de la gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville, matorral xerófilo de amplia distribución, en las regiones áridas y semi áridas (Rivera-Escareño *et al.*, 2024). Los constituyentes fitoquímicos en la resina de *L. tridentata* reportados en la literatura son numerosos, destacan por su mayor contenido en base al peso seco del follaje los lignanos fenólicos, seguidos por las saponinas, flavonoides, aminoácidos y minerales. El compuesto más importante que se encuentra en la resina de las células epidérmicas de las hojas es el ácido nordihidroguaiarético (NDGA), antioxidante, antiinflamatorio, citotóxico, antimicrobial e inhibidor de enzimas (Lira, 2005).

Objetivo

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la gobernadora *Larrea tridentata* (Sessé & Moc. ex DC.) Coville como bioherbicida alternativo al glifosato.

Materiales y Métodos

Las plantas de *L. tridentata* se obtuvieron en estado vegetativo de La Sierra de Catorce que se localiza entre 23° 24' y 23° 47' N y entre 100° 46' y 100° 57' O. El tamaño de la muestra fue de 20 kilogramos. Se utilizaron las hojas de las plantas, en trozos pequeños de menos un centímetro de longitud; se lavaron con agua destilada para eliminar el polvo, posteriormente se dejaron secar al sol. Después se procedió a preparar un extracto; con modificaciones al esquema propuesto por Moreno-Limón *et al.* (2011) y Rivera-Escareño *et al.* (2024) y el cual consistió en usar una proporción 1:2 del tejido vegetal fresco; sin secar ni moler en etanol al 80 %. Las muestras se colocaron en frascos de vidrio cubiertos con papel aluminio y se dejaron en oscuridad a temperatura de laboratorio (25° C); por un mes; al final del proceso se recuperó el solvente por medio de una doble filtración con papel filtro Whatman 4; el extracto se mantuvo en frascos color ámbar de plástico. El bioherbicida final se preparó con 50 % del extracto de gobernadora; 50 % vinagre blanco comercial más 2 % de cloruro de sodio.

El experimento se realizó en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del INIFAP, en el norte de Tamaulipas, bajo condiciones de riego de presiembra y labranza convencional, durante el ciclo agrícola P-V, 2023. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, tres repeticiones y tamaño de la unidad experimental de 4 surcos (0.80 m) por 10 metros de largo (32 m²). Antes de la aplicación se identificó el tipo de maleza y el grado de infestación en un cuadrante de un m². Los datos se expresaron en número de malezas por m², por cada especie. La aplicación se realizó el 16-08-2023, con una aspersora de mochila motorizada con boquillas de abanico plano 8003 con una presión de salida de 275 kPa y un volumen de aspersión equivalente a 250 L ha⁻¹. Los productos utilizados como herbicidas fueron: herbicida sintético Faena® (Glifosato, sal de isopropilamina, N-fosfonometil-glicina a 363 g i.a. L⁻¹), a dosis de 2.0 L ha⁻¹ como testigo regional; siete bioherbicidas comerciales a base de extractos vegetales (BH1, BH2, BH3, BH4, BH5,

BH6 y BH7), un bioherbicida experimental a base del extracto de gobernadora (BH8); las dosis fueron 1.5, 3 y 4.5 (%) y el testigo absoluto sin control químico, con un total de 26 tratamientos (cuadro 1), con sus respectivos ingredientes activos y dosis.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados para el control de malezas en pre siembra del cultivo del sorgo en el norte de Tamaulipas, en el ciclo agrícola P-V, 2023.

BH	Ingredientes activos	T	Dosis (%)
BH1	<i>Datura stramonium</i> (10 %); extracto de plantas alelopáticas (42 %) metabolitos de <i>Puccinia</i> spp (2 %); aceite de coco no hidrogenado (6 %).	T1	1.5
		T2	3.0
		T3	4.5
BH2	Gordolobo (20 %), aceite de coco (20 %), resina de pino (20%), <i>Puccinia</i> spp (20 %) y papaína (20 %).	T4	1.5
		T5	3.0
		T6	4.5
BH3	Ácidos orgánicos enzimáticos (10.0 %), extracto de plantas silvestres alelopáticas (38 %), toxinas de <i>Puccinia</i> spp (2 %), resina de pino no iónica (20 %) y diluyente (30 %).	T7	1.5
		T8	3.0
		T9	4.5
BH4	Aceite de conífera (40 %), extracto de <i>Datura stramonium</i> (10 %), extracto de plantas alelopáticas (42 %), metabolitos (2 %), aceite de coco hidrogenado (6 %).	T10	1.5
		T11	3.0
		T12	4.5
BH5	Aceite de Neem (20 %), ricino y soya (<i>Glycine max</i>), sales potásicas (10 %) y diluyentes (30 %)	T13	1.5
		T14	3.0
		T15	4.5
BH6	Ácido acético (5 %), metabolitos de <i>Puccinia</i> spp (0.50 %), extracto de plantas silvestres (20 %) y surfactantes (4.5 %).	T16	1.5
		T17	3.0
		T18	4.5
BH7	Esporas de hongos bioherbicidas (1 %), ácidos orgánicos bacterianos (35 %), extractos de plantas silvestres (60 %) y acondicionadores (6 %).	T19	1.5
		T20	3.0
		T21	4.5
BH8	<i>Larrea tridentata</i> (50 %), vinagre comercial (50 %) y cloruro de sodio (2 %).	T22	1.5
		T23	3.0
		T24	4.5
TR	Glifosato (sal de isopropilamina, N-fosfonometil-glicina).	T25	0.8
TA	Testigo absoluto	T26	0.0

BH: Bioherbicida comercial (BHO1 a BHO7) a base de extractos vegetales; BH8: Bioherbicida experimental; T: Tratamiento. Nota. TR: Dosis del glifosato fue en gramos de ingrediente activo.

El agua que se utilizó para la aplicación fue agua potable comercial con un pH= 5.64. La evaluación de la toxicidad de los herbicidas sobre la maleza se utilizó la escala propuesta por la Sociedad Europea de la Investigación de la Maleza (EWRS). A los 21 días después de la aplicación (DDA), se realizó la evaluación por medio estimaciones visuales del 0.0 al 100.0 %; donde 0.0 % indica sin efecto y 100.0 % la muerte de la planta.

El análisis estadístico se realizó de dos formas: 1) Con un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores fueron bioherbicidas (BH=BH1, BH2, BH3, BH4, BH5, BH6, BH7 y BH8) y dosis (D=1.5, 3.0 y 4.5 %), no se incluyó el testigo regional, porque solo fue una dosis, ni el testigo absoluto y 2) Un análisis en bloques al azar completos con todos tratamientos, con tres repeticiones (PROC GLM), la comparación de medias con Tukey ($P \leq 0.05$), y se utilizó el Paquete Estadístico SAS versión 9.4 (SAS, 2016). Los datos de control de maleza fueron transformados por arcoseno de la raíz cuadrada de $X/100$ antes de su análisis para homogeneizar varianzas y los resultados mostrados en las cuadros se presentan retransformados por seno. El costo corresponde a precios del proveedor regional. La proporción del costo se calculó, con base al precio del glifosato testigo regional. En este experimento se presentaron los resultados de cuatro malezas de hoja ancha: meloncillo, trompillo, quelite y amargosa.

Resultados y Discusión

El número de plantas y las especies de malezas presente por metro cuadrado fueron: Ocho plantas de trompillo (*Solanum elaeagnifolium*); cuatro plantas de golondrina (*Euphorbia serpens*), amargosa (*Pathernium hysterothorus*) y meloncillo (*Cucumis melo* var. *Agrestis* Naudin) respectivamente; una de polocote (*Helinathus annuus*); así como otras especies que crecieron esporádicamente en el lote con menos de una planta por metro: correhuella perenne (*Convolvulus arvensis*), hierba blanca o tostón (*Boerhavia erecta*), quesillo (*Sida spinosa*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), correhuella anual (*Ipomea*

hederacea) y pegajosa (*Florestina tripteris*). En los resultados se presentan el control para *Cucumis melo*, *Amaranthus palmeri* y *Solanum elaeagnifolium*. La altura en promedio de planta de las malezas en el lote experimental osciló entre 3 a 8 cm.

Los resultados mostraron que el factor más importante en este experimento que influyó en los resultados es el tipo de herbicida (cuadro 2); esta respuesta se puede atribuir principalmente a la diversidad de compuestos que integran la fórmula de los bioherbicidas; a base de diversos ingredientes de origen botánico e incluyendo microorganismos o sus metabolitos. En segundo lugar, fue la dosis en una proporción casi seis veces menor que el tipo de bioherbicida. La interacción bioherbicida x dosis, tuvo efecto en tres de las cuatro malezas, excepto en el quelite.

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de la varianza. Modelo bloques completos al azar con dos factores.

F.V	g.l	Meloncillo	Trompillo	Quelite	Amargosa	V.A
HO	7	1289.6***	1607.1**	8697.5***	72.0**	63.4
D	2	314.9***	1823.4**	1020.9**	10.7 ns	17.2
HOxD	14	726.8**	279.0 ns	1724.7**	70.2 **	15.2
B	2	21.2 ns	415.7 ns	250.5 ns	19.4 ns	4.1
Error	46	22.3	361.9	232.6 ns	17.3	
Total	71					
C.V.		20.4	15.6	23.5	18.9	

HO: Bioherbicida; D: Dosis; HOxD: Interacción; BF: Bloque; V: Fuente de variación; g.l: grados libertad; CV: Coeficiente de variación. V.A: Varianza acumulada. Significancia estadística: $P \leq 0.05$ (*), $P \leq 0.01$ (**) y $P \leq 0.001$ (***).

El valor de referencia agronómico; para el control eficiente de la maleza; como límite mínimo es de 87.5 % (Pérez *et al.*, 2014). En ese sentido se observó que ningún tratamiento controló en forma eficiente las cuatro malezas objetivo (cuadro 3).

El control de la maleza anual amargosa (*Pathernium hysterothorus*) fue inefectivo o muy pobre con todos los bioherbicidas el efecto no superó el 20 % de control; mientras que el testigo con glifosato alcanzó solo el 68 %; el cual se consideró pobre.

En el caso del trompillo (*Solanum elaeagnifolium*), el control fue variable; esta es una maleza perenne de difícil control. Los mejores tratamientos oscilaron entre 61 % (T3), 65 % (T6) y 65 % (T25 testigo regional con glifosato) este resultado se considera pobre; el resto de los tratamientos tuvieron un control muy pobre; no llegaron ni al 50 % de efectividad.

El meloncillo (*Cucumis melo* var. Agrestis Naudin) y quelite (*A. palmeri*) con el tratamiento 21 tuvo un efecto del 88 % y 90 % respectivamente, el cual se considera suficiente; es decir que se necesitaron invertir 5625 pesos ha^{-1} para alcanzar ese grado de control; es decir, 16 veces más caro en comparación con el glifosato; así mismo este tratamiento mostró inefectividad para el trompillo (38 %) y amargosa (0 %); el cual resultó muy pobre.

La maleza que sufrió mayor afectación por los tratamientos con bioherbicidas fue el quelite (*A. palmeri*) con una eficiencia de 80 % (T4, T5 y T6) y de 85 % o más (T2, T8, T9, T12 y T21) estadísticamente similares al glifosato (cuadro 3). La diferencia más importante está en el precio del tratamiento; el tratamiento más económico para el control del quelite fue con glifosato (350.0 pesos ha^{-1}); mientras que los otros tratamientos fueron de 10.7 a 32.9 veces más caros.

El bioherbicida (T22, T23 y T24) a base del extracto de gobernadora (*L. tridentanta*), se preparó de manera similar a la fórmula que presentan los bioherbicidas comerciales, como se puede observar en la etiqueta de estos productos. Una de sus características, es la formulación líquida; como algunos de los herbicidas sintéticos utilizados en la región; tales como el glifosato. Además, son una mezcla de ingredientes activos de origen vegetal; ningún bioherbicida es extracto puro; se agregan compuestos que sirven incluso como adherentes orgánicos; tales como los aceites (coco y pino). En comparación con los bioherbicidas comerciales el bioherbicida experimental a base de gobernadora, tuvo un efecto similar; aunque sean diferentes los extractos de plantas alelopáticas; para los tratamientos que tuvieron muy pobre nivel de control; por otra parte, para mejorar la efectividad de todos los tratamientos se adicionó durante a aplicación el adherente BIONEX. La literatura menciona que los extractos de la gobernadora se utilizan como biofungicidas (Rámirez, 2011) con efecto citotóxico e inhibidor de enzimas (Lira, 2005); en este experimento no se observaron esos efectos que causaran marchitez, amarillamiento u otro efecto citotóxico; porque en principio se trata de productos cuya acción es de contacto. Así mismo, el incremento de la dosis no influyó

en los resultados. De forma similar esta respuesta; también se observó en los bioherbicidas comerciales, el incremento de la dosis no mejoró, significativamente, el grado de control; excepto los tratamientos T20 y T21 (cuadro 3) cuyos ingredientes activos son a base de extractos de plantas silvestres en un 60 %, según la etiqueta de producto; sin especificar. En este caso, el control del meloncillo incrementó casi al doble al pasar de una dosis del 3.0 (%) al 4.5 (%).

Cuadro 3. Comparación de medias entre tratamientos.

Tratamiento	Meloncillo	Trompillo	Quelite	Amargosa	Costo ha ⁻¹ (\$)	PP
T1	13 bc	23 bc	62 b	0 b	2588	7.4
T2	10 c	35 b	85 a	0 b	5175	14.8
T3	7 c	61 a	70 b	7 b	7763	22.2
T4	10 c	37 b	81 a	15 b	2100	6.0
T5	7 c	43 b	84 a	10 b	4200	12.0
T6	5 c	65 a	81 a	0 b	6300	18.0
T7	15 bc	20 bc	78 b	0 b	3844	11.0
T8	10 c	42 b	89 a	0 b	7688	22.0
T9	13 bc	45 b	93 a	0 b	11531	32.9
T10	10 c	20 bc	47 bc	7 b	2644	7.6
T11	7 c	49 b	70 b	0 b	5288	15.1
T12	5 c	35 b	86 b	7 b	7931	22.7
T13	3 d	10 c	10 d	3 b	1669	4.8
T14	15 bc	13 c	13 d	15 b	3338	9.5
T15	10 c	15 c	22 cd	5 b	5006	14.3
T16	10 c	30 b	79 b	0 b	3375	9.6
T17	8 c	20 bc	77 b	0 b	6750	19.3
T18	0 c	38 b	68 b	10 b	10125	28.9
T19	10 c	15 c	60 b	0 b	1875	5.4
T20	46 b	15 c	86 a	0 b	3750	10.7
T21	88 a	38 b	90 a	0 b	5625	16.1
T22	7 c	12 c	7 d	7 b	750	2.1
T23	7 c	8 c	7 d	3 b	1500	4.3
T24	7 c	8 c	8 d	3 b	2250	6.4
T25	12 bc	65 a	92 a	68 a	350	
T26	0 c	0 c	0 d	0	0	0

T: Tratamientos. Columnas con la misma letra iguales, no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). PP: proporción del costo con base en el testigo regional con dosis de 2 L ha⁻¹ (TR); TA: testigo absoluto. T25: Testigo regional con glifosato. Los costos de los herbicidas derivan de un proveedor local a julio 2023.

Conclusión

La efectividad del control de las malezas de hoja ancha en pre siembra es indistinto del tipo de extracto vegetal y sus coadyuvantes de los diferentes tratamientos que se probaron; ya que ningún producto fue estadísticamente superior en tres dosis y en las cuatro malezas. Este resultado es importante cuando existe una infestación de especies múltiples en un lote. Los tratamientos con gobernadora tuvieron un control muy pobre, similar a otros bioherbicidas comerciales. El incremento de la dosis no aseguró un aumento del grado de control. Ningún tratamiento tuvo un control agrónomicamente aceptable en el control del trompillo; en el caso de la amargosa; aun fue menor el control con los bioherbicidas. En el caso del meloncillo y quelite, se observaron tratamientos alternativos al glifosato; pero el costo es muy alto, por lo tanto, de difícil adopción para los agricultores de la región.

Fuente financiera

Proyecto 12555536716: Alternativas al uso del glifosato para el control de maleza en México 2024.

Referencias bibliográficas

- Khamare, Y., Chen, J. and Marble, S. C. 2022. Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Front. Plant Sci.* 13:1034649. doi: 10.3389/fpls.2022.1034649.
- Lira, S., R. H. 2005. Estado actual del conocimiento sobre las propiedades biocidas de la gobernadora [*Larrea tridentata* (D.C.) Coville]. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 21(2): 214-222.
- Moreno-Limón, S., González-Solís, L. N., Salcedo-Martínez, S.M., Cárdenas-Ávila, M.L., y Perales-Rámirez, A. 2011. Efecto antifúngico de extractos de gobernadora (*Larrea tridentata* L.) sobre la inhibición in vitro de *Aspergillus flavus* y *Penicillium* sp. *Polibotanica.* Núm. 32, pp. 193-205.
- Pérez, M, L., Castañeda C, C., Ramos T. M., Tafoya, R. J. A. 2014. Control químico preemergente de la maleza en tomate de cáscara. *Interciencia,* 39(6), 422-427.
- Rivera-Escareño D., García-Flores, D. A., Ortega-Amaro, A., Loera-Alvarado, G., y Cadena-Iñiguez, J. 2024. Gobernadora (*Larrea tridentata*), planta del semidesierto con alto potencial de aprovechamiento. *Agro-Divulgación,* 4(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v4i1.289>.



ESTUDIO DE CASO DE UN RANCHO DE HATO MIXTO Y EL IMPACTO DE UNA SEQUÍA PROLONGADA

Jair Vladimir Lovera-Rivas¹, Laura Paloma González-Maldonado¹, Jorge Eduardo Vieyra-Durán¹,
Elizabeth Zavala-Martínez^{1*}, Daniel Téllez-Bautista¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa

*Autor para correspondencia: zavalaeli1012@gmail.com

Palabras clave. Adaptación, sequía, resiliencia.

Introducción

El agua es un recurso esencial, aproximadamente el 70% del agua que llueve en el país se evapora y regresa a la atmósfera, el resto escurre por los ríos o arroyos o se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Las aguas subterráneas son destinadas a diferentes actividades en el país, el 56.7% para abastecimiento público, el 36.6% para uso agropecuario y el 4.9% para industria (CONAGUA, 2019). El municipio de Jilotepec, la presa Huapango ubicada en los límites de los municipios de Acambay, Aculco, Jilotepec, Polotitlán y Timilpan contribuye de manera significativa al riego para uso agrícola, ganadero y acuícola (García, 2019). En la comunidad de el Saltillo, Jilotepec, parte del agua que consumen las vacas es abastecida de la Presa Huapango, la cual ha mostrado una disminución en sus niveles de almacenamiento durante los últimos años. En 2020 se registró una reducción del 50% de su capacidad, en 2021 del 34.7% y para el 2024 se encontraba a menos del 30% de su capacidad (SIAP, 2021), lo anterior perjudicó la producción agrícola y ganadera de la región, ya que los productores utilizan esta agua para darle de beber al ganado, así como para regar sus siembras, debido a que la mayoría de los productores tienen cultivo de temporal y en ocasiones las lluvias son escasas para cubrir las necesidades de los cultivos. Por ello se recurre a utilizar como fuente de suministro principalmente la Presa Huapango para el riego (García, 2019). No obstante, desde 2023 con las prolongadas sequías ha ido disminuyendo su uso, pasando a cubrir las necesidades del ganado con agua extraída de un manantial. En cuanto a los cultivos del 2024 se perdieron más del 50% de la siembra debido a la escasez de lluvias. En este sentido se realizó un estudio de caso en un rancho de hato mixto, ubicado en el municipio de Jilotepec, Estado de México.

Objetivo

Analizar el impacto de una sequía prolongada, así como conocer las medidas de adaptación y mitigación implementadas en un rancho de hato mixto cerca de la Presa Huapango (500m de distancia).

Materiales y Métodos

Esta investigación se realizó bajo un estudio de caso, el análisis se realizó en una Unidad de Producción (UP) durante el periodo comprendido desde abril 2024 hasta marzo de 2025, en el cual se documentaron los efectos de la sequía y las estrategias de manejo implementadas por el productor para la mitigación y adaptación de la UP. Los datos analizados fueron calidad del agua de la Presa Huapango (Pre-H) y el manantial (Man-) fuentes principales de suministro de agua para el hato. Se evaluó PH, Demanda química de oxígeno del agua (DQO), Sólidos suspendidos totales (SST) y Conductividad Eléctrica (CE). Además, se obtuvieron los datos de las variables: A) productivas (producción de leche, ganancias de peso, etc), B) riesgos y costos económicos (costos de alimentación e ingresos) y C) ambientales (disponibilidad de forraje, acceso al agua, etc). Finalmente, los datos fueron analizados a través de estadística descriptiva y gráficos para su interpretación.

Resultados y Discusión

La presa Huapango es una de las principales fuentes de agua para los animales, no obstante, ha mostrado una disminución en sus niveles de almacenamiento durante los últimos años. Por otra parte, en el análisis de la calidad del agua de la Pre-H (cuadro 1) mostraron niveles por encima de lo recomendado de materia orgánica (82.4%), lo que indicó una mala calidad del agua para el uso en la producción pecuaria, lo cual es perjudicial para la salud de las vacas originando trastornos digestivos, posiblemente derivado de aguas

residuales o descomposición de materia vegetal. Los valores de ST (791 mg/L), SST (389 mg/L) también fueron altos, lo que se traduce en una importante contaminación del agua, pudiendo afectar la salud del ganado. De acuerdo con la SEMARNAT (2008) los SST se encuentran presentes en aguas residuales y erosión del suelo y su incremento hace que el cuerpo de agua pierda la capacidad de soporte de vida acuática. En cuanto a valores de la DQO del 48% indico una alta concentración de materia orgánica presente en los cuerpos de agua, lo cual incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua, teniendo como consecuencia la afectación de los ecosistemas acuáticos.

Cuadro 1. Evaluación del agua de la Presa Huapango, Jilotepec, Estado de México (12-04-2024).

Variable evaluada	Valor obtenido
Ph	7.28
Sólidos orgánicos	82.40%
ST	791 mg/L
SST	389 mg/L
SSV	213 mg/L
DQO	48% esta disuelto

En consecuencia, a lo anterior se tomó la decisión de suspender el uso de la Pre-H como fuente hídrica y sustituirla por agua del Man- cuya calidad se puede observar en el cuadro 2, la cual presento valores de pH (6.4) y valores de CE (220 μ S/cm) aceptables para el consumo animal.

Cuadro 2. Evaluación del agua de manantial (03-05-2024).

Variable evaluada	Valor obtenido
Conductividad eléctrica	220 microS/cm
Ph	6.4

Producción pecuaria

En cuanto a medidas de mitigación, se empleó la inseminación artificial con razas de alto rendimiento productivo y adaptadas al ambiente, como Holstein, Suizo y Angus, permitiendo así mejorar la eficiencia productiva del hato y evitar la consanguinidad. Así mismo la alimentación del ganado fue ajustada de acuerdo con la disponibilidad de forraje. Durante los periodos de escasez de pasto, el ganado fue confinado en corrales y alimentados con rastrojo de maíz a libre acceso, complementado con pacas de zacate y concentrado elaborado con subproductos agroindustriales, con la finalidad de reducir costos de producción.

Bovinos de leche

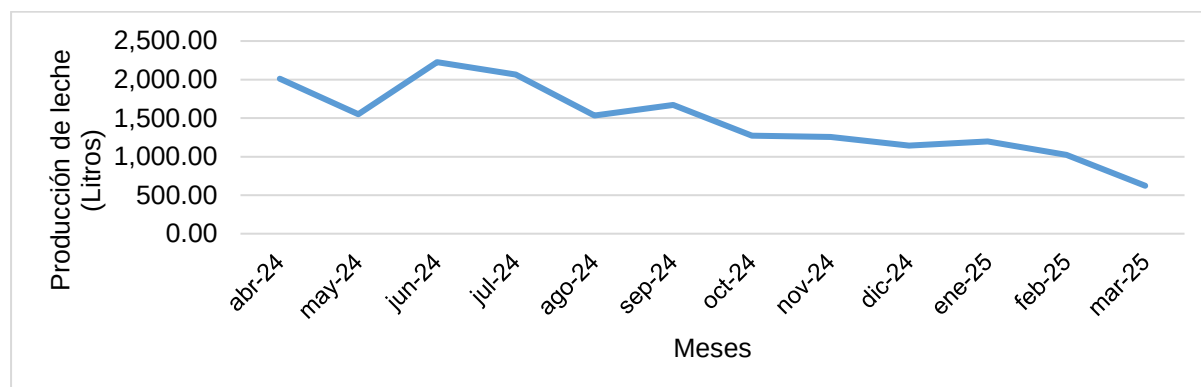
El hato ganadero de bovino de leche estuvo conformado por siete vacas. El promedio de días de gestación fue de 283 días. Durante la época de sequía la alimentación del ganado fue ajustada de acuerdo con la disponibilidad de forrajes. En el cuadro 3 se muestra la composición, cantidad y costos de la alimentación del ganado.

Cuadro 3. Ingredientes del alimento concentrado para las vacas.

Ingredientes	Cantidad (kg)	Precio Unitario	Costo total (\$)
Maíz Molido	400	\$ 6.00	\$ 2,400.00
Cascarilla de Soya	40	\$ 5.10	\$ 204.00
Pollinasa	480	\$ 2.50	\$ 1,200.00
Alimento Comercial	40	\$ 10.00	\$ 400.00
Galleta	40	\$ 7.00	\$ 280.00
Total	1000		\$ 4,484.00

En la figura 1 se muestra la producción de leche durante el periodo de estudio, en la cual se puede observar una reducción mensual en la producción de leche entre abril 2024 y enero de 2025. Lo cual se le puede

atribuir al cambio en la dieta y la restricción parcial del pastoreo debido a la baja disponibilidad de forraje y la escasez de lluvia, en sistemas de pastoreo la suplementación del ganado es importante para mejorar la producción de leche. Por lo tanto, la falta de una suplementación adecuada puede estar fuertemente relacionada con una baja productividad del ganado. Lo anterior muestra una marcada dependencia del sistema a las condiciones ambientales. Por otra parte, de enero a marzo de 2025 se encontró otra disminución drástica provocada por la seca de tres vacas y la muerte de otra.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Litros de leche producidos durante el periodo de estudio.

Bovinos de engorda

Los bovinos de engorda fueron comprados a otros productores en etapa de ceba y permanecieron en el corral de tres a cinco meses hasta alcanzar su peso ideal para ser vendidos. Por otro lado, se tuvo ganado producido en la mismo UP, las vacas fueron inseminadas con razas de carne (Angus) y las crías nacidas se dejan para ser engordadas y vendidas en canal, permanecen en el corral aproximadamente dos años desde que nacen hasta el sacrificio. Los animales se mantuvieron en corrales separados por etapa fisiológica para evitar conflictos entre el ganado. El cuadro 4 muestra el total de kg de carne en canal obtenidos durante 2024 (722 kg), en contraste en el cuadro 5 se muestran los de 2025 (535 kg), generando un ingreso total de \$118,070. Cabe mencionar que, a pesar de la sequía, la producción de carne se mantuvo lo que permitió obtener ingresos estables para esta actividad.

Cuadro 4. Producción de bovinos en canal 2024.

Tipo de Bovino	Peso en canal (kg)	Precio por kg (\$)	Ingreso total (\$)
Toro	251	\$95.00	\$23,845.00
Toro	237	\$95.00	\$22,515.00
Toro	234	\$95.00	\$22,230.00
Total	722		\$68,590.00

Cuadro 5. Producción de bovinos en canal 2025.

Tipo de Bovino	Peso en canal (kg)	Precio por kg (\$)	Ingreso total (\$)
Toro	266	\$95.00	\$25,270.00
Becerra	269	\$90.00	\$24,210.00
Total	535		\$49,480.00

Ovinos de engorda

La engorda de ovinos se manejaron entre 40 y 60 animales, divididos en cuatro corrales clasificados por edad, sexo y capacidad de carga de acuerdo con la estación del año. La alimentación se basó en una dieta mixta compuesta por concentrado y forraje. El objetivo de la producción fue de carne que se vendió en canal y el destino principal incluyó restaurantes ubicados a orilla de la carretera en el tramo México-Querétaro entre Polotitlán y Palmillas, así como entregas locales.

La dieta para los ovinos en etapa de engorda contemplo los siguientes ingredientes (cuadro 6). El costo por kilogramo de alimento fue de \$4.81 pesos y un total de \$4,814.00 por tonelada.

La compra de ganado ovino se realizó tanto por Peso Vivo (PV) (cuadro 7) y por unidad (bulto) (cuadro 8). Cabe mencionar que la adquisición del ganado se dio por compra de oportunidad y demanda. A continuación, se desglosa los detalles de las adquisiciones.

Cuadro 6. Composición de la alimentación de los ovinos.

Ingredientes	Cantidad (kg)	Precio (MXN)	Costo (MXN)
Maíz molido	400	\$6.00	\$2,400.00
Pollinaza	420	\$2.50	\$1,050.00
Cascarilla de soya	40	\$5.10	\$204.00
Galleta	40	\$7.00	\$280.00
Concentrado (comercial)	80	\$10.00	\$800.00
Minerales	20	\$4.00	\$80.00
Total	1000		\$4,814.00

Cuadro 7. Ovinos comprados en PV por kg.

Tipo de ovino	Peso promedio por animal	kg en PV	Precio por kg	Total (MXN)
6 Machos	40	240	75	\$18,000.00
6 Corderas	38	228	70	\$15,960.00
3 Machos	43	130	75	\$9,750.00
2 Machos	34	69	73	\$5,037.00
1 Borregas	38	38	60	\$2,280.00
1 Borregas	43	43	60	\$2,580.00
Total		748		\$53,607.00

Cuadro 8. Compra de ovinos por bulto.

Tipo de ovino	N de animales	Precio unitario	Total (MXN)
Macho	1	\$3,900.00	\$3,900.00
Macho	1	\$3,750.00	\$3,750.00
Macho	1	\$3,100.00	\$3,100.00
Borrega parida	2	\$1,100.00	\$2,200.00
Total	5		\$12,950.00

Provisión de insumos estratégicos ante eventos climáticos

Como parte de las acciones de adaptación se contempló la anticipación de compra de insumos para la alimentación del ganado, debido a que se prevé un incremento de los precios para el año 2025, derivado de los impactos climáticos, como la sequía prolongada y la poca disponibilidad de pastos.

En el cuadro 9 se muestra la compra de maíz (*Zea mays*) de temporada, acumulando un total de 27,444 kg, con inversión total de \$136,176 pesos. Esta estrategia permitirá contar con reservas para la formulación de alimento concentrado y evitar la disminución de la productividad de los animales.

Así mismo, en el cuadro 10 se muestra la adquisición de 1,587 pacas de forraje, con un costo total de \$76,088 pesos, con la finalidad de garantizar la alimentación en periodos de baja disponibilidad de forraje.

Cuadro 9. Volumen de la compra de maíz y precios unitario.

Cantidad (kg)	Precio Unitario	Total (MXN)
6000	\$5.00	\$30,000.00
6000	\$5.00	\$30,000.00
1345	\$5.00	\$6,725.00
2088	\$4.50	\$9,396.00
1169	\$5.00	\$5,845.00
7502	\$5.00	\$37,510.00
3340	\$5.00	\$16,700.00
27444		\$136,176.00

Cuadro 10. Compra de pacas de zacate.

N Pacas	Precio Unitario (MXN)	Total (MXN)
1424	\$42.00	\$59,808.00
53	\$110.00	\$5,830.00
110	\$95.00	\$10,450.00
1587		\$76,088.00

Conclusiones

El cambio climático ha tomado gran importancia en los últimos años, debido a su impacto en el sector agropecuario. Este trabajo evidencio la vulnerabilidad del sistema de producción ante una prolongada sequía, por lo que se han tenido que adaptar y buscar nuevas alternativas para poder alimentar al ganado. Por otra parte, la diversificación del sistema (carne/ leche/ ovinos) permitió aumentar la resiliencia del sistema productivo frente a eventos climáticos extremos, optimizando el uso de recursos disponibles. Finalmente, como estrategia de mitigación de riesgo económico se anticipó la compra de insumos básicos para la alimentación del ganado.

Referencias bibliográficas

- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Estadísticas del Agua en México 2019*. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM_2019.pdf.
- García, M. (2019). *La Cuenca Hidrosocial Presa Huapango, México: Un análisis de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y la gobernanza en cuerpos de agua compartidos*. Agua y Territorio, N. 14, pp. 69-84, Universidad de Jaén, Jaén, España ISSN 2340-8472 ISSN 2340-7743 DOI 10.17561/at.14.4639.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021. Las Unidades de producción agropecuaria son un orgullo de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/unidades-de-produccion-agropecuaria-son-un-orgullo-de-mexico?idiom=es>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). Agua, SEMARNAT. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/agua>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). *Almacenamiento en presas de uso agrícola*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/668774/10_Sep_2021.pdf

EFFECTOS DE LA TECNOLOGÍA DE AGRICULTURA DE AGUA FRÍA (COLDAG) EN LAS PRIMERAS ETAPAS DE DESARROLLO DE COL Y AMARANTO

Alejandro García-Huante^{1*}, Carlos Fernando Gómez-Merino^{1,2}, Libia Iris Trejo-Téllez^{1,3}, Amelia López-Herrera¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal. ²Grupo Colaborativo en el COLPOS Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable. ³COLPOS Campus Montecillo. Programa de Edafología

*Autor para correspondencia: garcia.alejandro@colpos.mx

Palabras clave. ColdAg, germinación, crecimiento inicial.

Introducción

El aumento global de la concentración de dióxido de carbono, principalmente debido al uso de combustibles fósiles y el cambio de uso de la tierra, así como los aumentos en la concentración de metano y óxido nítrico, debidos en su mayor parte a la agricultura, sobrepasan por mucho los valores de la era anterior a la Revolución Industrial (PAHO, 2024). En los últimos cien años la temperatura media mundial de la superficie aumentó alrededor de 0.74 °C y, en caso de que no se tomen medidas capaces de desacelerar este proceso global de calentamiento, es posible que se observe en este siglo un aumento del calentamiento global de entre 2 °C y 5.8 °C, aumento que tendría el potencial suficiente para causar grandes impactos sobre todas las formas de vida existentes en el planeta y serías consecuencias para la producción de alimentos (PAHO, 2024). Además de este panorama, la malnutrición y el desabasto de alimentos son desafíos que enfrenta la humanidad, especialmente en los países con economías menos desarrolladas donde, hasta la fecha, son alrededor de 864 millones de personas en diferentes regiones del mundo las que sufren estos problemas (Steckel et al., 2004; PAHO, 2024). Es por esto que se han desarrollado nuevas tecnologías que permiten producir alimentos en condiciones limitativas y que son energéticamente eficientes y ambientalmente sostenibles a largo plazo (Xiao et al., 2024). Una de ellas es la agricultura de agua fría (ColdAg) o acondicionamiento para el enfriamiento del suelo en áreas bajo condiciones controladas de clima cálido, donde se genera un estrés térmico en las raíces del cultivo, obteniendo plantas con un mejor desarrollo y crecimiento (García-Huante et al., 2024). Dicha tecnología se desarrolló a partir de un sistema de energía renovable marina conocida como Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), por medio de la cual se bombea agua marina profunda fría y agua superficial cálida para producción de energía eléctrica, además de aprovechar el volumen de agua oceánica para generar cultivos de zonas templadas en áreas tropicales (García-Huante et al., 2024). Bajo estas condiciones, se han reportado mayores rendimientos por unidad de área, así como una mayor eficiencia en el uso del agua, en comparación con cultivos en condiciones de agricultura convencional (ConvAg). Esta tecnología se ha implementado en algunos países asiáticos con áreas densamente pobladas y donde el consumo de col, lechuga, tomate y rábano es alto como Japón, Corea del Sur y Malasia (Ghosh y Ganguly, 2017).

Objetivo

Comparar el efecto de las condiciones de agricultura de agua fría (ColdAg) y agricultura convencional (ConvAg) en variables de germinación y producción de biomasa fresca y seca para la col (*Brassica oleracea* var. *capitata*) y tres variedades mejoradas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) Areli, PQ2 y Diego.

Materiales y Métodos

Material biológico y establecimiento del experimento

Se utilizaron semillas de col (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.) cv. Royal Vantage (Sakata Seed America, Morgan Hill, CA, USA) y semillas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) de tres variedades mejoradas (Areli, PQ2 y Diego), producidas en el Lote X-16 del campo agrícola experimental del Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Chapingo, Texcoco, Estado de México (19° 29' 30" LN; 98° 52' 41" LO; 2240 m de altitud). La investigación se realizó en cámaras de germinación (Shellab® LI15; Cornelius, OR, USA) colocándolas en macetas de plástico con sustrato comercial de la marca Nutrigarden® (Querétaro, Qro., México) conformado en proporción por turba de

musgo del género *Sphagnum* (3-10 %), perlita (0.5-1.5 %), corteza de pino y coco molida (25-45 %). El diseño experimental tuvo una distribución completamente al azar, las unidades experimentales fueron macetas de plástico (altura: 7.5 cm, base: 7 cm, boca: 10 cm; volumen total: 300 mL), con 10 semillas por unidad experimental (tres para col y 9 para amaranto) que se colocaron a una profundidad de 0.5 cm en arreglo horizontal. Para el caso de la col, fueron 30 semillas en total mientras que para el amaranto fueron 90 semillas en total. Los tratamientos fueron agricultura convencional (ConvAg) y agricultura de agua fría (ColdAg), con tres repeticiones por variedad.

Para el establecimiento de las semillas en condiciones de ColdAg, a la altura media de cada maceta se hizo pasar una manguera de plástico de 0.9 mm de diámetro de forma horizontal, a través de las cuales se recirculó agua destilada fría (14.8 °C) de manera constante, en un sistema de circuito cerrado, con la finalidad de enfriar el sustrato colocado en las macetas. El agua fría se desplazó por medio de un enfriador de agua (S&A CW-3000; Guangzhou, China), que tiene integrado una bomba hidrostática, un serpentín metálico y un ventilador. Las unidades experimentales del tratamiento ColdAg se colocaron dentro de una cámara de germinación (Shellab® LI15), sobre una charola de plástico. Las condiciones de incubación fueron: temperaturas diurna y nocturna de 35 y 30 °C, respectivamente; 12 h de luz; humedad relativa de 85 %; e intensidad luminosa de 334 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por otro lado, para el establecimiento de las semillas en condiciones de ConvAg, las condiciones de incubación de la cámara de germinación fueron: temperaturas diurna y nocturna de 25 y 20 °C, respectivamente; 12 h de luz; humedad relativa de 70 %; e intensidad luminosa de 334 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. En este tratamiento, no se recirculó agua fría para enfriar el sustrato en la zona radical.

Germinación

Cada 24 h por 23 d se realizó el registro de semillas germinadas. Con estos datos, se estimaron las siguientes variables: tiempo medio de germinación (T_{50}) que es el número de días que transcurren desde la incubación hasta que se alcanza el 50 % de germinación; porcentaje de germinación (PG) que describe el valor más grande de germinación obtenido del total de semillas sembradas; germinación diaria total (GDT) que es el valor de semillas germinadas por día hasta el final del proceso e índice de germinación (IG) que indica la calidad de las semillas por medio del crecimiento de las plántulas en condiciones favorables. Estas variables fueron medidas con base en las metodologías descritas por González-Zertuche y Orozco-Segovia (1996) y Kader (2005).

Crecimiento inicial

A los 23 d después de la siembra, las plántulas de col y amaranto fueron cosechadas. De cada repetición se obtuvo el peso de la biomasa fresca, y después de su secado en estufa de aire forzado (BINDER GmbH, FD115, Tuttlingen, Alemania) a 72 °C por 72 h, se obtuvo el peso de la biomasa seca. En ambos casos se utilizó una balanza analítica (Adventurer Pro AV213C, Ohaus; Parsippany, NJ, USA).

Análisis Estadístico

Con los datos obtenidos se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad para conocer el tipo de distribución, así como un análisis de varianza. Las medias fueron comparadas con la prueba de Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Tukey con un valor significancia del 95%. Para estos análisis se utilizó el software estadístico SAS versión 9.4.

Resultados y Discusión

Germinación y crecimiento inicial en col

En este estudio se observó que el enfriamiento del suelo y calor del medio retardó el proceso germinativo y posteriormente lo prolongó lo que impactó el porcentaje de germinación total, observándose un 4 % mayor en ColdAg que en ConvAg. En cuanto a la germinación diaria se registraron diferencias entre tratamientos, observándose que el tratamiento ConvAg superó al ColdAg en 128.9%. Lo anterior puede deberse a que el enfriamiento del suelo ocasiona que la humedad sea suficiente en el sustrato o suelo para que el proceso germinativo se lleve a cabo. De igual manera, si se combinan temperaturas altas en el ambiente y bajas en el suelo se pueden tener mejores condiciones para la germinación, puesto que la humedad relativa puede aumentar 20 % y de esta manera, se puede tener suficiente humedad en suelo.

En cuanto al crecimiento inicial, los tratamientos afectaron significativamente la producción de biomasa fresca y seca de las plántulas que fueron cosechadas 23 d después de la siembra. La biomasa fresca de plántula en el tratamiento ColdAg superó al tratamiento ConvAg en aproximadamente 66.3 %; mientras que, la biomasa seca de plántula del tratamiento ColdAg fue mayor en 149.7 % a ConvAg. El enfriamiento del suelo genera condensación del vapor de agua existente entre los poros del suelo y permite la humedad

suficiente para que las raíces puedan absorber y transportar el agua, generando un mayor desarrollo de las plántulas.

Germinación y crecimiento inicial en amaranto

Bajo el tratamiento ColdAg se logró un valor superior al 80 % de germinación con respecto a las semillas germinadas bajo condiciones de ConvAg donde se obtuvieron valores entre 20 y 53 %. Esto es debido a que, en nuestras condiciones experimentales, las semillas expuestas a ColdAg tuvieron una temperatura de suelo de 14.8 °C promedio, mientras que en superficie la temperatura fue de 35 °C, lo que ocasionó mayor acumulación de humedad en el suelo producto del enfriamiento y condensación de la humedad ambiental. Todo ello indujo un mayor porcentaje de germinación en estas condiciones. Dado que la tasa de absorción de humedad de la semilla aumenta con la temperatura y viceversa, el hecho de tener una temperatura ambiental de 35 °C en ColdAg, pudo haber estimulado procesos de iniciación, ramificación y orientación de raíces, lo que mejora indicadores de crecimiento, producción de biomasa, absorción de nutrientes y rendimiento.

En cuanto al índice de germinación (GI), en el caso de la variedad mejorada Areli no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, lo contrario para los de PQ2 y Diego. Esta variable indica la calidad de las semillas, es decir, indica la cantidad de plántulas que cuentan con las estructuras esenciales para continuar con su crecimiento en condiciones favorables. En los casos de las variedades mejoradas PQ2 y Diego en condiciones ConvAg, este valor fue mucho menor que en condiciones ColdAg: 10.73 y 1.83 para PQ2; 8.16 y 3.23, para Areli, respectivamente, lo que indica que el factor temperatura limitó el índice de germinación en las primeras al no permitir una absorción de humedad suficiente para que el proceso fuera adecuado. Esto concuerda igualmente con observaciones donde las altas temperaturas (≥ 25 °C), las amplitudes térmicas (≥ 7.5 °C) y la alta humedad del suelo favorecen la germinación de diferentes especies de amaranto como *A. palmeri* y otras especies de amaranto puesto que tuvieron mayores tasas de absorción de humedad y con esto, un mayor porcentaje de germinación, como las semillas sembradas en condiciones de ColdAg.

En el caso de la germinación diaria total (GDT), se observó que en el caso del cultivar Diego no existieron diferencias significativas entre los tratamientos, caso contrario a los cultivares Areli y PQ2. Aquí se observa de nuevo cómo la temperatura es un factor limitante de gran importancia para el proceso germinativo. La tendencia concuerda con el porcentaje de germinación por lo que aquellas semillas de amaranto sembradas bajo condiciones de ColdAg tuvieron un mayor número de semillas germinadas por día, esto debido a que las condiciones de 35 °C en el medio y 14.8 °C en suelo permitieron una mayor absorción de humedad y con ello, la germinación aumentó.

Por último, para el caso del tiempo promedio de germinación (T50), Areli no mostró efectos significativos entre tratamientos para alcanzar el 50 % del total de semillas germinadas, caso contrario a las variedades mejoradas PQ2 y Diego. Las semillas de amaranto sembradas en condiciones de ColdAg alcanzaron el 50 % de germinación entre los días 9 y 10, mientras que en aquellas semillas germinadas en condiciones de ConvAg, alcanzaron el 50 % después de 11 días en el caso de Areli, mientras que en el caso de Diego se alcanzó después de casi 2 días. Sin embargo, al final su porcentaje de germinación permaneció constante en 53 % por lo que la temperatura de 25 °C impidió el proceso debido a que no existió una adecuada absorción de humedad y con ello, la imbibición se vio interrumpida. Para el caso del cultivar PQ2 no alcanzó a germinar el 50 % de las semillas, lo cual concuerda con el dato del porcentaje de germinación que fue del 23 %. De igual manera, la temperatura de 25 °C no permitió una adecuada absorción de humedad y eso impidió el proceso de imbibición.

En el caso del crecimiento inicial, para los tratamientos ColdAg y ConvAg se observan diferencias significativas tanto en la acumulación de biomasa fresca como en la biomasa seca de las plántulas de amaranto. En ambos casos, las plántulas de amaranto que germinaron bajo condiciones de ColdAg tuvieron valores más altos que en las que germinaron en condiciones de ConvAg. Esto es debido a que, el enfriamiento del suelo genera condensación del vapor de agua existente entre los poros del suelo de cultivo y permite la humedad suficiente para que las raíces puedan absorber y transportar el agua, generando un mayor desarrollo de las plántulas. Por otro lado, las tres variedades mejoradas expuestas a condiciones de ColdAg tuvieron una acumulación constante de masa seca a los 35 °C, pero cuando la temperatura disminuyó a 25 °C en condiciones de ConvAg, la masa seca disminuyó de modo significativo. Por lo tanto, es evidente que una temperatura de 35 °C y una humedad de suelo adecuada es la mejor temperatura para el crecimiento inicial de estas tres variedades de amaranto. La temperatura es un factor importante para determinar el vigor del crecimiento temprano de las plántulas, ya que la temperatura de crecimiento

promueve procesos bioquímicos en la región meristemática, lo que resulta en una mejor división celular, alargamiento celular y, por lo tanto, sequedad general y producción de materia.

En el caso de la masa seca de la plántula, este es uno de los parámetros más efectivos para evaluar el crecimiento de la planta, ya que no se ve afectada por fluctuaciones temporales en el contenido de humedad ambiental como la masa fresca. En el caso de las plántulas germinadas en condiciones de ColdAg tuvieron una acumulación constante de biomasa seca a los 35 °C, lo que evidencia que esta es la mejor temperatura para su crecimiento. Esto coincide con estudios que indican que la temperatura óptima de crecimiento promueve los procesos bioquímicos en la región meristemática, lo que resulta en una mejor división celular, elongación celular y, por lo tanto, producción total de materia seca. También se sugiere que el enfriamiento en la zona radicular puede permitir la acumulación de componentes bioactivos que permiten que los nutrientes puedan acumularse en diferentes tejidos de la plántula como las hojas y el tallo, así como un crecimiento muy importante de la raíz pues si bien, esta tecnología permite un mayor desarrollo en biomasa, castiga la hidratación de la plántula por lo que las raíces buscan mayor humedad y eso genera una mayor longitud radicular. Esto se puede observar cuando el enfriamiento tiene una temperatura promedio en suelo entre 10° y 20°C para el caso del amaranto.

Conclusiones

El sistema de agricultura de agua fría (ColdAg), si bien puede prolongar el periodo de germinación de las semillas de col, presenta mejores resultados en producción de biomasa fresca y seca de plántulas en comparación con plántulas que crecen en condiciones de agricultura convencional (ConvAg). En el caso del amaranto también hubo un letargo con respecto a las semillas germinadas en condiciones de ConvAg; sin embargo, presentó mayores porcentajes de germinación, mayor número de semillas germinadas por día, menor tiempo para obtener el tiempo medio de germinación y un mayor índice de germinación. Debido a que el tratamiento de ColdAg permite una mayor absorción de agua a temperaturas altas y con ello una mayor humedad en el suelo, se pueden germinar una mayor cantidad de semillas de amaranto y obtener un mejor desarrollo de las plántulas, consiguiendo mayor acumulación de biomasa fresca y seca que en condiciones de ConvAg. En futuros estudios será necesario investigar los procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares que ColdAg detona en la planta, y que puedan explicar con mayor detalle las respuestas productivas observadas.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Los autores agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico para la realización de este trabajo y al Colegio de Postgraduados campus Montecillo por las facilidades para la realización de los experimentos en sus instalaciones.

Esta investigación fue financiada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México, beca número 562620 de Estancias Postdoctorales por México. El APC fue financiado por el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Los financiadores no tuvieron ningún papel en el diseño, ejecución, interpretación o redacción del estudio.

Referencias bibliográficas

PAHO (2024). Las cifras del hambre se mantienen persistentemente altas por tres años consecutivos, mientras se agravan las crisis mundiales: informe de la ONU. Available in: <https://www.paho.org/es/noticias/24-7-2024-cifras-hambre-se-mantienen-persistentemente-altas-por-tres-anos-consecutivos> (accessed on January 27, 2025).

Steckel, L., Cristy, L. S., Edward, W. S. & Loyd, M. W. (2004). Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Science* 52 (2), 217-221. <https://doi.org/10.1614/WS-03-012R>

Xiao, D.; Liu, D.L.; Zhang, X., & Fan, Y. (2024). Agricultural production in a warmer world: Challenges and sustainable development strategies. *Frontiers in Earth Science*, 12, 1368149. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1368149>

Ghosh, A. & Ganguly, A. (2017). Performance analysis of a partially closed solar regenerated desiccant assisted cooling system for greenhouse lettuce cultivation. *Solar Energy*, 158, 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.030>

García-Huante, A.; Gómez-Merino, F. C.; Trejo-Téllez, L. I. & López-Herrera, A. (2024). Potential of cold-water agriculture (ColdAg) in Mexico: Challenges and opportunities for sustainable food production. Sustainability,16, 4298. <https://doi.org/10.3390/su16104298>



EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA SELVA EL OCOTE, CHIAPAS, MÉXICO

Alma Liz Vargas-de la Mora^{1*}, Gerardo Colín-García¹, Walter López Báez¹, Manuel Jesús Castellanos-Vázquez²

¹INIFAP, CIRPAS, C.E. Centro de Chiapas. ²REBISO, CONANP

*Autor para correspondencia: vargas.alma@inifap.gob.mx

Palabras clave. Sustentabilidad, degradación, Área Natural Protegida, conservación.

Introducción

La Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO), fue decretada el 27 de noviembre de 2000; se conforma por 101,288-15-12.50 hectáreas comprendidas en los municipios Ocozacoautla de Espinosa, Cintalapa de Figueroa, Tecpatán de Mezcalapa y Jiquipilas (DOF, 2001).

Antes del decreto, en el territorio se establecieron asentamientos humanos desplazados de la región Altos de Chiapas, que viven de la producción de cultivos como: frijol, maíz, hortalizas de autoconsumo, café, miel y ganadería. Las familias tienen en promedio tres hectáreas, considerando que es una limitante para el mantenimiento de sus medios de vida, principalmente por la concurrencia de factores como lluvias intensas, periodos cortos de precipitación pluvial, extensión de la época de sequía, el uso de insecticidas por el aumento de plagas (Ruiz-Montoya, 2019).

Del periodo 2005 a 2019 la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO) ha perdido 753 ha por deforestación derivado del cambio de uso de suelo forestal hacia actividades agropecuarias y por incendios. La presión que están sufriendo las zonas de conservación por la creciente demanda de espacios para producir alimentos ponen en riesgo los recursos naturales que alberga la Reserva; la consecuencia es la fragmentación del paisaje, lo que pone en riesgo la movilización de fauna. Además, la apertura de nuevos territorios para desarrollar actividades agropecuarias promueve procesos erosivos y de degradación del ecosistema (Escobar-Ocampo et al., 2023). De acuerdo con el plan de manejo de la reserva la distribución de superficie de acuerdo con el uso de suelo menciona que el 7.2% está dedicado a sistemas de pastizales principalmente inducidos (SEMARNAT, 2001).

En el contexto de cambio climático, se estima que para el año 2039 la REBISO tendrá un incremento promedio de temperatura anual de 0.45 a 1° Celsius y 70 mm menos de precipitación pluvial lo que pone en riesgo el desarrollo de actividades productivas, así como la conservación de la flora y fauna albergada en la REBISO (Ruiz-Montoya, 2019).

Objetivo

Identificar el porcentaje de cambio de uso de suelo en el polígono de la Reserva de la Biósfera Selva el Ocote.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote (REBISO) localizada en el noroeste del estado de Chiapas, México; entre las coordenadas 16°45'40.10" a 17°08'55.77" de Latitud Norte y 93°21'43.50" a 93°54'25.19" de Longitud Oeste.

Utilizando imágenes satelitales Landsat y/o RapidEye a nivel mensual con resolución espacial de 30 m generadas por el Sistema de Monitoreo de Cambio en el Suelo de América del Norte (NALCMS); Se utilizó el software de información geográfica QGIS versión 3.8 de licencia libre en la proyección WGS84 UTM 15 N a través del proceso de álgebra de mapas (Trucio et al, 2013). Los usos de suelo de los mapas se clasificaron con base en las categorías del Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Di Gregorio, 2005; Latifovic et al., 2016) haciendo una modificación en la clasificación, donde se unieron los usos de suelo agrícola y pastizal en clasificación agropecuario. Se realizó un análisis de cambio de uso de suelo de tres periodos 2010, 2015 y 2020.

Resultados y Discusión

Los resultados del procesamiento de los mapas mostraron que la distribución espacial del uso de suelo y vegetación para el año 2010 de la REBISO (figura 1) presenta una amplia dominancia del BLAP ya que cubre el 65.70% de la superficie ya que se distribuye de este a oeste, seguido de AGRO que cubre el 28.57% que se localiza principalmente en el área de ubicación de los núcleos agrarios (ejidos). De igual manera, la ubicación de la categoría ASHUM corresponde a la ubicación de las principales localidades ubicadas de la REBISO (NALCMS, 2020).

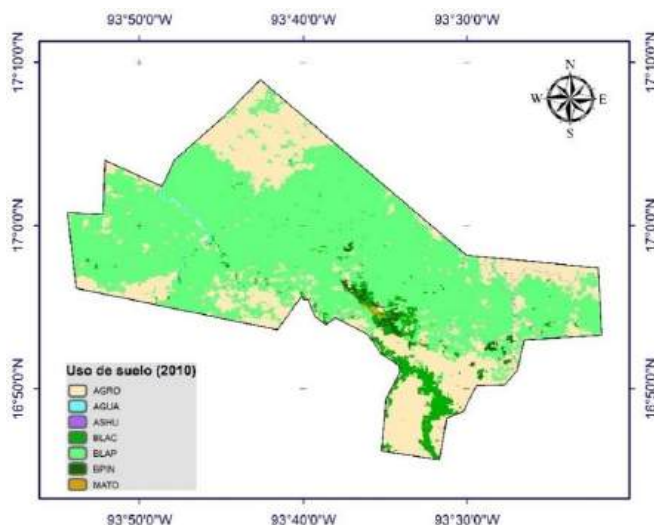


Figura 15. Distribución del uso de suelo para el año 2010 de la REBISO, Chiapas, México.

La distribución espacial del uso de suelo y vegetación para el año 2015 de la REBISO (figura 2) presenta una amplia dominancia del BLAP ya que cubre el 74.53% de la superficie, seguido de AGRO que cubre el 23.56% que se localiza principalmente en el área de ubicación de los núcleos agrarios (ejidos) (NALCMS, 2023b).

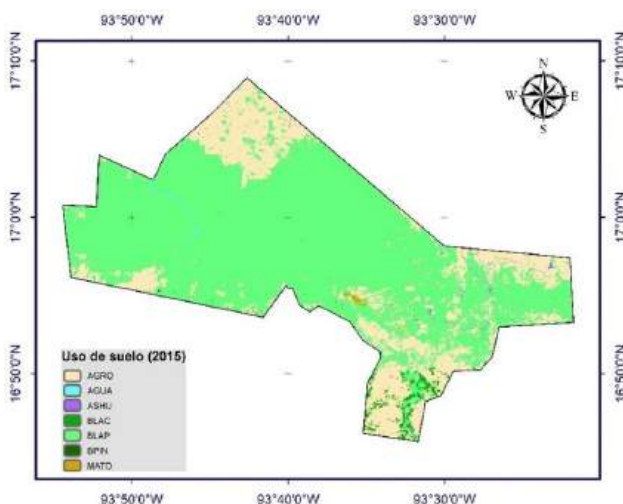


Figura 2. Distribución del uso de suelo para el año 2015 de la REBISO, Chiapas, México.

La distribución espacial del uso de suelo y vegetación para el año 2020 de la REBISO (figura 3) presenta de igual manera una amplia dominancia del BLAP ya que cubre el 72.98% de la superficie, seguido de AGRO que cubre el 24.87% que se localiza principalmente en el área de ubicación de los núcleos agrarios (ejidos) (NALCMS, 2023a).

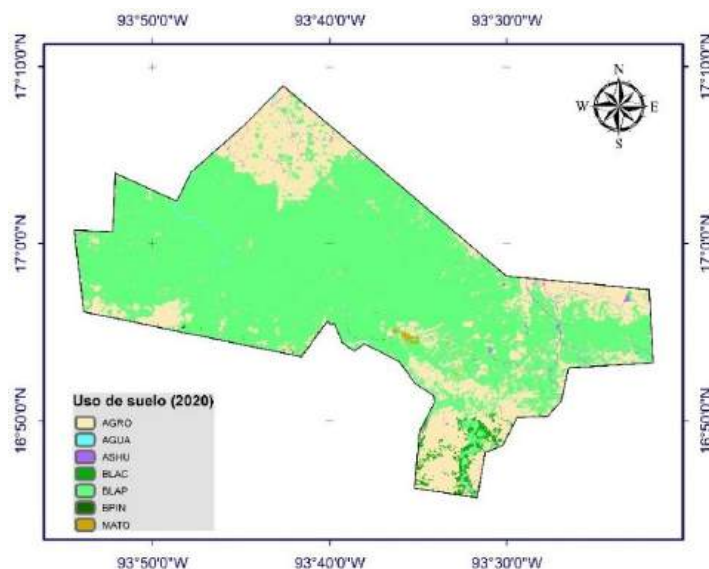


Figura 3. Distribución del uso de suelo para el año 2020 de la REBISO, Chiapas, México.

Finalmente, al comparar las superficies de cambio de uso de suelo (cuadro 1) se puede observar el BLAP es el principal uso de suelo para la REBISO ya que comprende el 73.98%, estos valores coinciden con la clasificación de Uso de Suelo y Vegetación Serie VII del INEGI. Sin embargo, también se puede apreciar que la cuarta parte restante representada por la categoría AGRO representa el 24.87 %. En contraste, para esta categoría INEGI solamente reporta su presencia en el 14.35 % de la REBISO; resaltando que, en los registros iniciales, la REBISO consideraba únicamente 7.2 % de superficie de pastizales de acuerdo con la SEMARNAT (2001).

Cuadro 1. Uso de suelo durante los años 2010, 2015 y 2020 para la REBISO, Chiapas, México.

Descripción	Código	Superficie año 2010		Superficie año 2015		Superficie año 2020	
		ha	%	ha	%	ha	%
Bosque de coníferas templado	BPIN	1,127.28	1.11	46.71	0.05	30.96	0.05
Bosque de latifoliadas perennifolio tropical o subtropical	BLAP	66,551.70	65.70	75,487.43	74.53	75,487.16	72.98
Bosque de latifoliadas caducifolio tropical o subtropical	BLAC	4,063.78	4.01	1,104.56	1.09	663.65	1.09
Matorral templado	MATO	174.96	0.17	176.49	0.17	115.29	0.17
Agropecuario	AGRO	28,935.18	28.57	23,865.47	23.56	24,555.13	24.87
Asentamientos humanos	ASHU	170.55	0.17	300.33	0.30	211.14	0.55
Agua	AGUA	267.94	0.26	310.41	0.31	228.06	0.30

Se ha evidenciado que las áreas naturales protegidas contribuyen a la conservación ambiental, no obstante, el empobrecimiento de la población, la falta de oportunidades fomenta la degradación cultural que impacta negativamente en el territorio desdibujando la vinculación sociedad-naturaleza (Ramos-Muñoz et al., 2018). El análisis de cambio de uso de suelo evidencia que la pérdida de superficie forestal se debe principalmente a un incremento en los asentamientos humanos y no a una expansión agropecuaria como sugieren Escobar-Ocampo et al., (2023).

Conclusiones

El análisis de cambio de uso de suelo es una herramienta que permite no solo identificar cambios en la cobertura forestal, sino también identificar cuáles son los usos de suelo a los cuales se ha transitado; información clave para orientar la toma de decisiones asertiva para promover la conservación de los recursos naturales. De acuerdo con las imágenes históricas de la REBISO, efectivamente se ha perdido una considerable superficie forestal principalmente de latifoliadas caducifolias y coníferas; sin embargo, se registra también una disminución importante de superficie productiva; estos cambios de uso de suelo se ha determinado que es por la expansión de asentamientos humanos.

Agradecimientos

Al personal de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote (REBISO) y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) por el financiamiento del proyecto de investigación titulado “Estudio de límite de cambio aceptable para la planeación y regulación de uso de suelo y las actividades productivas”

Referencias bibliográficas

- Latifovic, R., Homer, C., Ressler, R., Pouliot, D., Hossain, S. N., Colditz, R. R., Olthof, I., Giri, C. P., & Victoria, A. (2016). 20 North American land-change monitoring system. *Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications*, 303.
- Escobar-Ocampo, M. C., Castillo-Santiago, M. Á., Escobar-Flores, R. E., & Chanona-Pérez, S. P. (2023). Cambios en el uso del suelo y su impacto en la conectividad del paisaje en el corredor Selva El Ocote-Finca El Corinto. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945151–e945151. <https://doi.org/10.22201/IB.20078706E.2023.94.5151>
- Ruiz-Montoya, L. 2019. La Reserva de la Biósfera Selva El Ocote, ante e cambio climático. El Colegio de la Frontera Sur, Consultado en: <https://www.ecosur.mx/la-reserva-de-la-biosfera-selva-el-ocote-ante-el-cambio-climatico/>
- SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales]. 2001. Plan de manejo de la Reserva de la Biósfera Selva El Ocote. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas. 151 p.
- Trucio, C.R.; Rivera, G.M.; Delgado, R.G.; Estrada, A.J. y Cerano, P.J. 2013. Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Tierra Latinoamericana* 31(4), 339-346.

MUESTREO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO E INTERPOLACIÓN MEDIANTE KRIGING ORDINARIO PARA MAPEO TEMÁTICO EN ARROZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL

Sergio Salgado-Velázquez^{1*}, Fabiola Olvera-Rincón², Pablo Ulises Hernández-Lara¹, Dante Sumano-López¹, Samuel Córdova-Sánchez³

¹INIFAP, CE Huimanguillo. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. ³Universidad Popular de la Chontalpa³

*Autor para correspondencia: Salgado.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agricultura de precisión, geoestadística, variabilidad espacial.

Introducción

El arroz es considerado uno de los cultivos más importantes en la alimentación de los mexicanos, solo por detrás del maíz, el frijol y el trigo. Entre 2010 y 2020, el consumo per cápita en México aumentó de 9.4 kg a 11 kg, lo que evidencia la creciente necesidad de este grano y su importancia en la dieta de la población. La producción nacional en el año 2024 fue de 36, 877 hectáreas cosechadas, con una producción de 252, 099 toneladas y un rendimiento promedio de 6.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2024). La producción de arroz se está convirtiendo en una prioridad para el gobierno mexicano, el cual está concentrando sus actividades de fomento en transitar hacia una mayor productividad. Por otra parte, la agricultura de precisión se fundamenta en la comprensión de la variabilidad espacial de ciertos factores del suelo y su relación con la producción. Este concepto es esencial para desarrollar sistemas de producción más sostenibles y eficientes, ya que la variación espacial de estos factores ejerce una influencia significativa en la productividad de los cultivos. El conocimiento detallado de las propiedades del suelo es de importancia fundamental para la optimización de prácticas de manejo agrícola. Al mismo tiempo, la distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo se considera un insumo esencial en cualquier planificación agrícola sostenible. Por ello, el mapeo de las propiedades del suelo es una herramienta importante para encaminarse hacia una agricultura de precisión y mejorar las prácticas agrícolas en función de cada zona de manejo sitio específica para elevar los rendimientos de grano en el cultivo de arroz, optimizar insumos y una mejora ambiental.

Objetivo

Determinar la variabilidad espacial de algunas propiedades de un suelo Fluvisol y su relación con el rendimiento de grano de arroz de temporal en condiciones tropicales de Tabasco, México; con fines de generar mapas temáticos que permitan mejorar la gestión de los insumos aplicados.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio. El trabajo se llevó a cabo en un suelo Fluvisol eútrico cultivado con arroz desde hace 20 años, ubicado en los campos experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del municipio de Huimanguillo, Tabasco. La precipitación promedio anual es de 2356 mm, en los meses de febrero a mayo se presenta una temporada de sequía (276 mm), la temperatura mínima promedio es mayor a 20°C. El ciclo de cultivo fue de temporal y establecido el 15 de junio de 2024. **Sitios de muestreo.** La superficie del campo experimental fue de 2150 m², se trazó una cuadrícula equidistante de 8 m en gabinete sobre la imagen satelital del área de estudio para generar 30 nodos que se tomaron como puntos de muestreos y se delimitó el polígono que corresponden a las parcelas cultivadas con arroz. Esto se elaboró con la ayuda del sistema de información geográfica QGIS V.3.10. La ubicación de los puntos de muestreo y los polígonos se cargaron al GPS Garmin Map 65.

Muestreo de suelos. Con la función de navegación se ubicaron los puntos de muestreo en campo. En cada punto, con una pala, se limpió la superficie del suelo para evitar impurezas en la toma de muestras. Posteriormente, con una barrena tipo holandesa de acero inoxidable, se colectó la muestra de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, por cada punto se colectaron dos sub-muestras para tener un peso aproximado de suelo de 1.5 kg de muestra (Salgado-Velázquez *et al.*, 2021). Las muestras de suelo se depositaron en una bolsa de nylon previamente identificada. Posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de análisis de suelo, planta y agua del INIFAP Campus Huimanguillo.

Procesamiento de muestras. Las muestras se extendieron sobre una charola y se desmenuzaron los terrones, para facilitar el proceso de secado, el cual se hizo a la sombra y con aireación. Posteriormente se realizó el tamizado de las muestras a 2 mm en el laboratorio, y se colocó nuevamente en su bolsa para la realización de los análisis de algunas propiedades del suelo.

Variables de estudio. Las variables determinadas en laboratorio fueron: potencial hidrogeno (pH), en agua relación 1:2 y la conductividad eléctrica (EC, mS cm⁻¹); con los métodos descritos en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT (2001).

Resistencia a la penetración del suelo (SPR, kg/cm²). Se determinó sobre la superficie del suelo en cada punto donde se colectaron las muestras de suelos. La medición se realizó con un penetrómetro de bolsillo y se tomaron tres medidas para obtener un valor medio.

Rendimiento de arroz (Yield, kg/ha). Se realizó un muestreo en una grilla irregular de 45 puntos. El muestreo consistió en cosechar el arroz de forma manual, cortando un m² de plantas de arroz con el apoyo de una hoz, se depositaron los tallos en una carretilla y posteriormente se desgranaron. Se determinó el rendimiento de grano, pesando con una balanza analítica los gramos de granos obtenidos en el m² y se ajustó el peso a una humedad del 14%.

Análisis estadístico. Para las propiedades del suelo, se realizó el análisis de la variabilidad de acuerdo con la estadística clásica, y se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión. Para determinar si los datos seguían una distribución normal se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk con la finalidad de detectar diferenciase entre las distribuciones espaciales. Los valores atípicos fueron determinados por la gráfica de cajas y bigotes, y estos fueron reemplazados por la media de los vecinos.

Análisis geoestadístico. Se realizó el análisis con el enfoque de la geoestadística, para lo cual se calcularon los valores de semivarianza experimental para cada variable de estudio con la Ecuación 1.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (1)$$

Dónde $Z(X_i)$ es el valor de la variable Z en la ubicación muestreada X_i , h es la distancia de desfase en metros y $N(h)$ es el número de pares de puntos de muestra separados por h .

Validación cruzada del modelo predictivo. En la validación cruzada, los valores estimados mediante kriging ordinario se compararon con los valores observados en los 30 puntos de muestreo en el área de estudio. Posteriormente, se utilizaron diferentes índices, como el criterio de pérdida de información de Akaike (AIC) y el error cuadrático medio (RMSE) entre las variables observadas y predichas en la validación cruzada, para evaluar el desempeño de la interpolación por kriging (Naranjo *et al.*, 2021).

Resultados y Discusión

Análisis exploratorio de los datos Este estudio presenta una evaluación estadística detallada de parámetros clave del suelo y el rendimiento de grano de arroz, proporcionando información crucial sobre su variabilidad y distribución. El análisis se centra en la resistencia a la penetración (SPR, kg/cm²), el potencial hidrógeno del suelo (pH), la conductividad eléctrica (EC, mS/cm) y el rendimiento del grano (kg/ha). En el cuadro 1 se presentan los valores de tendencia central y dispersión. Los histogramas de frecuencias, el gráfico de burbujas y, de cajas y bigotes se presentan en la figuras 1 y 2.

Cuadro 1. Valores de tendencia central y dispersión para las propiedades del suelo y rendimiento de grano.

Propiedad	Valor min.	Valor máx.	Rango	1st. Q	3rd. Q	M	Me	DS	SW
RSP	0.53	2.7	2.17	0.76	1.25	1.13	1.1	0.499	<0.001
pH	7.41	7.89	0.48	7.69	7.80	7.72	7.76	0.127	0.04
EC (mS/cm)	0.09	0.14	0.05	0.11	0.12	0.11	0.11	0.0126	0.25
Yield (kg/ha)	141	4925	4784	1160.3	2392.2	1923	1888.3	997	0.06

M= Mediana, Me= Media, DS= desviación estándar, SW= Shapiro-Wilk

El pH presentó la menor variabilidad (1.64%), seguido por la EC (11.02%) y la mayor variabilidad en la SPR (44.03%) y el Yield (52.85%). Los valores de variabilidad observados son similares a los que señalan Hou *et al.* (2021), con menor variabilidad pH (3.1%) y la EC (19.9%); y con la mayor variabilidad en el rendimiento del cultivo (45%). El pH del suelo se encuentra clasificado como alcalino (7.4 a 7.9) y la EC de <0.14 indica un suelo sin problemas de salinidad. Aunque la baja salinidad es positiva desde el punto de vista de la toxicidad, también puede indicar una deficiencia de ciertos nutrientes esenciales en forma soluble, como potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y micronutrientes como zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Esto es común en suelos alcalinos, donde el alto pH reduce la solubilidad de estos elementos, limitando su disponibilidad para las plantas. En el caso del pH y de la EC, el coeficiente de variación <20% se considera adecuado para estudios de campo. Los rangos intercuartílicos (1st Q a 3rd Q) revelan una dispersión moderada para el pH y la EC, pero una heterogeneidad considerable en SPR y rendimiento de grano (cuadro 1). Los altos coeficientes de variación observados en algunas variables se deben al manejo irregular al que ha estado sometido la parcela experimental en los últimos años.

La mayoría de las propiedades muestreadas presentaron una distribución donde las medias y las medianas eran similares, revelando así distribuciones que eran solo ligeramente asimétricas a excepción del rendimiento de grano, razón por la cual se pensaría que las distribuciones no se ajustarían a la normal. Para corroborar lo anterior se realizaron las pruebas de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk. De las pruebas solamente coincidió que la EC y el rendimiento de grano, se ajustaron a una distribución normal (cuadro 1).

Análisis geoestadístico. El desempeño de los modelos fue evaluado mediante el análisis de sus errores de predicción. Los errores de predicción de los métodos mejor ajustados se muestran en el cuadro 2. Al analizar los errores de predicción estimados, se evaluó qué tan bien el modelo capturó la variación espacial de cada variable, determinando finalmente su idoneidad para mapear estas propiedades. Para garantizar la fiabilidad del modelo, los valores de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y los criterios de Akaike (AIC) deben ser los más menores posibles (Buladaco *et al.*, 2024). Se determinó que el mejor modelo para pH fue el esférico, para el rendimiento de grano el exponencial y el gaussiano para SPR y EC. Después de elegir los modelos teóricos más adecuados y sus parámetros correspondientes de semivariograma, se generaron mapas de variabilidad espacial.

Cuadro 2. Características de los variogramas y errores de predicción de los modelos con mejor ajuste para las variables de estudio.

Variable	Modelo	Nugget (Co)	Partial Sill (C)	Sill (Co+C)	Range	SDI (%)	RMSE	AIC
SPR (kg/cm ²)	Gau	0.1547	0.1015	0.2562	28.8	60.4	0.0327	-59.09
pH	Sph	0.002703	0.02211	0.024813	39.2	10.9	0.0034	-131.8
EC (mS/cm)	Gau	0.000961	0.000789	0.000175	29.3	54.9	0.00004	-269.7
Yield (kg/ha)	Exp	150000	1100000	1250000	35	12.0	0.993	-457.5

*Raíz del error cuadrático medio (RMSE) y criterios de Akaike (AIC). SDI= $[Co / (Co + C)] \times 100$.

Se reporta que la SPR, pH y EC no presentaron efecto de nugget según los modelos ajustados (cuadro 2). El nugget del rendimiento de grano puede atribuirse tanto a errores inherentes de medición como a variaciones a distancias menores que el intervalo de muestreo. Los valores observados de sill, que es el valor del semivariograma en el cual el modelo se vuelve plano, fueron relativamente pequeños, a excepción del rendimiento. Para el rendimiento de grano fue necesario hacer una transformación pro el método de Box Cox para correr el kriging. La distancia máxima a la cual una variable deja de mostrar dependencia espacial se denomina rango. Los valores de rango para todas las variables de estudio fueron entre 28.3 y 35 m. Un valor bajo de rango indica que las propiedades del suelo están principalmente influenciadas por los valores de sus vecinos inmediatos y menos influenciadas por los valores a distancias mayores. Por otro lado, se determinó el índice de dependencia espacial (SDI) encontrándose que el rendimiento de grano y el pH presentaron con una alta dependencia espacial (<25%) y, SPR y EC como moderada dependencia espacial (25-75%).

Interpolación kriging. La distribución de la variabilidad de las propiedades del suelo de SPR, EC y pH, y el rendimiento de grano se presentan en la figura 1; los cuales se discuten a continuación para cada variable de estudio. La resistencia a la penetración del suelo (SPR) es un indicador informativo para monitorear la

compactación del suelo. La compactación del suelo aumenta la resistencia del suelo al crecimiento de las raíces de las plantas, reduce la porosidad, lo que ralentiza la transferencia de agua y la difusión del aire; y disminuye la tasa de mineralización de nutrientes.

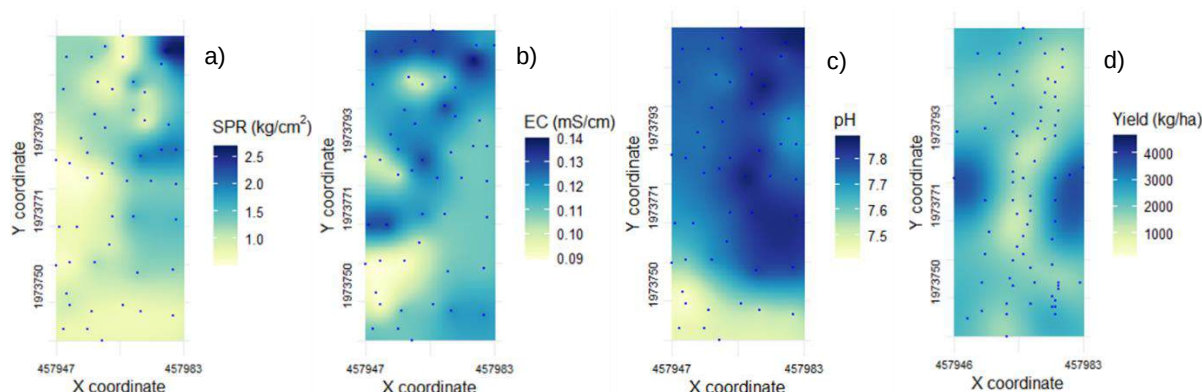


Figura 1. Mapas generados por el método de interpolación kriging para (a) resistencia a la penetración (SPR, kg/cm²), (b) EC (mS/cm), (c) pH y (d) Yield (kg/ha). Puntos azules = puntos de muestreo.

Se ha reportado un efecto inversamente proporcional de la humedad del suelo sobre la SPR, donde la disminución de la humedad del suelo estimulaba el incremento de los valores de SPR. Es importante dado que ello puede restringir la infiltración del agua del riego afectando el rendimiento de grano en la parcela. Aunado a ello, un valor de 2.5 kg/cm² indica que el suelo tiene una compactación suficiente como para restringir el crecimiento óptimo de raíces, y sería beneficioso implementar prácticas de manejo para mejorar su estructura como el subsuelo en toda la parcela. Por ello, se recomienda aplicar abonos orgánicos en forma de compostas para mejorar la estructura y estabilidad de los agregados del suelo con 5 t de compostas de estiércol maduro + 5 t de gallinaza para las zonas >1.5 kg/cm² y, 3 ton de estiércol maduro + 5 t de gallinaza para las zonas <1.5 kg/cm² de SPR. La materia orgánica mejora el crecimiento al reducir el pH de la rizosfera, lo que resulta en una mejor solubilización de nutrientes y mayor disponibilidad para las plantas. Además, la materia orgánica, fuente clave de minerales como N, P y K, mejora la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua (De los Santos *et al.*, 2022). En la zona de estudio se encontraron valores de conductividad eléctrica (EC) menores a 2 mS/cm considerados como un suelo sin problemas de salinidad. Aunque esto es generalmente favorable para el arroz, en este caso sugiere una posible deficiencia de nutrientes disponibles en solución, especialmente micronutrientes esenciales que requieren cierta concentración de sales para estar disponibles para las plantas y también se ha asociado bajos valores de EC a texturas con bajos contenidos de arcilla en el suelo. Cabe mencionar que en la parcela se fertilizó con fuentes de urea (46-0-0) y Triple 17 (17-17-17), con suspensión de riego de 3 a 7 días en cada intervalo de fertilización, no obstante, parece no estar reflejándose en la EC. Por otra parte, la textura del suelo determinado en la parcela es franco-arenosa, siendo necesario aplicar abonos orgánicos para dar mayor estructura al suelo como las compostas de gallinaza ricas en sales; además de mejorar la SPR del suelo (Buladaco *et al.*, 2024). El pH osciló de 7.4 a 7.9, considerados como un suelo alcalino, y con un patrón espacial de valores bajos en la parte sur- suroeste-sureste; y los más altos hacia el norte, lo cual coincide con la distribución espacial de la EC y la SPR. El uso de agua de riego con alto contenido de bicarbonatos (HCO₃⁻) y carbonatos (CO₃²⁻) como las de Tabasco puede contribuir al aumento del pH del suelo, especialmente en suelos con baja capacidad tampón (<2 ms/cm EC). Este tipo de agua, al interactuar con el suelo, puede provocar la precipitación de carbonato de calcio (CaCO₃) y la acumulación de sodio intercambiable, reduciendo la disponibilidad de ciertos micronutrientes esenciales como el hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Esto genera condiciones desfavorables para el desarrollo óptimo de las plantas, manifestándose como clorosis debido a la deficiencia de Fe o Zn, micronutrientes cuya solubilidad disminuye en pH elevados (Guo *et al.*, 2024). Asimismo, en suelos alcalino, el fósforo tiende a formar compuestos insolubles con calcio, hierro y aluminio, lo que lo hace menos disponible para las plantas. Se recomienda aplicar 350 kg/ha de azufre agrícola para la clase de pH <7.5 y 705 kg/ha para la clase >7.5 kg/ha, preferentemente durante la siembra y en la primera fertilización (Salgado-Velázquez *et al.*, 2020). Los valores de rendimiento de grano obtenidos en el intervalo de 0.1 a 4.9 ton/ha se consideran

bajos si se comparan con la media nacional de 6.8 ton/ha. Como se ha discutido, el pH elevado y la baja EC del suelo aunado a la alta compactación del suelo (SPR), son las principales limitantes en la producción del grano de arroz. En este sentido, las fuentes usadas de fertilizantes no son las óptimas para estas condiciones y es necesario utilizar las recomendaciones generadas en base a los mapas de interpolación de kriging de cada propiedad del suelo.

Conclusiones

Con el método de interpolación de kriging ordinario fue posible detectar la variabilidad espacial de las propiedades de suelo y el rendimiento de grano en los diferentes sitios de la parcela, así como la dirección de mayor variabilidad de la propiedad en función de la distancia. Con estos mapas fue posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de la necesidad de cada zona de manejo específica cómo fue la recomendación de dosis de azufre elemental, compostas, prácticas de subsuelo agrícola para mejorar la estructura del suelo y una correcta nivelación del mismo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Leonardo Hernández Aragón cuyo proyecto a su cargo “Mejora genética del arroz en México, para incorporar resistencia a problemas bióticos y abióticos causados por efectos del cambio climático” financiado por el INIFAP permitieron que este trabajo se haya concluido satisfactoriamente.

Referencias bibliográficas

- Buladaco, M. S., Tandugon, H. M. F., Bunquin, M. A. B., Sanchez, P. B., Bugia, S. A. C., Yales, N. A. P., and Casacop, S. M. 2024. Mapping and Assessment of Within-Field Spatial Variability of Soil pH, Electrical Conductivity, and Particle Size Distribution to Delineate Management Zones. *Ecological Engineering & Environmental Technology (EEET)* 25(10). DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/191244>
- De los Santos Ruiz, C., Bucio-Galindo, A., Lopez, D. J. P., Sánchez, S. C., and Velazquez, S. S. 2022. Optimization of the composting process of sugarcane filter-pressed mud in the Santa Rosalia sugar mill, Tabasco, Mexico. *Agro Productividad*. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i10.1991>
- Naranjo, S., Rodrigues Jr, F. A., Cadisch, G., Lopez-Ridaura, S., Fuentes Ponce, M., & Marohn, C. 2021. Effects of spatial resolution of terrain models on modelled discharge and soil loss in Oaxaca, Mexico. *Hydrology and Earth System Sciences* 25(10): 5561-5588. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-25-5561-2021>
- Salgado-Velázquez, S., Salgado-García, S., Rincón-Ramírez, J. A., Rodríguez Jr, F. A., Palma-López, D. J., Córdova-Sánchez, S., and López-Castañeda, A. 2020. Spatial variability of soil physicochemical properties in agricultural fields cultivated with sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Southeastern Mexico. *Sugar Tech* 22(1): 65-75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00742-9>
- SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos de producción agrícola nacional 2024. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR ESTIMADO CON DATOS DE REFLECTANCIA DE SENTINEL-2 Y ALGORITMOS DE MACHINE LEARNING

Sergio Salgado-Velázquez^{1*}, Hilario Becerril-Hernández², Lorenzo Armando Aceves-Navarro², Joaquín Alberto Rincón-Ramírez², Samuel Córdova-Sánchez³.

¹INIFAP, CE Huimanguillo. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. ³Universidad Popular de la Chontalpa³.

*Autor para correspondencia: salgado.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agricultura de precisión, sensores remotos, modelos de regresión.

Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos económicos más importantes del mundo. Es un cultivo tropical utilizado para la extracción de azúcar, especialmente en México. En la Región de la Chontalpa, Tabasco, México; se encuentra el Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ), es el de mayor importancia en el estado; cuenta con una superficie cultivada de 27, 295 hectáreas y con un rendimiento promedio de 43.3 t ha⁻¹, inferior a la media nacional de 58.9 t ha⁻¹ (CONADESUCA, 2024). La información sobre el rendimiento de la caña de azúcar es el punto de partida para la aplicación de estrategias de agricultura de precisión (AP) al manejo de los campos cañeros. Lograr costos mínimos para maximizar el rendimiento de los cultivos con un agroecosistema saludable es el objetivo principal de la AP. Mas aun, ante las cambiantes condiciones climáticas y las fluctuaciones de temperatura y precipitación pronosticados en el futuro cercano. Los mapas de rendimiento de la caña de azúcar a partir de datos de imágenes pueden ser económicos y más fáciles de producir; sin embargo, su precisión limitada puede resultar problemática. Por otro lado, los avances actuales en los métodos de aprendizaje automático (machine learning, ML) podrían ayudar a obtener datos de rendimiento de alta precisión de forma automática y a un menor costo. El método ML implica un proceso de aprendizaje para aprender de un conjunto de ejemplos (datos de entrenamiento) para realizar una tarea y validarlo en datos no conocidos por el modelo (datos de prueba) para medir su desempeño. No obstante, en la región de la Chontalpa, Tabasco, México; es incipiente el uso de herramientas para monitorear el rendimiento y no existen estudios que hayan explorado la integración de imágenes espectrales de Sentinel 2 y técnicas de modelamiento de machine learning para predecir y mapear la biomasa de la caña de azúcar durante su crecimiento.

Objetivo

Desarrollar un modelo predictivo del rendimiento de la caña de azúcar mediante el uso de imágenes espectrales del satélite Sentinel-2 y algoritmos de machine learning, con el fin de generar mapas de rendimiento que sirvan como herramienta para la agricultura de precisión y la toma de decisiones agronómicas en condiciones tropicales.

Materiales y Métodos

Área de estudio. El campo de estudio utilizado para monitorear y muestrear los parámetros de la biomasa seca en caña de azúcar se ubicó dentro de los campos comerciales de la empresa "Impulsora agrícola, Ganadera y Comercial" la cual se encuentra localizada geográficamente entre los 18.204722° de latitud norte y a los -93.533718° de latitud oeste dentro de la zona de abastecimiento del Ingenio Presidente Benito Juárez (IPBJ) en la Chontalpa, Tabasco, México. El ciclo fue una resoca de la zafra 2022/2023. Las variedades en estudio fueron la Méx 58-821 y la Méx 79-431 con una superficie de 60.2 y 80.4 ha, respectivamente.

Descarga de imágenes satelitales Sentinel-2. Se adquirieron imágenes multiespectrales del satélite de la misión Sentinel-2 que consiste en dos satélites: el Sentinel-2A y 2B. Los datos del Sentinel-2 (nivel 1C) vienen incluidas con correcciones radiométricas y geométricas que incluyen orto-rectificación y registro espacial de reflectancia en la parte superior de la atmósfera (TOA, siglas en inglés). Para la región de estudio se descargaron desde el servidor Copernicus Open de la Agencia Espacial Europea (ESA). Portal de Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>), con una cobertura de nubes menor al 20% y

se ubicaron temporalmente las fechas de los meses de junio, septiembre, diciembre del 2022 y, febrero del 2023. Coincidente con los 3, 6, 9 y 12 meses de edad del cultivo, respectivamente.

Procesamiento de imágenes satelitales de Sentinel-2. Las imágenes espectrales capturadas por la misión Sentinel-2 se procesaron usando el software Quantum GIS (QGIS). Este procesamiento incluyó el recorte de las bandas espectrales a la zona de estudio, la creación de una composición de imágenes en RGB (rojo, verde y azul) y la corrección atmosférica. Esto se hizo con el propósito de eliminar píxeles de sombra o datos incorrectos (píxeles que difieren notablemente de los circundantes, posiblemente debido a nubes, sombras de nubes u otros efectos atmosféricos) en las áreas de cultivo de caña de azúcar en estudio (Zhu *et al.*, 2023).

Cálculo de índices de vegetación (IVs). Los IVs fueron determinados en la calculadora Raster del software Quantum Gis para generar los mapas del área de estudio en donde se mostraron los valores de los índices de vegetación de las parcelas cañeras. Se utilizaron las bandas espectrales del Sentinel 2 para el cálculo de los IVs.

Muestreo para determinar la biomasa seca de tallo (kg/ha). Se recolectaron muestras en intervalos de 3, 6, 9 y 11 meses de edad del cultivo en tramos de 2 metros lineales por parcela. Por cada muestreo, se colectaron 20 puntos de 2 metros lineales en cada parcela. La biomasa total fue pesada utilizando una balanza digital con capacidad máxima de 200 kg. Posteriormente, se separaron las hojas y las puntas de los tallos, registrando el peso fresco de los tallos.

Datos meteorológicos. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación climatológica Wacht Dog 2900 ET más próxima a cada ubicación, donde se recopilaban los datos de temperatura del aire (C°), precipitación (mm), evaporación (mm), humedad relativa (%) y radiación solar (MJ/m²). Todos fueron mediciones mensuales.

Procesamiento estadístico. Se realizó el análisis exploratorio de los datos con el enfoque de la estadística clásica para BT (kg/ha) y se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión. Todos los procedimientos se realizaron en R.

Calibración de los modelos de machine learning. Se utilizaron algoritmos de aprendizaje automático (machine learning) para estimar parámetros de biomasa seca de tallos (BT), de follaje (BF) y total (BT) de caña de azúcar. El conjunto de datos se dividió en 70% para datos de entrenamiento (train data) y 30% para el conjunto de prueba (test data). Los modelos fueron de bosques aleatorios (RF, siglas en inglés), máquina de vector de soporte (SVM, siglas en inglés) y regresión lineal múltiple (MLR, siglas en inglés). El modelo de RF fue necesario ajustarlo en el número de árboles (ntree) en 200, el número de variables aleatorias en cada división (mtry) en 6 y el número de nodos (nodeize) en 20 en la librería randomForest de R. El modelo de SVM se ajustó los parámetros de la longitud de búsqueda del grid (tuneLength) en 3 y la función del kernel como radial (svmRadial) en la librería e1071 de R. El modelo de MRL se ajustó como lm en la librería caret de R. El modelo de MLR se utilizó como modelo de comparación para los modelos de machine learning. Para todos los modelos se estableció un control para generar la validación cruzada por el método de K-Folds con 10 bloques. Para analizar el rendimiento de los modelos de regresión, se utilizaron métricas de precisión de los modelos de regresión. Estos son: error cuadrático medio (RMSE, siglas en inglés) y coeficiente de determinación (R^2) de la validación cruzada (Som-ard, *et al.*, 2024).

Resultados y Discusión

Datos meteorológicos. Los valores acumulados totales de precipitación y evaporación fueron de 2498 mm y 3143 mm, respectivamente, durante el ciclo 2022/2023. La temperatura promedio fue de 26.2 °C (figura 1).

Análisis exploratorio de los datos En el cuadro 1, se presentan las medidas de tendencia central y dispersión de la biomasa de tallos (BT, kg/ha) en estudio. Se puede observar que BT presentó distribuciones donde la media y mediana eran similares. Los coeficientes de variación se consideran bajos para la mayoría de los meses (14-25 %). La normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro-Wilk (SW), mostró que todos los meses se distribuyen normalmente. Estos comportamientos se han reportado previamente en el rendimiento y datos de biomasa de la caña de azúcar en condiciones tropicales del sureste mexicano (Sánchez-Jiménez *et al.*, 2024). Asimismo, se observa que la variedad Mex 79-431 presentó valores más altos de biomasa que la Mex-58-21 durante los 3, 6, 9 y 12 meses de edad del cultivo.

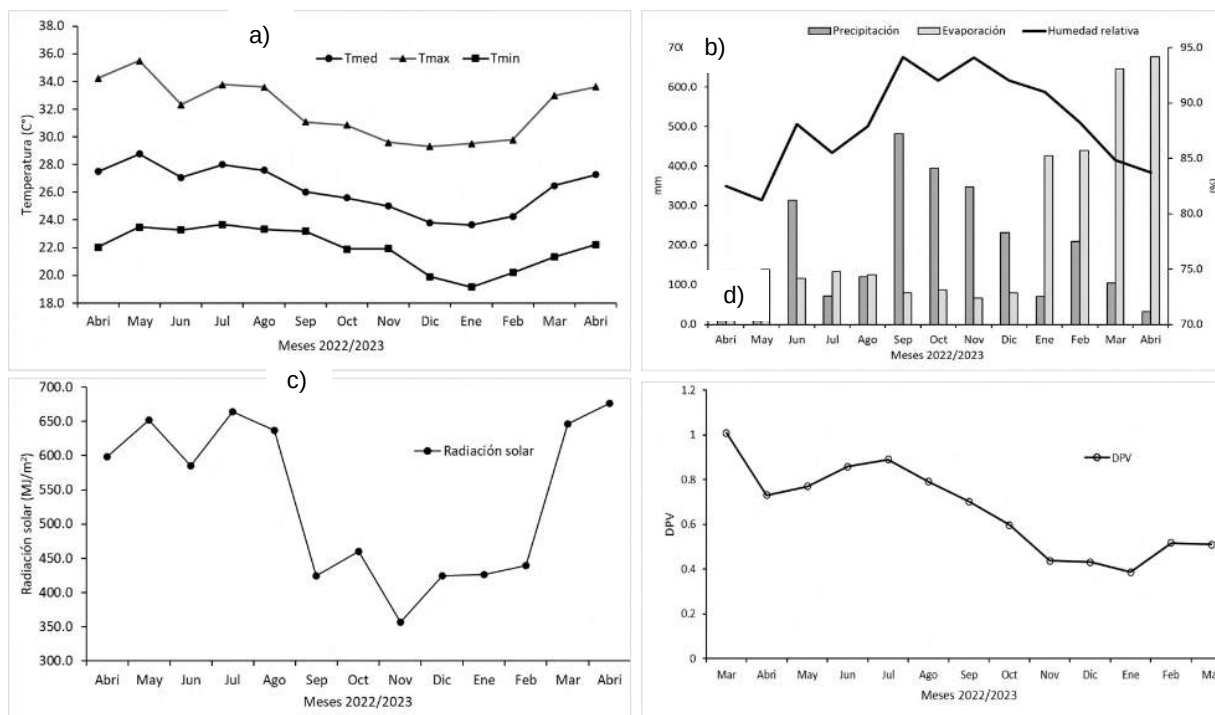


Figura 1. Variables climatológicas obtenidas de la estación meteorológica Wacht Dog 2900 ET en la zona de estudio. a) Temperaturas (°C), b) Precipitación (mm), evaporación (mm) y humedad relativa (%), c) radiación solar (MJ/m²) y d) Déficit de presión de vapor (VPD).

Cuadro 1. Valores de tendencia central y dispersión de la biomasa seca de tallos (BT, kg/ha) en diferentes momentos de muestreo durante la zafra 2022/2023 en la región de la Chontalpa, Tabasco, México.

Mes	Variedad	Variable	Valor mín.	Valor máx.	1er. Q	Me	M	3er. Q	DS	CV (%)	SW
3	Mex 58-821	BT	1566	5290	2723	3348	3367	3739	810	24	0.55
	Mex 79-431	BT	3386	6952	4603	5445	5272	5755	874	16	0.70
6	Mex 58-821	BT	9338	21928	14718	15812	16342	18416	3125	18	0.33
	Mex 79-431	BT	12638	33883	19298	21490	21871	24959	4507	21	0.94
9	Mex 58-821	BT	16931	36061	21011	26970	26712	31841	5930	22	0.23
	Mex 79-431	BT	28145	45886	30351	33781	34261	37155	4631	20	0.38
12	Mex 58-821	BT	47097	75192	54133	61408	61125	68239	8643	14	0.08
	Mex 79-431	BT	46182	87423	58202	69261	68545	79214	12120	18	0.07

*Me = mediana, M = media, Var = varianza, DS = desviación estándar, CV = coeficiente de variación y SW = prueba de Shapiro-Wilk al 0.05. BT = biomasa seca de tallos (kg/ha).

En la figura 2, se visualiza la variación temporal de los valores de los diferentes índices de vegetación (IVs) en estudio. Un hallazgo importante de este estudio fue determinar el comportamiento temporal de los IVs durante el crecimiento y desarrollo de caña de azúcar en condiciones tropicales; encontrándose diferencias entre variedades (Canata et al., 2024). Se deduce que, Mex 79-431 comienza con mayores valores en los

IVs a los 3 meses de edad que Mex 58-821, se presenta un pico máximo registrado para Mex 79-431 a los 6 meses de edad del cultivo que fue descendiendo hasta la cosecha (12 meses de edad); y Mex 58-821 tiende alcanzar su pico máximo a los 9 meses de edad de cultivo para estabilizar su curva y bajar más tenuemente hasta la cosecha. De igual forma, el descenso a final de temporada es debido al inicio del proceso de maduración, que se asocia a una caída del contenido de clorofila y senescencia de las hojas.

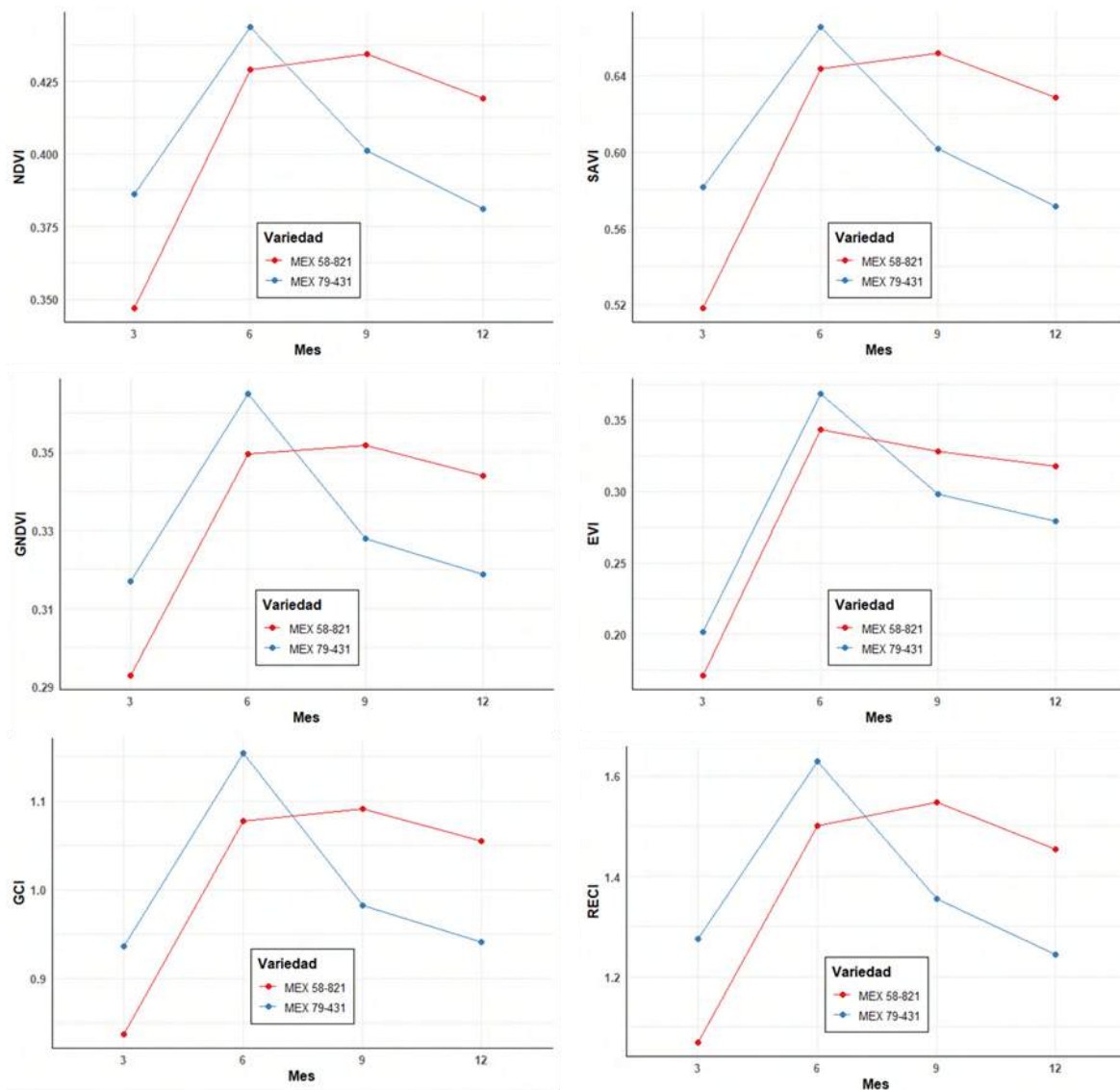


Figura 2. Gráficos de línea de los índices de vegetación (IVs) en estudio.

En la figura 3, se muestra las predicciones de biomasa seca de tallos (BT, kg/ha) realizada con los tres modelos de ML. Se observa que los modelos fueron capaces de detectar los patrones de crecimiento reportados en el cuadro 1, donde al comienzo de la temporada de crecimiento se obtiene los menores valores de BT y conforme avanza el crecimiento aumentan hasta la cosecha. Asimismo, ese aumento de la BT viene acompañada de un decremento de los IVs (figura 2). El modelo RF fue el mejor en predecir la BT y los valores son similares a lo reportado en el cuadro 1. Es la primera vez, que se obtiene resultados sobresalientes en el desempeño de los modelos para predecir el rendimiento en condiciones tropicales de la Chontalpa, Tabasco, México; con el uso de Sentinel 2 y machine learning. Los resultados de este estudio son de interés potencial para múltiples partes interesadas en toda la cadena de valor agrícola, en comprender y predecir la oferta en el mercado de la caña de azúcar a nivel de parcela, área de ingenio y

región, ya que las predicciones de rendimiento de caña de nuestros modelos son factibles a un momento en el que las decisiones de gestión todavía son posibles (figura 3) (Shendryk *et al.*, 2021). En general, las predicciones a nivel de campo podrían usarse para informar la aplicación de fertilizantes (por ejemplo, una aplicación de fondo a mitad de ciclo), la programación de la cosecha y las decisiones de marketing, bien podrían inicializarse y revisarse entre enero y mayo (9 meses de edad de cultivo) de cada ciclo de crecimiento en condiciones del trópico húmedo de Tabasco, México.

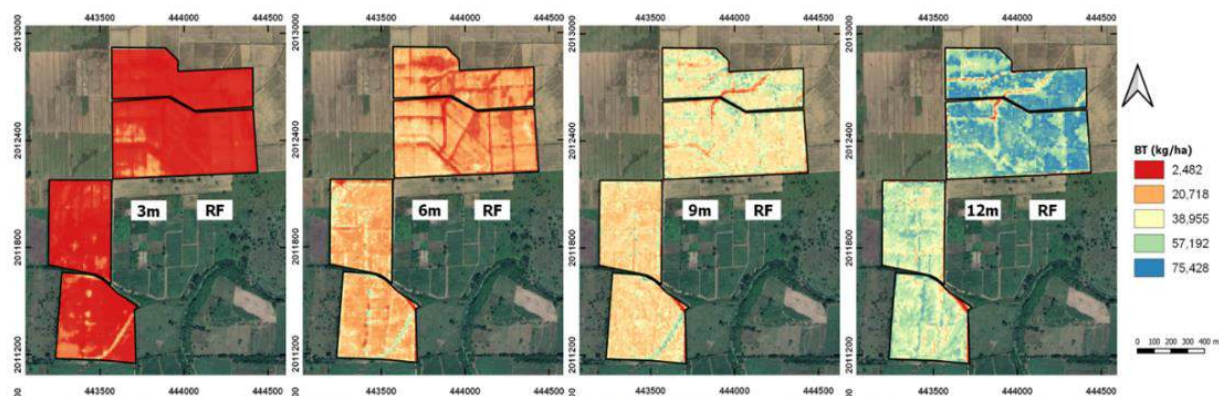


Figura 3. Mapas de predicciones de biomasa seca de tallos (BT, kg/ha) por medio del modelo de random forest (RF, siglas en inglés).

Conclusiones

La integración de datos de imágenes multitemporales de Sentinel-2 y el enfoque de machine learning con el algoritmo de RF permitió el desarrollo de modelos predictivos del rendimiento para campos comerciales de caña de azúcar en la Chontalpa, Tabasco, México.

Agradecimientos

El primer autor agradece a la empresa “Impulsora agrícola, Ganadera y Comercial” por proveer los campos de estudio, las facilidades prestadas en los muestreos y el apoyo económico para la culminación de este proyecto. Por último, al Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, por las instalaciones para procesar las muestras y la infraestructura, y apoyo técnico.

Referencias bibliográficas

- Canata, T. F., Júnior, M. R. B., de Oliveira, R. P., Furlani, C. E. A., and da Silva, R. P. 2024. AI-Driven Prediction of Sugarcane Quality Attributes Using Satellite Imagery. *Sugar Tech* 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-024-01399-9>
- CONADESUCA. 2024. Informe de avance de la zafra 2023-2024. Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. <https://www.gob.mx/conadesuca>
- Sánchez-Jiménez, M., Lagunes-Espinoza, L., Palma-López, D. J., Córdova-Sánchez, S., Acosta-Pech, R., y Salgado-Velázquez, S. 2024. Producción de biomasa e índices fisiológicos de cultivares de caña de azúcar en diferentes subunidades de suelos: Sugarcane on different soils. *Acta Agrícola y Pecuaria* 10: e0101007. DOI: <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101007>
- Shendryk, Y., Davy, R., and Thorburn, P. 2021. Integrating satellite imagery and environmental data to predict field-level cane and sugar yields in Australia using machine learning. *Field Crops Research* 260: 107984. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107984>
- Som-Ard, J., Atzberger, C., Izquierdo-Verdiguier, E., Vuolo, F., and Immitzer, M. 2021. Remote sensing applications in sugarcane cultivation: A review. *Remote sensing* 13(20): 4040. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13204040>

Zhu, L., Liu, X., Wang, Z., and Tian, L. 2023. High-precision sugarcane yield prediction by integrating 10-m Sentinel-1 VOD and Sentinel-2 GRVI indexes. European Journal of Agronomy 149: 126889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126889>



EVALUACIÓN AGROPRODUCTIVA DE GENOTIPOS AVANZADOS DE ARROZ EN CONDICIONES DE TEMPORAL

Sergio Salgado-Velázquez^{1*}, Fabiola Olvera-Rincón², Pablo Ulises Hernández-Lara¹, Dante Sumano-López¹, Samuel Córdova-Sánchez³

¹INIFAP, CE Huimanguillo. ²Colégio de Postgraduados, Campus Tabasco. ³Universidad Popular de la Chontalpa³.

*Autor para correspondencia: salgado.sergio@inifap.gob.mx

Palabras clave. Mejoramiento genético, rendimiento de grano, *Oryza sativa*.

Introducción

El arroz (*Oryza sativa* L.) es la segunda fuente más grande de alimentos en todo el mundo y se ha cultivado en 163.2 millones de ha, con una producción anual promedio de 740.9 millones de toneladas en todo el mundo. Se ha estimado que la producción mundial de arroz debe aumentar en 116 millones de toneladas para 2035 para satisfacer la creciente demanda de arroz. Sin embargo, la tierra cultivable utilizada para la producción de arroz ha disminuido en los últimos años debido a la urbanización e industrialización, lo que amenaza el aumento de la producción mundial de arroz (FAOSTAT, 2024). En México, el consumo per cápita ha aumentado en la última década, pero el país aún depende de importaciones para satisfacer la demanda interna. Ante este desafío, el mejoramiento genético y la selección de variedades adaptadas a las condiciones agroclimáticas locales son estrategias clave para incrementar la productividad. Los programas de mejoramiento genético del arroz emplean diversas estrategias para abordar la necesidad de incrementar continuamente el potencial de rendimiento del cultivo. Sin embargo, desde la década de 1990, el progreso en este aspecto ha sido limitado, debido principalmente a la falta de diversidad genética en los materiales utilizados como fuente de germoplasma. La velocidad y el alcance del mejoramiento genético están directamente relacionados con el nivel de diversidad presente en el germoplasma. El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) mantiene sus programas de mejoramiento genético por medio del resguardo de la variabilidad genética en el banco de germoplasma de arroz del Campo Experimental Zacatepec, Morelos, México; de los cuales se han liberados variedades promisorias de arroz de grano tipo Milagro y Sinaloa (Hernández-Aragón *et al.*, 2023). Por lo anterior, surge la necesidad de contar con variedades de arroz que se adapten a las condiciones agroclimáticas locales, que demuestren resistencia a factores abióticos y bióticos acentuados por el cambio climático y con buen rendimiento de grano.

Objetivo

Evaluar y seleccionar variedades de arroz con alto rendimiento y adaptabilidad a las condiciones agroclimáticas locales, mediante el aprovechamiento de la diversidad genética conservada en el banco de germoplasma del INIFAP, con el fin de contribuir al incremento sostenible de la producción nacional frente a los desafíos del cambio climático y la creciente demanda interna.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio. El trabajo se llevó a cabo en un suelo Fluvisol eútrico cultivado con arroz desde hace 20 años, ubicado en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del municipio de Huimanguillo, Tabasco. La precipitación promedio anual es de 2356 mm, en los meses de febrero a mayo se presenta una temporada de sequía (276 mm), la temperatura mínima promedio es mayor a 20°C. El ciclo de cultivo fue de temporal y establecido el 15 de junio de 2024. **Genotipos.** Se utilizaron variedades y líneas experimentales generadas por el INIFAP para condiciones de temporal y riego en el trópico mexicano del proyecto “Mejora genética del arroz en México, para incorporar resistencia a problemas bióticos y abióticos causados por efectos del cambio climático” que se presentan en el cuadro 1.

Diseño experimental. Para generar los tratamientos, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones, donde los tratamientos consistieron en los genotipos (líneas experimentales y variedades de arroz). La parcela experimental fue de 6 m de largo por 6 surcos de ancho con una separación entre surcos de 0.2 m. La parcela útil se integró de los 4 surcos centrales.

Cuadro 1. Genotipos de estudio en condiciones de temporal en Tabasco, México.

Trat	Genealogías	Trat	Genealogías
1	Milagro (Zacatepec)	19	PCTMADR-707-2-1-2-4SR-1P
2	Miloax 98-2	20	FL010030-12P-9-2P-1P-M
3	INIFLAR RT-1	21	FL0 10127-7P-1-2P-2P-M
4	IR 69915-12MI-15UBN-22	22	FL07162-7P-3-3P-3P-M
5	IR8-2	23	RC 88
6	El Silverio-2	24	IR11141-6-1-4
7	INIFLAR RT-2	25	Choca A-05
8	Tabasqueña A-17-2	26	Campeche A-80
9	Temporalero A-95	27	El Silverio
10	Pacífico-FL-15-1	28	INIFLAR R
11	FL06689-3P-1-4P-M	29	Pacífico FL-15
12	FL02768-2P-6-4P-1P-M-1P	30	Golfo FL-16
13	Pacífico FL15-2	31	Veracruzana A-21-3
14	FL084430-8P-4-3P-3P-M	32	Temporalero A-95
15	PCTMADR-707-2-1-1-3SR-2P	33	Miloax 98 (2006)
16	PCTMADR-682-2L-2-3-3SR-2P	34	Milver 05 (2008)
17	PCTMADR-707-2-1-4-2SR-1P	35	Miloax 38 (2012)
18	PCTMADR-707-2-1-4-2SR-2P	36	Milagro Filipino (2010)(Veracruz)

*Trat: tratamientos de estudio.

Manejo agronómico. Se dio un paso con la desvaradora para eliminar las malezas presentes en el terreno. Después, se realizó un paso con el arado de discos. Posteriormente, se dieron dos pasos de rastra para dejar bien mullido el suelo. Se niveló el suelo con un rototiller para permitir una distribución homogénea de las láminas de agua. El método de siembra fue al chorrillo, que consistió en esparcir y distribuir la semilla de manera uniforme sobre los surcos de siembra. Se fertilizó con la fórmula 130-40-120 de NPK, aplicando todo el fósforo y potasio al momento de la siembra y la urea se fraccionó en dos momentos: la primera a los 30 días después de la germinación y la segunda a los 35 días después de la primera aplicación (inicio panicular).

Riego. Durante la etapa de macollaje hasta embuche y la floración los riegos fueron continuos, manteniendo el suelo completamente inundado con una lámina de 5 cm hasta la madurez fisiológica de los materiales.

Variables de estudio. Durante la fase reproductiva y madurez fisiológica de los materiales se registraron las siguientes variables:

Altura de planta (AP): medida desde la base de la planta hasta el ápice de la panícula, tomando como referencia el tallo principal o el más alto, en 10 plantas por parcela

Rendimiento de grano (GY, kg/ha): Se cosecharon todas las panículas en cada parcela, se desgranaron, se depositaron en una bolsa de papel estraza y se rotularon. Posteriormente, se pesaron en una balanza analítica y se determinó la humedad en cada muestra con un medidor digital de humedad de granos marca Delmhors modelo G-7. Se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo de GY ajustando a una humedad del 14% (Hernández-Aragón *et al.*, 2023):

$$GY \left(\frac{kg}{ha} \right) \text{ at } 14\% \text{ moisture} = \frac{(100-M) \times \text{rendimiento parcela (kg)} \times 10000}{(100-14) \times \text{Área neta parcela, m}^2} \quad (1)$$

Dónde M es el contenido de humedad de la muestra de granos. Se multiplica por 10000 para la conversión de m² a ha.

Resistencia a enfermedades. Esta se midió para el complejo denominado manchado del grano (*Helminthosporium oryzae*), quema del arroz (*Pyricularia oryzae*), virus hoja blanca del arroz y añublo bacteriano de la panícula (*Burkholderia glumae*) enfermedades frecuentes actualmente en México y agudizadas por el cambio climático. La medición se realizó con base a las escalas definidas por el Sistema

de Evaluación Estándar para la Medición de las Características Agronómicas del Arroz (IRRI. 2013), de 1 a 9, siendo 1 la mayor tolerancia y 9 la mayor susceptibilidad.

Datos meteorológicos. Se tomaron de la estación climatológica del Campo Experimental Huimanguillo cerca de la parcela de estudio, donde se colectaron los datos de temperatura del aire (°C), precipitación y evaporación (mm). Los datos se registraron diariamente y se graficaron como medias mensuales y acumuladas.

Análisis estadístico: Todas las variables en estudio fueron sometidas a un análisis de varianza de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron los diferentes genotipos (líneas experimentales y variedades). Para aquellas variables donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de comparación múltiple de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$). Se utilizaron las librerías anova, agricolae, y ggplot. Todos los análisis se hicieron con el programa estadístico R studio.

Resultados y Discusión

Datos meteorológicos. Durante el ciclo primavera verano 2024 desde el 15 de junio que se estableció el cultivo hasta finales de noviembre que se terminó de cosechar, se registró una temperatura promedio de 29.2 °C con una máxima alcanzada en mayo con 41.9°C y la mínima en noviembre con 20.1°C. La precipitación total acumulada fue de 1651.3 mm y una evaporación total de 819.3 mm. El arroz requiere temperaturas entre 18 °C y 40 °C para la germinación, siendo óptimas las que oscilan entre 25 °C y 30 °C. En la parcela de evaluación durante la siembra en junio se registraron temperaturas de 25.3 a 37.5°C que están dentro del rango optimo, favoreciendo una buena germinación de plántulas. Durante el macollaje, el arroz desarrolla sus tallos secundarios o macollos. La temperatura ideal para un buen macollaje es de 31 °C. Las temperaturas en julio y agosto registradas oscilaron de 24.3 a 35.6°C, lo que puede afectar este proceso (figura 1).

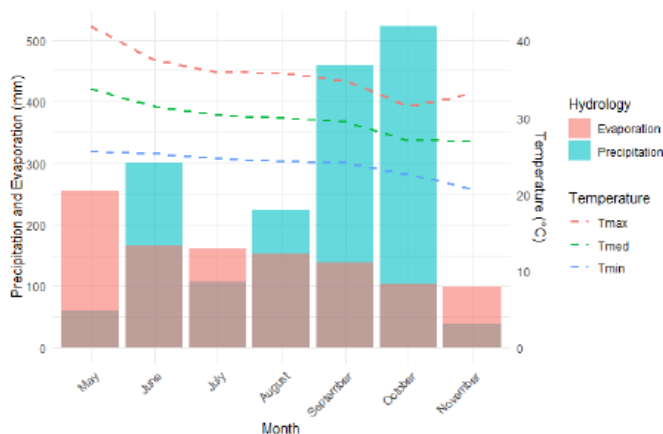


Figura 1. Climograma de las temperaturas, evaporación y precipitación ocurridas en la parcela de evaluación de los genotipos de arroz en condiciones tropicales.

Análisis de varianza. En el figura 2, se presentan los resultados de las medias de Tukey par altura de planta (AP, cm). Se observó una variabilidad significativa en AP ($p < 0.001$), con valores que oscilaron entre 68.4 cm (T36) y 98.6 y 97.7 cm (T4 y T30, respectivamente). La diferencia entre genotipos sugiere que algunos materiales presentan porte más alto, lo que puede estar relacionado con una mayor capacidad de interceptación de luz y competencia por recursos. Sin embargo, los genotipos con menor altura podrían ser más resistentes al acame, una característica clave para la producción de arroz en temporal. Los genotipos con mayor altura (T4, T23, T30 y T16) podrían estar asociados a un crecimiento vegetativo vigoroso, lo que, dependiendo del manejo agronómico y las condiciones ambientales, puede impactar positiva o negativamente en el rendimiento. Por lo tanto, aunque los genotipos con mayor altura pueden tener ventajas en la captura de luz y potencial de rendimiento, también pueden ser más propensos al acame, especialmente bajo condiciones de viento o lluvia intensa. La selección de genotipos con una altura de planta moderada podría ofrecer un equilibrio entre un crecimiento vegetativo vigoroso y una mayor resistencia al acame, optimizando así el rendimiento en las condiciones específicas de cultivo.

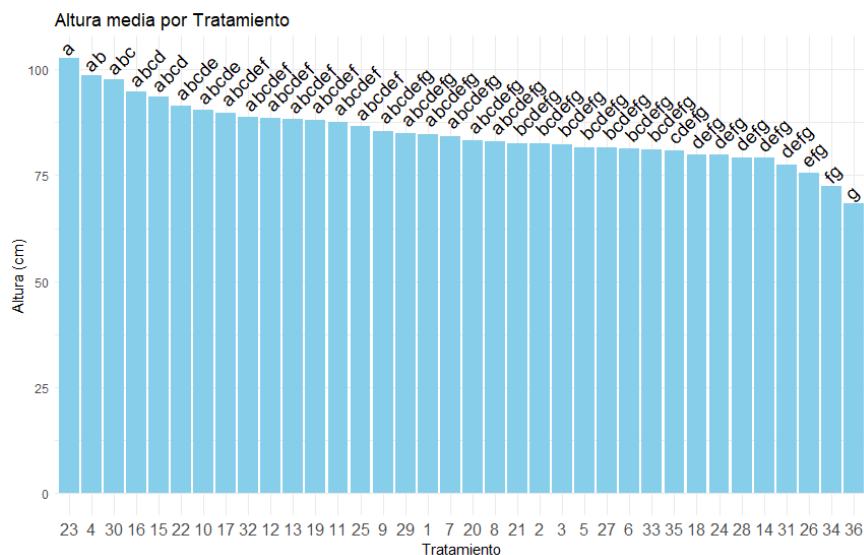


Figura 2. Medias de Tukey para altura de planta de genotipos de arroz en condiciones de temporal.

El rendimiento de grano (figura 3) mostró diferencias altamente significativas ($P < 0.001$), con un promedio general de 2042.7 kg/ha.

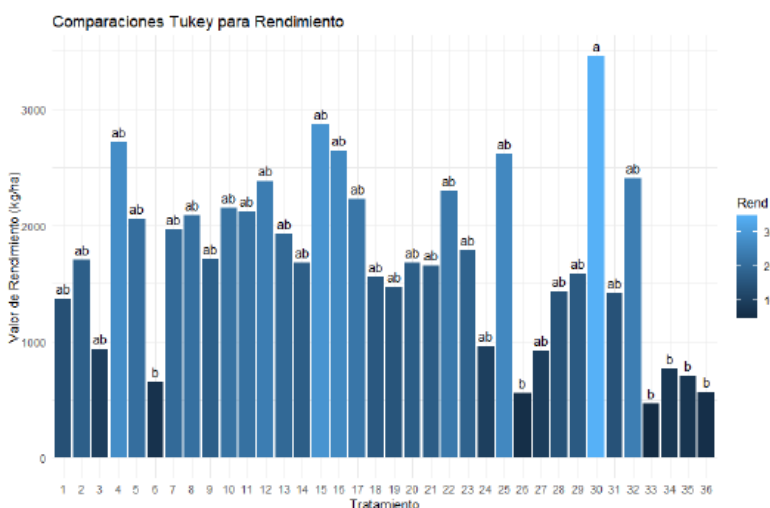


Figura 3. Medias de Tukey para rendimiento de grano (kg/ha) de genotipos de arroz en condiciones de temporal.

Destaca el tratamiento 30 con el mayor rendimiento (4127.2 kg/ha), lo que sugiere una combinación favorable de atributos agronómicos. En contraste, los tratamientos 6, 26, 33, 34, 35 y 36 presentaron los valores más bajos (< 1000 kg/ha), indicando que la expresión del rendimiento está influenciada tanto por el potencial genético como por la interacción con el ambiente. Genotipos como T30, T15, T4 y T16 presentaron los mayores rendimientos con 4127.2, 3415.7, 3236 y 3157.4 kg/ha, respectivamente; lo que sugiere su potencial para ser seleccionados en programas de mejoramiento. Sin embargo, algunos materiales con menor rendimiento podrían estar limitados por factores como menor capacidad de llenado de grano o menor eficiencia fotosintética (Jarin *et al.*, 2024).

Cuadro 2. Resumen de materiales con los mejores rendimientos y resistencia a factores bióticos en el ciclo PV 2024 en condiciones de temporal de Tabasco, México.

Trat	GY	BI	NBI	GID	RHBV	RDeI	PBG
30	4127.23	0	0	1	0	0	1
15	3415.69	0	0	3	1	0	2
4	3236.03	1	0	3	1	1	3
16	3157.39	0	0	1	1	0	2
25	3117.61	0	0	3	0	1	3
32	2866.28	0	0	3	1	0	2
12	2838.42	0	0	3	1	1	2

Resistencia a enfermedades. La medición de la resistencia a enfermedades (cuadro 2) se realizó con base a las escalas definidas por el Sistema de Evaluación Estándar para la Medición de las Características Agronómicas del Arroz (IRRI, 2013), de 1 a 9, siendo 1 la mayor tolerancia y 9 la mayor susceptibilidad; y considerando el rendimiento (GY) se presentan en el cuadro 7. Esta se midió para el complejo denominado manchado del grano (*Helminthosporium oryzae*, GID), quema del arroz (*Pyricularia oryzae*) en follaje (BI) y en el cuello de la panícula y en los nudos de los tallos (NBI), Virus hoja blanca del arroz (RHBV), Delphacido del arroz (RDeI). y añublo bacterial de la panícula (*Burkholderia glumae*) (PBG) enfermedades frecuentes actualmente en México y agudizadas por el cambio climático.

Conclusiones

Este estudio logró determinar que existen genotipos adecuados para condiciones de temporal en Tabasco, México. Los materiales con mayor rendimiento (T15, T4 y T16) presentan características agronómicas favorables y podrían ser considerados para su liberación como nuevas variedades.

Referencias bibliográficas

- Hernández-Aragón, L., Tavitas-Fuentes, L., and Álvarez-Hernández, J. C. 2023. Origen y características de la diversidad genética del arroz en México. *Revista fitotecnia mexicana* 46(4): 461-469.
- Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI). 2013. Sistema de evaluación estándar para la medición de las características agronómicas del arroz. IRRI.
- FAOSTAT. (2024). Food and Agriculture Organization of the United Nations: Statistics Division. <https://www.fao.org/faostat/>
- Jarin, A. S., Islam, M. M., Rahat, A., Ahmed, S., Ghosh, P., and Murata, Y. 2024. Drought stress tolerance in rice: Physiological and Biochemical Insights. *International Journal of Plant Biology* 15(3): 692-718. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijpb15030051>

EVALUACIÓN DEL CARBONO SECUESTRADO EN AGROECOSISTEMAS FORESTALES DE NAYARIT Y JALISCO

Bayron Alexander Ruiz-Blandon^{1*}, Efrén Hernández-Alvarez², Agustín Gallegos-Rodríguez²

¹INIFAP, CIRPAC, ²CUCBA UDG, Departamento de Producción Forestal

*Autor para correspondencia: ruiz.bayron@inifap.gob.mx

Palabras clave. Almacenamiento de carbono, plantaciones forestales, suelo.

Introducción

Los suelos son reconocidos a nivel mundial como reservorios importantes de carbono, al ser el gran sumidero entre los compartimentos de los agroecosistemas; Sin embargo, su uso intensivo con la finalidad de para satisfacer la creciente demanda alimentaria de biomasa y energía ha ocasionado la pérdida desmedida de carbono y, en consecuencia, emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al cambio climático acelerado, lo cual, es una preocupación vigente a día de hoy, puesto que, sus consecuencias afectarían la economía mundial, el ambiente y la salud humana ya que; el manejo inadecuado por los seres humanos del ciclo del carbono, ha conllevado a un drástico calentamiento global. El cambio de uso del suelo para dar expansión a la agricultura y ganadería convencional, han contribuido al aumento de las emisiones de carbono de manera desenfrenada en un 25% (Pérez-Iglesias *et al.*, 2021). Frente al problema universal del cambio climático, el suelo biorgánico, favorecería la reducción de la huella de carbono, pues, estos componentes de las plantaciones forestales tropicales tienen la capacidad de preservar el carbono a largo plazo (Burbano, 2018). La degradación de los suelos, la pérdida de la materia orgánica y biodiversidad, son parte de los problemas ambientales de mayor inferencia del presente siglo que, junto con los efectos del calentamiento global, proyecta graves escenarios para la sustentabilidad de los agroecosistemas terrestres. El secuestro de carbono edáfico, también depende del contenido de materia orgánica, lo cual, esta podría acumularse ilimitadamente; a pesar de mineralizarse con mayor rapidez; en contraste, la fracción de materia orgánica asociada con minerales está sujeta a la saturación, aunque tiene mayor estabilidad y persistencia en el suelo y, por ende, será clave para la estructura y potencial de secuestro de carbono a largo plazo. Las reservas y movimiento del carbono entre suelo-planta-atmósfera están regulados por agentes locales y regionales, como sus propiedades, calidad, las condiciones meteorológicas y las opciones de manejo. Además de lo anterior, también se ha manifestado que, la forma deseable para recuperar y preservar el carbono del suelo sería mediante el manejo de la biomasa vegetal que implicaría, implementar técnicas para repoblar áreas perturbadas con especies forestales de rápido crecimiento y valor comercial, pastoreo y agricultura de conservación (labranza mínima, siembra de herbáceas y cubiertas vegetales, etc.). Las prácticas antes mencionadas, podrían contribuir sustancialmente el almacenamiento de carbono edáfico. La aplicación de enmiendas orgánica producida a partir de la biomasa arbórea, incrementaría los contenidos de carbono orgánico, además favorecería la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantaciones forestales tropicales. Secuestrar carbono en el suelo, significaría regenerar sus propiedades y capacidades para producir biomasa vigorosa; en consecuencia, las diferentes sinergias antes descritas, reducirían la contaminación ambiental global.

Objetivo

Evaluar en diferentes profundidades el carbono secuestrado en suelos ocupados con plantaciones forestales comerciales de 15 y 17 años de edad, establecida en los estados de Nayarit y Jalisco.

Materiales y Métodos

La plantación forestal mixta *Gmelina arborea*-*Cordia alliodora*-*Pseudosamanea guachapele* (GCP) de 15 años se estableció en Santiago Ixcuintla, Nayarit a 21°43'38.3" LN, 105°06'46.4" LO y 800 m de altitud; temperatura media anual de 24.4 °C y precipitación total anual es 1529 mm. Sin embargo, *Tabebuia rosea*-*T. donnell-smithii* (Ts) y *T. donnell-smithii*-*Swietenia humilis* (TS) de 17 años de edad, se ubicaron en Tuxpan, Jalisco a 19°14'45" LN y 103°19'00" LO y 1737 m de altitud; con temperatura media anual de 21.5°C y precipitación promedio anual de 785.4 mm. *Trabajo de campo*. En GCP, Ts y TS, se tomaron diez

muestras edáficas de 0-15 cm y 15-45 cm de profundidad distribuidas aleatoriamente, se homogenizaron según el perfil muestreado hasta alcanzar 1 kg. *Trabajo de gabinete*. Las muestras edáficas se secaron a temperatura ambiente; posteriormente, fueron molidas y tamizadas con un tamiz de malla 60. *Propiedades físicas y químicas*. Basados en la NOM-021-RECNAT-2000 (DOF, 2002), como propiedades físicas se determinaron *textura* (Hidrómetro de Bouyoucos) *densidad aparente* (Da) (Método del terrón) y químicas el *pH* (potenciómetro Orion Star A210 en relación 1:2), capacidad de intercambio catiónico (CIC) -solución de Acetato de Amonio- y *conductividad eléctrica* (CE) -Conductimetría eléctrica-. *Contenido de carbono orgánico* (COS). Fue determinado por análisis instrumental. Las muestras se suelos según profundidad y sistema de plantación, fueron sometidas a un proceso de combustión interna a 900 °C En un analizador automático Shimadzu TOC 5050-A. Los valores de carbono arrojados por el equipo, fueron considerados para calcular la cantidad de carbono almacenado en las diferentes plantaciones forestales comerciales. *Carbono secuestrado en el suelo*. Se calculó relacionado la densidad aparente, profundidad y contenido de carbono. *Análisis de datos*. Se corroboró que los datos tuvieran un comportamiento normal mediante diagramas P-P. Para establecer las significancias estadísticas de los valores de medias, fueron mediante la ANOVA y pruebas Tukey-Kramer HSD cuando $p \leq 0.05$. El paquete estadístico utilizado para analizar los datos fue SAS v9.3. (Ruiz-Blandon *et al.*, 2019)

Resultados y Discusión

Los suelos estudiados, tuvieron similares propiedades físicas y químicas, a excepción del pH y CIC que fueron más favorable en GCP para ambas profundidades ($p=0.03$, cuadro 1). También los contenidos de carbono fueron estadísticamente significativos de 0-15 cm en GCP y Ts, respectivamente ($p=0.02$, cuadro 1). Diferentes investigaciones realizadas en suelos de plantaciones forestales tropicales demostraron que, al tener textura Fa y Da entre 0.9 y 1.1 g cm⁻³, pH más cercanos a la neutralidad y contenidos de carbono superiores al 2%, secuestraron mayor carbono que al presentar propiedades adversas. Sin embargo, al plantar este componente mineral con especies forestales de rápido crecimiento; contrarrestaría su degradación, mejoraría sus propiedades física y químicas, adicionaría materia orgánica y aumentaría las reservas de carbono edáfico.

Cuadro 1. Propiedades físicas, químicas y contenido de carbono orgánico del suelo proveniente de plantaciones forestales comerciales mixtas en Nayarit y Jalisco. $n= 10$.

PM	PROF (cm)	TEX T	Da (g cm ⁻³)	pH	CIC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)	CE (dS m ⁻¹)	C (%)
GCP	0-15	Fa	1.1a ± 0.02	6.5a ± 0.02	40.4a ± 0.41	0.04a ± 0.001	2.6a ± 0.31
	15-45	Fa	1.0a ± 0.01	6.1a ± 0.01	39.1a ± 0.90	0.04a ± 0.003	1.3c ± 0.04
Ts	0-15	Fa	0.9a ± 0.01	5.7ab ± 0.04	36.1b ± 0.43	0.04a ± 0.02	2.4a ± 0.12
	15-45	Fa	1.0a ± 0.03	5.5b ± 0.01	35.3b ± 1.20	0.03a ± 0.01	1.7b ± 0.11
TS	0-15	Fa	1.1a ± 0.04	5.5b ± 0.02	34.7b ± 0.40	0.06a ± 0.02	1.9b ± 0.13
	15-45	Fa	1.1a ± 0.01	5.3b ± 0.07	31.1c ± 0.94	0.05a ± 0.01	1.4c ± 0.02

PM. Plantación mixta, GCP. *Gmelina arborea*-*Cordia alliodora*-*Pseudosamanea guachapele*, Ts. *Tabebuia rosea*-*T. donnell-smithii*, TS. *T. donnell-smithii*- *Swietenia humilis*, PROF. Profundidad. TEXT. Textura, Da. Densidad aparente, CIC. Capacidad de intercambio catiónico. CE. Conductividad eléctrica. C. carbono. Datos de medias (± error estándar) con letras distintas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El mayor reservorio de carbono se cuantifico en los suelos de Ts, siendo un 2 y 3 % superior que GCP y TS respectivamente ($p= 0.04$, cuadro 2). En todos los suelos de las plantaciones estudiadas, se detectó que la profundidad de 15-45 cm secuestró mayor cantidad de carbono ($p= 0.02$, cuadro 2). Debido al movimiento de la materia orgánica del horizonte superficial al más profundo, esta profundidad se considera más idóneo para preservar el carbono orgánico a lo largo del tiempo. Interesantemente, la profundidad de 0-15 cm en GCP, secuestró más carbono que en Ts (10%) y TS (11%) respectivamente. Diferentes autores coinciden que, en suelos de vocación forestal se han encontrado las mayores reservas de carbono a partir de 30 cm de profundidad y su eficiencia, dependerá de las propiedades físicas, calidad, condiciones edafoclimáticas y manejo; tanto de la biomasa arbórea como de este componente mineral.

Cuadro 2. Secuestro de carbono en suelos forestales de Nayarit y Jalisco. $n=10$.

PM	PROF (cm)	COS (MgC ha ⁻¹)
	0-15	42.9d ± 7.01
GCP	15-45	58.5c ± 4.22
Total		101.4B ± 14.39
	0-15	32.4e ± 9.45
Ts	15-45	76.5a ± 11.03
Total		108.9A ± 17.93
	0-15	31.4e ± 8.87
TS	15-45	69.3b ± 10.21
Total		100.7B ± 19.37

PM. Plantación mixta, GCP. *Gmelina arborea*-*Cordia alliodora*-*Pseudosamanea guachapele*, Ts. *Tabebuia rosea*-*T. donnell-smithii*, TS. *T. donnell-smithii*- *Swietenia humilis*, PROF. Profundidad. COS. Carbono orgánico del suelo. Datos de medias (± error estándar) con letras distintas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). letras minúsculas son comparaciones entre profundidades y mayúsculas entre totales.

Conclusiones

El presente estudio, determinó que, independientemente del tipo de biomasa que soporte el suelo; las propiedades físicas y contenidos de carbono determinarán su potencial como reservorio de carbono orgánico recalcitrante. En los horizontes más profundo del suelo proveniente de plantaciones forestales comerciales bajo manejo, se encontrará, mayor cantidad de carbono almacenado. El suelo es el componente más importante en las plantaciones forestales puesto que, sirve como soporte vital para la biomasa vegetal, además, contiene altas cantidades de carbono, lo cual, contribuye a la mitigación del cambio climático y reducción de la huella de CO₂ atmosférico.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (hoy Secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación), Lovren Ruiz (QEPD), Dellanira Blandon (QEPD) y Marilyn Ruiz por ser parte indirecta del proyecto.

Fuente financiadora

CONACYT (hoy SECIHTI) en los periodos 2016 al 2020 (becas nacionales para estudios de posgrados) y 2022(Estancia Posdoctoral por México)

Referencias bibliográficas

- Burbano, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82-96.
- DOF (Diario oficial de la federación). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Pérez-Iglesias, H. I., Rodríguez-Delgado, I., & García-Batista, R. M. (2021). Secuestro de carbono por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(2), 141-149.
- Ruiz-Blandon, B.A., Hernández-Alvarez, E., Salcedo-Pérez, E., Rodríguez-Macías, R., Gallegos-Rodríguez, A., Valdés-Velarde, E., & Sánchez-Hernández, R. (2019). Almacenamiento de carbono y caracterización lignocelulósica de plantaciones comerciales de *Tectona grandis* Lf en México. *Revista Colombia forestal*, 22(2), 15-29.

EVALUACIÓN DE LAS FRACCIONES DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELO ASOCIADO AL CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO (variedad N83N5 de Syngenta®) EN RESPUESTA A DIFERENTES LÁMINAS DE RIEGO

Eva Aurora Bautista-Calderon¹, Nuria Aide López-Hernández^{1*}, Cristo Omar Puente-Valenzuela¹, Gerardo Delgado-Ramírez¹, José Luis González-Barrios¹, Guillermo González-Cervantes¹

¹INIFAP, CENID-RASPA

*Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Palabras clave. Carbono lábil, carbono medio recalcitrante, carbono recalcitrante.

Introducción

En los ecosistemas terrestres uno de los principales almacenes de carbono (C) es el suelo, sin embargo, esto es alterado por el constante cambio en el uso del suelo. Lo que conlleva a que se convierta en fuente o en sumidero de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico, o cual juega un papel fundamental en el cambio climático global. En algunos casos estos cambios radican en la sustitución de la vegetación natural por sistemas productivos agrícolas. Los suelos desempeñan un papel importante en el balance del ciclo carbono (CC) a escala global (Zahedifard et al. 2024). El carbono orgánico en el suelo (COS) forma parte de CC y es esencial en la productividad de las plantas y la fertilidad del suelo (Cong et al. 2020). La presencia del COS principalmente en la materia orgánica influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual es clave para la retención de agua, la estructura del suelo y la actividad microbiana. Sin embargo, es difícil detectar los cambios del COS total a corto y mediano plazo. En los sistemas agrícolas la perturbación a la que son sometidos los suelos por las prácticas de manejo agronómico repercute directamente en su estructura física y en las reservas de COS. Para determinar el potencial de acumulación de COS en suelos deteriorados es necesario estudiar su acumulación a nivel de las fracciones que se encuentran en función de su estabilidad física y química y conocidas como fracciones lábil, medio recalcitrante y recalcitrante.

Objetivo

Cuantificar las fracciones de carbono lábil, moderadamente recalcitrante y recalcitrante en un suelo agrícola cultivado con maíz forrajero en respuesta a diferente aplicación de lámina de riego.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el Campo Experimental del CENID-RASPA INIFAP (25°35'14.57" N y 103°26'56.89" O), ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Durango, México. Antes del establecimiento del cultivo para el experimento el predio permaneció sin ninguna actividad agrícola alrededor de ocho años. Antes del establecimiento del experimento se procedió a realizar un muestreo de suelos, donde se colectaron nueve muestras simples de suelo a una profundidad de 30 cm y distribuidas completamente al azar, para posteriormente formar una muestra simple. Esta muestra simple fue identificada como muestra inicial de suelo (MIS). El diseño de muestreo del experimento se realizó en parcelas divididas, sin embargo, para el presente trabajo solo se mencionará una parcela, la cual estuvo formada por 9 sub-parcelas de 10 x 4.5 m (45 m²), con un diámetro entre surcos de 0.75 m. En estas parcelas se sembró maíz forrajero de la variedad N83N5 de Syngenta®. Cada una de las sub-parcelas esta diferenciada por la aplicación de láminas de riego distintas.

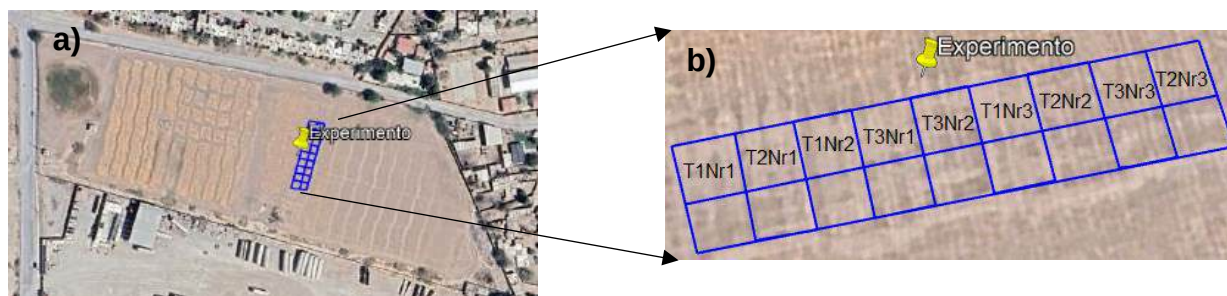


Figura 16. a) Localización de la zona de estudio ubicada en el Campo Experimental del CENID-RASPA y b) distribución de los tratamientos donde N= variedad de maíz forrajero N83N5 de Syngenta®, T= tratamiento y r= tipo de lámina de riego.

Las muestras de suelo para la cuantificación de COS fueron colectadas en cada sub-parcela, donde se obtuvieron tres muestras simples completamente al azar y que posteriormente conformaron una muestra compuesta a una profundidad de 30 cm. Por lo tanto, se obtuvieron nueve muestras compuestas.

Todas las muestras de suelo fueron trasladadas a laboratorio donde fueron procesadas para el posterior análisis de sus propiedades físicas (clase textural y densidad aparente (g/cm^3)) y propiedades químicas (materia orgánica (%), COS (%), Carbono orgánico lábil (CL), carbono orgánico medio recalcitrante (CMR) y carbono orgánico recalcitrante (CR). El contenido de carbono orgánico en suelo de determinó por el método de combustión húmeda Walkley y Black (1934) descrito por Van Reeuwijk (2003), para medir la densidad aparente ($\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$) se utilizó el método del terrón parafinado (Anderson e Ingram, 1993) y el fraccionamiento mediante el método de perfil oxidativo. Los análisis se apegaron a la norma NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

Posteriormente se estimó el CO total al dividir la MO entre el factor de Van Benmelen (1.724), que resulta del supuesto de que la MO contiene un 58 % de CO. El contenido de C (%) se convirtió a una medida de concentración en g/kg con la siguiente fórmula $C (\text{g/kg}) = (\%C) \cdot (1000) / 100$. El almacén de C (Mg ha^{-1}) se calculó con la fórmula propuesta por Etchevers *et al.*, (2005), $\text{COS} (\text{Mg/Ha}) = \%C \cdot P \cdot \rho_b$ Donde: COS= contenido de carbono orgánico del suelo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), %C = porcentaje de C, P = Profundidad de muestreo (cm) y ρ_b = Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Se evaluaron tres tipos de lámina de riego en un suelo agrícola (r1, r2 y r3). Se obtuvo un total de 3 tratamientos con tres repeticiones. La muestra inicial de suelo (MIS) no forma parte de los tratamientos, se obtuvo con fines comparativos de la reserva de COS inicial.

Los datos fueron analizados en el software The SAS Systems 9.0 donde se comprobaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (Test de Barlett) e independencia. Posteriormente los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de Tukey ($p < 0.05$) usando el software R Studio 4. 5. 0 para determinar la diferencia estadística en las concentraciones y almacenes de COS.

Resultados y Discusión

Los suelos presentaron clases texturales Franco arcillosa, lo que se traduce en suelos con buena capacidad de retención de agua y mayor fertilidad debido a su alto contenido de arcilla, la cual retiene nutrientes de una manera más eficaz que las arenas. Sin embargo, pueden presentar baja permeabilidad lo que limita el drenaje y favorece el encharcamiento. Estas características lo hacen propenso a compactarse si no se realiza un manejo adecuado. Son suelos con tendencia alcalina por presentar pH mayores a 8, esto es una característica común de los suelos minerales de zonas áridas. La Dap fue superior a 1.00 en todos los casos, siendo mayor en los suelos previos al establecimiento del cultivo. Finalmente, la MO reportada fue mayor en la MIS y disminuyó al concluir el ciclo agrícola, sin embargo, en todos los casos se encuentran por debajo de la media nacional que es de 2.4% (cuadro 1) (Ortiz, 2019).

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas bajo el cultivo de maíz forrajero variedad N83N5 de Syngenta® a 30 cm de profundidad.

GRUPO	% Arenas	% Arcillas	%Limo	Clase textural	pH	Dap ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	MO (%)
MIS	27	31	42	Franco arcillosa	8.08	1.44	1.39
T1Nr1	24	30	46	Franco arcillosa	8.37	1.00	1.32
T2Nr2	22	31	48	Franco arcillosa	8.37	1.03	1.32
T3Nr3	21	30	49	Franco arcillosa	8.40	1.00	1.26

Donde: MIS=muestra inicial de suelo, T1Nr1= tratamiento 1, variedad N83N5 de Syngenta®, riego 1, T2Nr2= tratamiento 2, variedad N83N5 de Syngenta®, riego 2, T3Nr3= tratamiento 3, variedad N83N5 de Syngenta®.

La concentración de COS (g/kg) disminuyó después del establecimiento del cultivo de maíz forrajero para el caso del tratamiento T1Nr1 y T1Nr3, por el contrario, se mantuvo igual con respecto al tratamiento T1Nr2. Para el caso de los almacenes de COS el mayor reservorio se presentó en la muestra de suelo que se tomó previo al establecimiento del cultivo de maíz forrajero al reportarse 34.8 Mg ha^{-1} , una vez concluido el ciclo agrícola se puede observar una disminución de los almacenes de COS en los primeros 30 cm del suelo, para el caso de T1Nr3 disminuyó 13.42 Mg ha^{-1} , seguido de T1Nr1 con una reducción de 11.38 Mg ha^{-1} y finalmente el tratamiento T1Nr2 reportó una pérdida de 10.18 Mg ha^{-1} (figura 2). Estos resultados corroboran que el COS disminuye como resultado de prácticas agrícolas donde se remueve y expone el suelo a la superficie ocasionando la ruptura de agregados del suelo y como resultado se libera C a la atmósfera (Six et al. 2000; Lal, 2004).

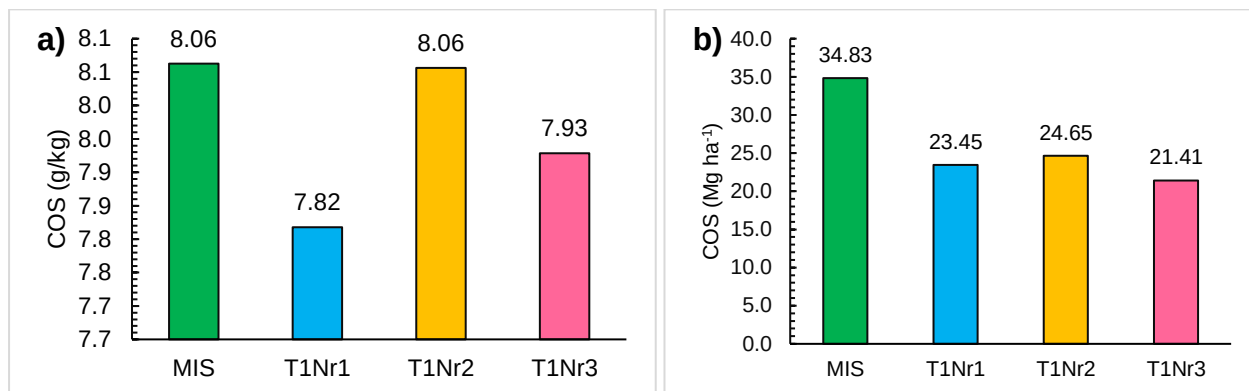


Figura 17. a) Concentración de COS (g/kg) del suelo a una profundidad de 30 cm bajo el cultivo de maíz forrajero y diferente lámina de riego y b) Almacén de COS (Mg ha^{-1}) del suelo a 30 cm de profundidad.

El carbono orgánico del suelo (COS) puede clasificarse en diferentes fracciones según su grado de estabilidad física y química. La cantidad de carbono presente en cada fracción depende de su proporción relativa dentro del suelo. La fracción lábil (COL) representa la porción más activa y fácilmente descomponible por los microorganismos, con una alta sensibilidad a cambios en el manejo del suelo. La fracción moderadamente recalcitrante (CMR) corresponde a carbono parcialmente estabilizado, ya sea por su adsorción en superficies minerales o por encontrarse protegido dentro de microagregados. Por último, la fracción recalcitrante (CR) comprende carbono altamente estabilizado, con una dinámica de recambio muy lenta y persistente en el tiempo (Lefèvre et al., 2017).

En la figura 3 y el cuadro 2 se observa que el comportamiento de la fracción lábil sigue el patrón: T1Nr2 > T1Nr3 > T1Nr1, indicando mayor disponibilidad de carbono lábil en T1Nr2. En cuanto a la fracción moderadamente recalcitrante, el orden fue: T1Nr2 > T1Nr1 > T1Nr3, mientras que para la fracción recalcitrante se observó: T1Nr1 > T1Nr3 > T1Nr2, lo que sugiere una mayor estabilización del carbono en T1Nr1.

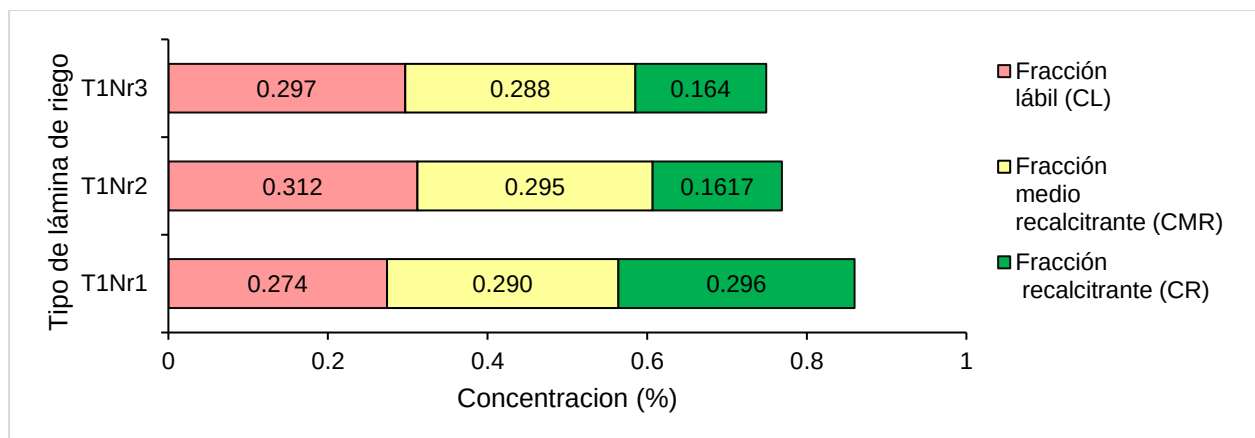


Figura 18. Distribución de la fracción lábil, medio recalcitrante y recalcitrante por cada tipo de lámina de riego aplicada

Se puede observar que existe una variación en cuanto a la concentración en cada una de las fracciones de carbono, sin embargo, no se encontró diferencia significativa de estos reservorios a la profundidad de 30 cm (cuadro 2).

Cuadro 4. Fracciones orgánicas de carbono a 30 cm de profundidad por cada tipo de lámina de riego.

GRUPO	COL (%)	CMR (%)	CR (%)
T1Nr1	0.274±0.02a	0.290±0.01a	0.296±0.12a
T2Nr2	0.312±0.03a	0.295±0.01a	0.161±0.007a
T3Nr3	0.297±0.02a	0.288±0.02a	0.164±0.015a

Donde: MIS=muestra inicial de suelo, T1Nr1= tratamiento 1, variedad N83N5 de Syngenta®, riego 1, T2Nr2= tratamiento 2, variedad N83N5 de Syngenta®, riego 2, T3Nr3= tratamiento 3, variedad N83N5 de Syngenta®, riego 3, SD= Sin Dato. Media ± desviación estándar.

Medias con diferente letra en la misma columna son significativamente diferentes, Tukey ($p < 0.05$). Para el caso de los almacenes de carbono por fracción no se reportaron diferencias significativas. La mayor reserva de C en la fracción lábil y media recalcitrante se presentó en el tratamiento en T1Nr2 con 9.64 Mg ha⁻¹ y 9.11 Mg ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo, para el caso de la fracción recalcitrante el mayor reservorio se presentó en T1Nr1 (figura 3).

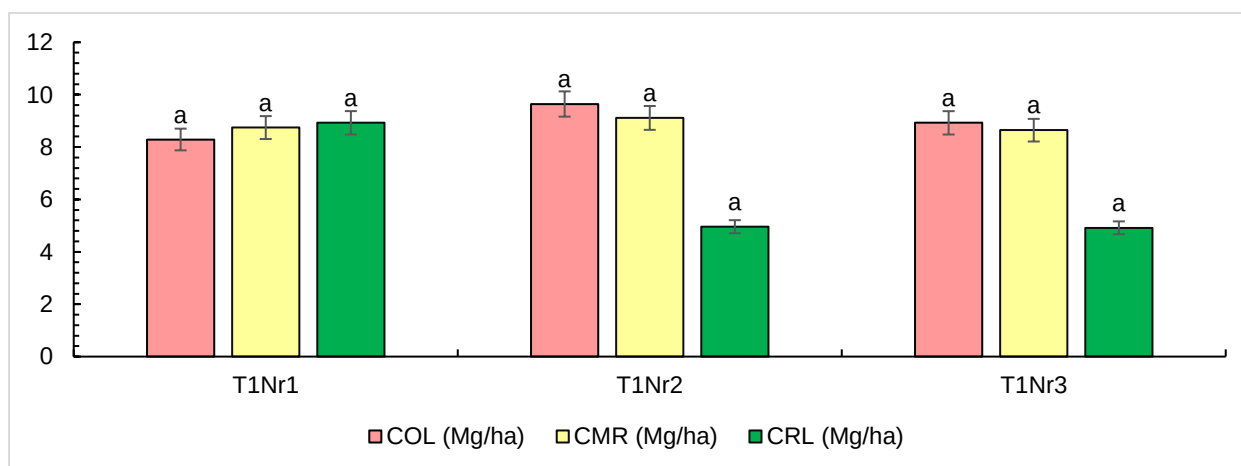


Figura 19. Distribución de los almacenes de carbono para la fracción lábil, medio recalcitrante y recalcitrante.

Conclusiones

El fraccionamiento del carbono orgánico del suelo (COS) en componentes con distintos grados de estabilidad proporciona una visión más detallada sobre los procesos de estabilización y dinámica del carbono en sistemas agrícolas. Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento T1Nr2 favorece una mayor acumulación de carbono en las fracciones lábil y moderadamente recalcitrante, lo cual puede ser indicativo de un mayor aporte reciente de materia orgánica y una actividad microbiana más activa. Por otro lado, el tratamiento T1Nr1 mostró una mayor proporción de carbono en la fracción recalcitrante, lo que sugiere un proceso de estabilización más avanzado, posiblemente asociado a la naturaleza del material orgánico aplicado o a condiciones edáficas particulares que favorecen la formación de asociaciones estables carbono-mineral. En conjunto, estos hallazgos destacan la importancia de evaluar no solo el contenido total de carbono, sino también su distribución entre fracciones, como criterio para estimar el potencial de secuestro de carbono del suelo y orientar prácticas de manejo sostenible que contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Agradecemos al proyecto “Determinación de la lámina de riego óptima en tiempo casi real como estrategia de adaptación/mitigación del cambio climático” por el financiamiento otorgado para realizar el presente estudio. Número SIGI: 12494136181.

Referencias bibliográficas

- Cong, P., Wang, J., Li, Y., Liu, N., Dong, J., Pang, H., et al. (2020). Changes in soil organic carbon and microbial community under varying straw incorporation strategies. *Soil Till. Res.* 204, 104735. doi: 10.1016/j.still.2020.104735
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22. doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- Lefèvre C, Rekik F, Alcantara, V, Wiese, L (2017). Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto. FAO. www.fao.org/3/i6937es/i6937ES.pdf
- Ortiz, S.C.A. (2019). *Edafología*. México. Editorial Trillas. 145-188
- Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S., de Moraes Sa, J. C., & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no-tillage. *Agronomie*, 22(7-8), 755-775.
- Zahedifard, N., Shahbazi, K., Mohammadi, M. H., Golchin, A., Moshiri, F., & Martinez, C. E. (2024). Soil Organic Carbon Fractions in Cultivated Calcareous Soils. *Eurasian Soil Science*, 57(5), 780-793

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN CON EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Nuria Aide López-Hernández^{1*}, Ramón Trucíos-Caciano¹, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes¹, Wiktor Halecki², Víctor Manuel Rodríguez-Moreno³

¹INIFAP, CENID RASPA. ²Institute of Technology and Life Sciences-National Research Institute, Falenty, Polonia, ³INIFAP, CE Pabellón

*Autor para correspondencia: lopez.nuria@inifap.gob.mx

Palabras clave. Vulnerabilidad climática, cambio climático, resiliencia agrícola.

Introducción

Los cambios en la frecuencia y gravedad de los fenómenos climáticos extremos, así como en la variabilidad de los patrones meteorológicos tienen consecuencias significativas para los sistemas agrícolas, debido, principalmente, al aumento en la frecuencia de eventos de estrés térmico, sequías e inundaciones (Thornton et al., 2014). Por lo tanto, uno de los mayores desafíos es reducir el impacto ambiental de la agricultura y garantizar la seguridad alimentaria. Es importante comprender los desafíos que plantea el cambio climático a la agricultura y su impacto en la producción de maíz. El maíz es básico en la alimentación humana, como forraje y para la síntesis de biocombustibles, como etanol. La disponibilidad del grano, tanto en cantidad como en calidad, para abastecer todos los usos antes mencionados es ampliamente influenciada por las variables climáticas, principalmente precipitación pluvial y temperatura. Una comprensión más clara de los mecanismos por los cuales el cambio climático afecta a la agricultura y de las técnicas de adaptación podría ayudar a diseñar mejores políticas agrícolas y climáticas (Chen y Gong, 2021), principalmente en los países en desarrollo, donde la agricultura es un sector clave para lograr la reducción de la pobreza y el desarrollo sostenible. Se prevé que afecte desproporcionadamente la producción agrícola en países tropicales en desarrollo de baja latitud, mientras que algunos países desarrollados de alta latitud podrían beneficiarse (IPCC, 2007). En general, se proyecta que el impacto del cambio climático en el rendimiento del maíz en México para 2080 será una disminución del 26 % en comparación con el rendimiento de 2020 (Turbierillo et al., 2008). En este trabajo se planteó la hipótesis de que la temperatura y la precipitación afectan significativamente el rendimiento del maíz forrajero en las regiones áridas y semiáridas.

Objetivo

El objetivo de este trabajo fue examinar la relación que existe entre la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación con los rendimientos del maíz en sistemas de secano y de riego, en la Comarca Lagunera (CL) ubicada en una región árida de los estados de Coahuila y Durango en México.

Materiales y Métodos

El área de estudio corresponde a la CL, ubicada al norte de México, entre las coordenadas 24° 22' y 26° 23' de latitud N y 102° 22' y 104° 47' de longitud O; tiene una superficie de 31,000 km². La región se divide en 16 municipios, 5 de ellos ubicados en el estado Coahuila de Zaragoza: Viesca, Torreón, Francisco I. Madero, San Pedro, Matamoros; y, 11 ubicados en el estado de Durango: San Juan de Guadalupe, Cuéncame, General Simón Bolívar, Mapimí, Gómez Palacio, Nazas, Lerdo, Tlahualilo, San Pedro del Gallo, Rodeo, San Luis Cordero. El clima predominante es BW_hw, muy árido, semicálido, con una temperatura media anual de entre 18 °C y 22 °C.

Los datos mensuales de las variables climáticas de temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}) y precipitación (PP) se obtuvieron de diez estaciones meteorológicas distribuidas en la CL, buscando representatividad del área de estudio. Otro criterio importante para su selección fue que las bases de datos contaran con menos de 20 % de datos perdidos. El periodo de las bases de datos empleado fue de 2003 a 2020. Se realizó la homogeneización de series climatológicas, incluyendo la estimación de datos faltantes y la detección y corrección de valores anómalos y desplazamientos de la media de las series, utilizando el paquete Climatol (versión 4.0.0) que funciona con el lenguaje de programación R. Las estaciones climáticas seleccionadas se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.

Altitud (msnm)	Latitud (°)	Longitud (°)	Código	Nombre	Municipio	Estado
1100	25.757222	-102.995556	5036	San Pedro	San Pedro	Coahuila
1300	25.116111	-102.632222	5004	Bajío de Ahuichila	Viesca	Coahuila
1100	26.4825	-103.035278	5159	Acatita	Francisco I. Madero	Coahuila
1100	26.106389	-103.442778	10085	Tlahualilo	Tlahualilo	Durango
1188	26.323889	-104.351111	10005	Ceballos	Mapimí	Durango
1140	25.546111	-103.521944	10108	Ciudad Lerdo (DGE)	Lerdo	Durango
1346	25.183333	-104.5625	10098	Rodeo (DGE)	Rodeo	Durango
2175	24.251389	-103.795556	10135	Cuauhtémoc	Cuencamé	Durango
1525	24.687778	-103.226389	10080	Simón Bolívar	General Simón Bolívar	Durango
1531	24.631389	-102.782778	10099	San Juan de Gpe	San Juan de Guadalupe	Durango

Los datos de rendimiento de maíz ($t\ ha^{-1}$) se obtuvieron de la base de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de 2003 a 2020. La base de datos contiene información de rendimiento por municipio; por lo tanto, para obtener el rendimiento promedio anual de maíz forrajero en la CL, se obtuvo el valor acumulado de los municipios que conforman la región.

Se realizaron regresiones lineales para determinar si existe una relación entre el rendimiento del maíz forrajero y las condiciones climáticas extremas de la región. El análisis de las regresiones lineales para conocer la relación entre el rendimiento y las variables climáticas (PP, Tmax y Tmin) se llevó a cabo mediante el coeficiente de determinación (R^2), y con este se evaluó la bondad de ajuste de los modelos obtenidos.

Resultados y Discusión

Las ecuaciones (1) a (3) muestran la relación entre el rendimiento del maíz (Y) bajo riego y las variables climáticas PP, Tmax y Tmin, respectivamente. Las ecuaciones (4) a (6) muestran la relación entre el rendimiento del maíz en condiciones de temporal con la PP, la Tmax y la Tmin, respectivamente, en la CL.

$$Y = -0.0002PP + 44.16, \quad R^2 = 0.0032 \quad (1)$$

$$Y = -0.412Tmax + 45.21, \quad R^2 = 0.0006 \quad (2)$$

$$Y = 0.0624Tmin + 44.16, \quad R^2 = 0.0008 \quad (3)$$

$$Y = 0.0029PP + 11.919, \quad R^2 = 0.2058 \quad (4)$$

$$Y = -1.9895Tmax + 80.33, \quad R^2 = 0.2617 \quad (5)$$

$$Y = -0.6233Tmin + 26.179, \quad R^2 = 0.0138 \quad (6)$$

Se observa que la relación entre el rendimiento del maíz y las variables climáticas es débil, aunque esta relación con el rendimiento es mayor en el cultivo de maíz de temporal que en el de riego. Este comportamiento podría indicar que el riego es una estrategia de adaptación al cambio climático, que favorece el rendimiento de los cultivos y los hace resilientes a las variables climáticas extremas. De hecho, el riego se considera una estrategia de agricultura climáticamente inteligente, que desarrolla resiliencia y mejora la resistencia de las variedades a condiciones ambientales adversas, manteniendo o incrementando el rendimiento de los cultivos en condiciones de estrés. Es importante resaltar que la variación de la precipitación en el periodo de estudio (733 mm – 2836 mm) es mayor que la de la temperatura máxima (30.5 °C – 33.5 °C) y la de la temperatura mínima (13.5 °C – 15.5 °C).

Un estudio previo en México, que utilizó modelos lineales mixtos (LMM) para analizar la relación entre el rendimiento del maíz y múltiples variables climáticas en cultivos de temporal y de riego, reveló que el cambio climático tendrá un fuerte impacto negativo en el rendimiento de los cultivos de temporal, mientras que los cultivos de riego se mantendrán estables. Las proyecciones indican que los rendimientos de los cultivos de temporal se reducirán significativamente en escenarios futuros (Kang et al., 2017). Estos hallazgos son consistentes con los resultados obtenidos en este estudio, ya que la temperatura máxima es

la variable climatológica que presentó la mayor relación con el rendimiento del maíz bajo riego. Mientras que la precipitación, si bien impacta principalmente en la productividad del maíz de temporal, su relación con el rendimiento fue menor.

La región de estudio se caracteriza por un clima árido y semiárido, con baja precipitación; por lo tanto, la producción de maíz depende en gran medida del agua de riego, lo cual, según el análisis de este estudio, ha favorecido la resistencia del maíz al impacto del CC. Sin embargo, debido al aumento de temperatura, se espera que la evapotranspiración en zonas áridas y semiáridas aumente, lo que puede aumentar la necesidad de riego agrícola. La resiliencia del cultivo de maíz al CC es fuerte y, además, el estrés del cultivo puede mitigarse mediante un manejo eficaz. Si bien el agua es esencial para el rendimiento del maíz, se ha demostrado que el riego es una estrategia de adaptación eficaz. Mejorar el riego aumenta la resistencia del maíz al CC, por lo que el impacto de la precipitación en el rendimiento del maíz puede ser menos significativo. Además, se pueden implementar mejoras en la tecnología de cultivo y el nivel de manejo.

Conclusiones

La relación de las variables de clima PP, Tmax y Tmin con el rendimiento de maíz forrajero resultó muy débil. Sin embargo, se observó una relación más fuerte entre la PP y el rendimiento de maíz de secano, ya que este caso el cultivo es más vulnerable al déficit hídrico. En el caso del cultivo de maíz bajo riego, la Tmax es la variable climática que tiene una mayor influencia sobre el rendimiento. Se sugiere que el riego funciona como una estrategia para mitigar los efectos de las variables extremas de clima sobre el rendimiento del maíz forrajero en la CL.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Esta investigación fue financiada por el proyecto “Determinación de la lámina de riego óptima en tiempo casi real como estrategia de adaptación/mitigación al cambio climático”, con número SIGI 12494136181, del INIFAP.

Referencias bibliográficas

- Chen, S.; Gong, B. Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China. *J. Dev. Econ.* 2021, 148, 102557.
- IPCC. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A., Eds.; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2007; pp. 3–22.
- Kang, S.Z.; Hao, X.M.; Du, T.S.; Tong, L.; Su, X.L.; Lu, H.N.; Li, X.L.; Huo, Z.L.; Li, S.; Ding, R.S. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agric. Water Manag.* 2017, 179, 5–17.
- Thornton, P.K.; Ericksen, P.J.; Herrero, M.; Challinor, A.J. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*, 2014, 20, 3313–3328.
- Tubierllo, F.; Schmidhuber, J.; Howden, M.; Neofotis, P.G.; Park, S.; Fernandes, E.; Thapa, D. Climate change response strategies for agriculture: Challenges and opportunities for the 21st Century. In *Agriculture and Rural Development Discussion Paper 42*; The World Bank: Washington, DC, USA, 2008.

ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN EN CULTIVOS PARA AMBIENTES DE TEMPORAL, EN LA MIXTECA DE OAXACA

Leodegario Osorio-Alcalá^{1*}, Daniela Herrera-Castro¹

¹INIFAP, CIRPAS, CEVOAX,

*Autor para correspondencia: osorio.leodegario@inifap.gob.mx

Palabras clave. Diversificación, precipitación, rendimiento.

Introducción

La región Mixteca de Oaxaca y otras del país están siendo afectadas por los efectos del cambio del clima, principalmente por la errática distribución de la lluvia, temperaturas más extremas que provoca una menor estación de crecimiento, aunado a la degradación del suelo por las prácticas convencionales que se utilizan en la producción de cultivos. En esta región el 95% de cultiva en condiciones de temporal, en maíz se siembran 99,970.15 hectáreas con un rendimiento promedio de 0.94 t ha⁻¹, en frijol 11,662.85 hectáreas y rendimiento de 0.65 t ha⁻¹, y en trigo 9,909.52 hectáreas y un rendimiento de 0.85 t ha⁻¹ (SIAP, 2024).

El aumento de las temperaturas y el cambio en los regímenes pluviales tienen efectos directos sobre el rendimiento de los cultivos, principalmente los periodos de sequía que se han presentado en la región mixteca en los últimos cinco años. Además, con las prácticas agrícolas tradicionales, se afecta la degradación del suelo y la disponibilidad de agua. De acuerdo con lo señalado por (Nelson *et al.*, 2009), se prevé que los suelos se deterioren aún más en los próximos años, por lo que es necesario que estos recursos se manejen de forma sostenible, haciendo adecuado uso de fertilizantes, rotar cultivos e incorporar residuos que puedan contribuir a la formación de suelos resilientes.

La agricultura de conservación basado en la rotación de cultivos, dejar que los rastrojos cubran el suelo, disminuyen las pérdidas de humedad por evaporación, y contribuyen a la formación de materia orgánica y favorecen mayor retención del agua en el suelo (Ryan *et al.*, 2008).

Objetivo

El objetivo de la investigación fue evaluar diversos cultivos para la producción de grano y forraje con prácticas sustentables en condiciones de temporal, para identificar algunas alternativas que les permita a los productores reducir los efectos adversos del clima y mejorar sus ingresos en condiciones limitantes de humedad, pero conservando los recursos disponibles.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en los ciclos Primavera-Verano 2023 y 2024 en condiciones de temporal en una superficie de 1.5 hectáreas. El lote se ubica 17°30'31" de LN y 97°21'05" de LO, y una altitud 2,125 msnm. El suelo es cambizol cálcico de textura arcillosa con pH de 8.1 y 2% de materia orgánica. El clima es subhúmedo con lluvias en verano y una precipitación promedio anual de 750 mm, la temperatura media anual es de 18°C. La precipitación tiene una distribución bimodal con un periodo de sequía entre julio y agosto. Los diversos cultivos fueron establecidos en franjas apareadas con distintas rotaciones, cada especie ocupó un área de 3,750 m². El manejo del suelo fue mediante roturación vertical a 40 cm de profundidad con paso de rastra y dependiendo del cultivo anterior hubo presencia de residuos (maíz, trigo) o sin residuos (frijol).

Las fechas de siembra variaron de acuerdo con el ciclo vegetativo de cada cultivo y al establecimiento del periodo de lluvias (cuadro 1). La siembra de todos los cultivos fue mecanizada, el maíz y frijol con sembradora neumática "doblance", el trigo y los forrajes con sembradora de granos finos.

Control de arvenses, en maíz se aplicó un sellador (atrazina) y se complementó con un deshierbe manual, en frijol el control fue manual, en trigo y la mezcla de forrajes se emplearon herbicidas específicos. Para prevenir el daño de plagas del suelo la semilla se trató con Imidacloprid+Bifentrina, para reducir la población de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se colocaron trampas de feromonas desde la siembra, en frijol, trampas amarillas para la captura de pulgones, en maíz se liberaron *Trichogrammas* para disminuir la incidencia de gusano elotero haciendo las liberaciones en R1.

Cuadro 1. Rotación, especies y fechas de siembra evaluadas en condiciones de temporal, Yanhuitlán, Oax.

Ciclo PV-2023		Ciclo PV-2024	
Rotación-Cultivo	Fecha de siembra	Rotación-Cultivo	Fecha de siembra
Trigo-Maíz Criollo Jazmín	3 de junio	Maíz-Frijol Negro 8025	9 de julio
Trigo-Frijol Criollo Tiltepec	12 de julio	Maíz-Frijol Criollo Tiltepec	9 de julio
Frijol-Trigo L-239	12 de julio	Maíz-Maíz Criollo Jazmín	20 de junio
		Frijol-Maíz Criollo Jazmín	20 de junio
		Trigo-Trigo Borlaug 100	30 de julio
		Trigo-Avena + Triticale	30 de julio

La semilla de todas las especies durante los dos ciclos fue tratada con microorganismos a base de micorrizas con Fosfonat en dosis de 0.25 kg para la cantidad de semilla para una hectárea. La fertilización de cada cultivo fue distinta, en maíz se utilizó la dosis 80-60-00 (NPK) fraccionada, en la siembra se aplicó todo el P y mitad de N, en V6 la otra parte de N. En frijol 50-40-30 (NPK) todo al momento de la siembra; en trigo y la mezcla de avena con triticale para forraje se utilizó 90-50-00 (NPK) todo el P y mitad de N en la siembra, en el amacollo la otra parte de N. La dosis para cada cultivo fue la misma en cada ciclo de producción. Se registraron las principales variables fenológicas: días a floración, madurez fisiológica, reacción a enfermedades, así como el registro de la precipitación durante el ciclo del cultivo.

La estimación de rendimiento en maíz y frijol fue mediante 5 muestreos aleatorios en cada franja de cultivo, cada muestra fue en un área de 2 surcos de 5 m de longitud separados a 0.8 (8 m²); en trigo y la mezcla de forrajes fue también en 5 muestreos aleatorios usando un cuadro de 2 x 2 (4 m²). En maíz, frijol y trigo después de obtener el grano de cada muestra se puso a secar hasta alcanzar el 12% de humedad en maíz y del 14% en frijol y trigo; mientras que el forraje después de cortar al nivel del suelo se pesó y se obtuvo el peso en verde, posteriormente se puso a secar hasta obtener un peso constante para estimar el rendimiento de materia seca. Con los valores obtenidos se obtuvo el valor promedio de los 5 muestreos, la varianza y el error estándar.

Resultados y Discusión

Comportamiento de la precipitación

El comportamiento de la precipitación durante ambos ciclos fue distinto (figura 1), e influyó en el desarrollo de los cultivos. En 2023 las lluvias se establecieron en junio, y la acumulada de junio a octubre fue de 331.2 mm, ocurriendo una disminución en la segunda quincena, en julio y agosto se incrementó la precipitación alcanzándose el valor más alto el 15 de agosto (119.5 mm), pero después hubo una drástica disminución en el mes de septiembre, cuando en otros años ha sido el mes más lluvioso, esto afectó el llenado de grano y en consecuencia hubo una severa disminución en el rendimiento. En el 2024, la lluvia acumulada de junio a octubre fue 550 mm, pero en agosto ocurrió una disminución de la precipitación que se conoce como “canícula” afectando el maíz durante la floración; mientras que en septiembre nuevamente se incrementó la precipitación, que favoreció el llenado del grano; después del 15 de octubre prácticamente terminó el periodo de lluvias e inician las bajas temperaturas.

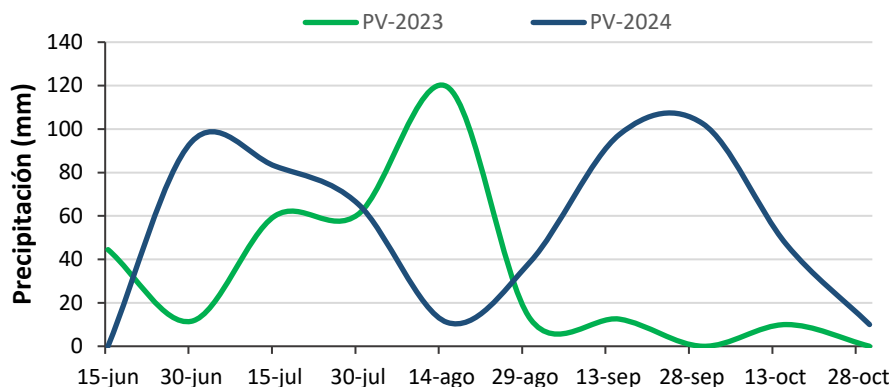


Figura 1. Distribución de la precipitación durante el desarrollo de los cultivos en los ciclos Primavera-Verano 2023 y 2024. Santo Domingo Yanhuatlán, Oax.

Respuesta de tres especies a dos ambientes de temporal crítico

En el 2023 el maíz nativo "Jazmín" tuvo un rendimiento de 4.7 t ha^{-1} con una precipitación durante el ciclo de 330.7 mm, y en floración de 121.5 mm, mientras que en el 2024 el mismo genotipo solo rindió 2.3 t ha^{-1} con una precipitación total de 549.5 mm y en floración solo recibió 52 mm (figura 2). En este ciclo, aunque el maíz recibió mayor cantidad de agua, hubo un periodo de deficiencias durante la floración y después una lluvia torrencial que ocasiono acame cuando la planta se encontraba en V-10, esto ocasiono una disminución en el rendimiento de grano de 2.4 t ha^{-1} , respecto al registrado en 2023. Esto refleja que en cada ciclo la cantidad y distribución es distinta e influyo de manera directa en la producción de grano de maíz nativo.

El frijol nativo "Tiltepec" durante el 2023 su rendimiento fue relativamente bajo 0.33 t ha^{-1} por la escasa precipitación (216.5 mm), y en floración únicamente recibió 20.5 mm afectándose el número de granos por vaina y el peso del grano que son los principales componentes de rendimiento. En las siembras comerciales de los productores durante este ciclo, el rendimiento del frijol oscilo en 0.15 t ha^{-1} , e incluso hubo pérdida total.

En el 2024, está leguminosa con la misma variedad y una precipitación durante el ciclo de 421 mm y en floración 71 mm, alcanzo un rendimiento de 2.19 t ha^{-1} superior en 1.86 t ha^{-1} respecto al rendimiento obtenido en 2023, como efecto de la mayor cantidad y mejor distribución de la lluvia, pero sobre todo por el efecto de los residuos de maíz como cobertura que ayudaron a conservar humedad en el suelo y favoreció el mejor desarrollo del frijol; esto confirma lo señalado por Martínez Gamiño *et al* (2023) de los beneficios de las prácticas de agricultura de conservación en mejorar la tasa de infiltración y la cantidad de agua disponible para la expresión del rendimiento de los cultivos.

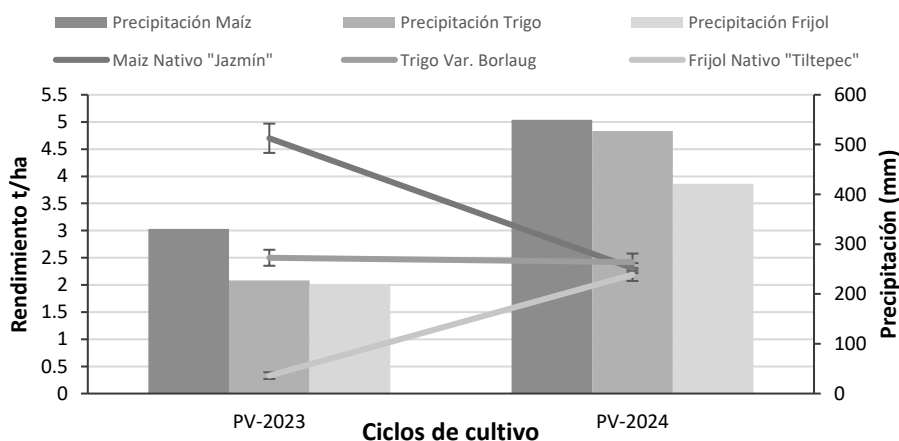


Figura 2. Rendimiento de grano de tres cultivos en condiciones de temporal y dos ciclos de producción. Yanhuatlán, Oax.

En el caso de trigo variedad Borlaug 100, en 2023 su rendimiento fue de 2.5 t ha^{-1} con una precipitación de 227 mm y en floración de 85 mm; mientras que en 2024 su rendimiento fue similar 2.4 t ha^{-1} en una rotación trigo-trigo, con 527 mm durante el ciclo y en floración de 109 mm. En este cultivo no se observó un incremento en el rendimiento porque fue en monocultivo trigo-trigo, aunque hubo mayor precipitación.

Estos resultados indican la diferente respuesta de los cultivos con distintos ciclos de cultivo y requerimiento de agua se expresan de manera diferente ante la cantidad de lluvia recibida durante su crecimiento y desarrollo, pero sobre todo en la floración, también la importancia de diversificar cultivos en un mismo espacio puede ser una estrategia para reducir los efectos de la sequía ocasionados por el cambio climático, permitiendo que los productores disminuyan los riesgos de producción.

Diversificación de especies

Durante el ciclo 2024 fueron evaluados diversos cultivos para la producción de grano y forraje en condiciones de temporal (figura 3) con distintas rotaciones. En maíz hubo dos tratamientos: rotación maíz-maíz y frijol-maíz usando la variedad nativa el "Jazmín". En monocultivo se tuvo un rendimiento de 2.3 t ha^{-1} , mientras que en la rotación frijol-maíz el rendimiento de maíz fue de 3.46 t ha^{-1} ; es decir, por el efecto de la leguminosa hubo un incremento de 1.16 t ha^{-1} como consecuencia de la fijación biológica de nitrógeno, lo que puede permitir la disminución en el uso de fertilizantes químicos, aunado a la reducción de costos de producción y mejorar el ingreso de los productores en condiciones limitantes de humedad. Incluir una leguminosa en una rotación con gramíneas genera una reducción de fertilización nitrogenada en el cereal, debido al aprovechamiento de la ventaja de las leguminosas de fijar nitrógeno al suelo (Ryan *et al.*, 2008). En el monocultivo trigo-trigo con la variedad Borlaug 100 se logró una producción de 2.42 t ha^{-1} de grano con una precipitación de 527 mm. La mezcla de avena con triticale para la producción de forraje en una rotación después de trigo, se obtuvo un rendimiento de 1.8 t ha^{-1} de materia seca a los 95 días después de la siembra con 307 mm de agua, aunque esta mezcla es extractora de nutrientes en el siguiente ciclo debe establecerse una leguminosa para recuperar parte de su fertilidad.

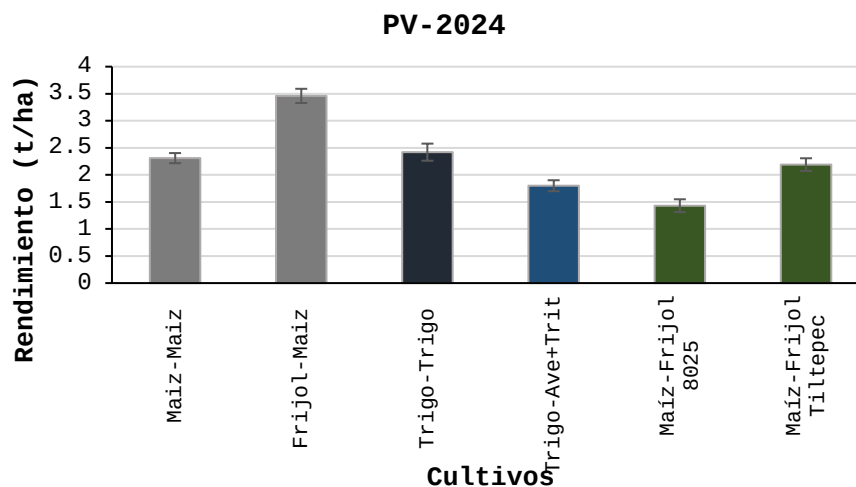


Figura 3. Rendimiento de grano y/o forraje de diversos cultivos en condiciones de temporal. Yanhuatlán, Oax, Ciclo PV-2024.

En frijol se evaluaron dos variedades: Negro 8025 y el nativo "Tiltepec", después de maíz con 100% de cobertura el mayor rendimiento de grano se alcanzó con el frijol nativo 2.19 t ha^{-1} , mientras que la variedad mejorada rindió 1.43 t ha^{-1} . Estos rendimientos fueron con una precipitación de 421 mm. La mayor producción del frijol "Tiltepec" fue por su mayor tolerancia a antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) que se manifestó durante el llenado de grano, como consecuencia de las condiciones ambientales que favorecieron el desarrollo del patógeno.

De los diversos cultivos, la producción de forrajes se cosecha en menor tiempo a los 95 días después de la siembra, el frijol maduro a los 118 días, el trigo a los 120 días y el maíz 132 días. Cultivar especies o variedades de ciclo largo, pueden tener mayor riesgo de pérdida por falta de agua durante llenado del grano, o ser afectados por las bajas temperaturas que se presenten desde noviembre; por ello, la diversificación de cultivos con especies de diferente ciclo vegetativo y distintos requerimientos de agua, permite reducir el daño de plagas y enfermedades, así como la cantidad de agroquímicos (Rivera López *et al.*, 2020).

Conclusiones

- El frijol nativo “Tiltepec” es un material con buen potencial de rendimiento y con mayor tolerancia a enfermedades, además tiene preferencia en el mercado local para su consumo.
- Con la diversificación de especies de diferente ciclo vegetativo se puede reducir el efecto de la sequía, pero implementando prácticas que favorezcan la infiltración del agua de lluvia y reducir su pérdida por evaporación.
- En maíz nativo, con roturación vertical, residuos de cosecha y en rotación con frijol, se incrementa el rendimiento respecto al monocultivo maíz-maíz, es una alternativa de producción viable para reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar la salud del suelo.
- La producción de forrajes asociados (avena-triticale) permite obtener forraje de calidad en menor tiempo, respecto al trigo, frijol y maíz.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Agradecimientos al CIMMYT por el financiamiento al proyecto “Plataforma de Investigación Año 11 y 12”.

Referencias bibliográficas

Martínez Gamiño, M. Ángel, Osuna Ceja, E. S., Padilla Ramírez, J. S. y Pimentel López, J. 2023. Agricultura de conservación: alternativa para la mitigación del cambio climático en el altiplano semiárido de México, Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. México. 14(6), pp.29-57.

Nelson, G. C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. y Lee, D. 2009. Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. Food Policy Report 21. Washington, International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Rivera López, M.I., Estrada Hernández, J.A., Elidea Quiñonez, R. y Moreno García, R. R. 2020. aproximación teórica y aplicada al modelo de diversificación integral de cultivos para el desarrollo agrícola y económico en el cantón quinindé, provincia de esmeraldas, república del Ecuador. Diversificación integral de cultivos para el desarrollo agrícola y económico. Revista Científica Multidisciplinaria Mikarimin. Vol. 6, Edición Especial. Ecuador.

Ryan, J., M. Singh, y Pala, M. 2008. Long term cereal-based rotation trials in the Mediterranean region: implications for cropping sustainability. Advances in Agronomy. 97: pp.273-319.

Servicio de Información Agroalimentación y Pesquera (SIAP). 2024. Avance de Siembras y Cosechas. Disponible en: https://nube.agricultura.gob.mx/avance_agricola/.

CEPAS *Rhizobium* NATIVAS CON POTENCIAL PROBIÓTICO VEGETAL PARA MEJORAR CULTIVOS DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Stephanie Solís-Zebadúa¹, Reiner Rincón-Rosales^{1*}, Erick Fabián Sarmiento-Megchum¹, Clara Ivette Rincón-Molina¹, Adriana Gen-Jimenez¹, Luis Alberto Manzano-Gómez^{1,2}, Francisco Alexander Rincón-Molina¹

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Laboratorio de Ecología Genómica y Agricultura Regenerativa, ²3R Biotec S.A. de C.V., Departamento de Investigación y Desarrollo

*Autor para correspondencia: M19270398@tuxtla.tecnm.mx

Palabras clave. *Rhizobium*, frijol, biofertilizante.

Introducción

La agricultura regenerativa, concebida como un modelo de manejo agroecológico que prioriza la restauración de la salud del suelo y la resiliencia de los agroecosistemas, ha impulsado el uso estratégico de microorganismos benéficos. En este contexto, los biofertilizantes basados en bacterias probióticas nativas constituyen herramientas biotecnológicas de gran relevancia para promover sistemas agrícolas más sostenibles. El uso de estos inoculantes ha cobrado impulso a nivel global por su capacidad de mejorar la productividad vegetal, reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y contribuir a la restauración de la salud edáfica. En México, el interés en biofertilizantes ha evolucionado significativamente desde la década de 1980, destacándose el uso exitoso de inoculantes rizobiales en leguminosas y, más recientemente, el desarrollo de formulaciones basadas en consorcios bacterianos multifuncionales (Rincón-Molina et al., 2025). Ante los impactos ambientales del uso indiscriminado de fertilizantes químicos —como la contaminación de cuerpos de agua y la pérdida de biodiversidad microbiana del suelo— el empleo de biofertilizantes con cepas bien caracterizadas ofrece un camino claro hacia una agricultura regenerativa. Dentro de este marco, las bacterias del género *Rhizobium* son de particular interés debido a su capacidad para establecer relaciones simbióticas fijadoras de nitrógeno atmosférico (N₂) con leguminosas, reduciendo así la necesidad de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Además de la fijación simbiótica de N₂, muchas cepas de *Rhizobium* exhiben propiedades probióticas vegetales que potencian el crecimiento y la productividad de los cultivos mediante la producción de ácido indolacético (AIA), sideróforos, solubilización de fosfatos y la activación de rutas metabólicas relacionadas con el metabolismo secundario (Gen-Jiménez et al., 2023). Estas características son especialmente relevantes en cultivos como el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), pilar nutricional en la dieta mexicana y cultivo de importancia estratégica. Sin embargo, debido a la alta demanda de producción, este cultivo ha sido históricamente afectado por el uso intensivo de fertilizantes químicos, con consecuencias negativas sobre la fertilidad del suelo (Hayat et al., 2014). En este contexto, la inoculación con cepas nativas adaptadas representa una alternativa agrobiotecnológica prometedora para mejorar el desempeño fisiológico y productivo del frijol, y avanzar hacia una agricultura más sustentable.

Objetivo

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de cepas nativas de *Rhizobium* sobre el crecimiento y desarrollo del frijol (*P. vulgaris* L.) en parámetros vegetativos y productivos, así como aislar e identificar molecularmente cepas endófitas asociadas a los nódulos de frijol.

Materiales y Métodos

El cultivo se estableció en una parcela experimental en el municipio de Villa Corzo, Chiapas (16.08568°N, 93.35670°W). Se evaluó el efecto de la inoculación con tres cepas nativas de *Rhizobium*: *R. calliandrae* LBP2-1, *R. mayense* NSJP1-1 y *R. jaguaris* SJP1-2, en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad "negro verdín". Como referencia comparativa se incluyeron un control positivo, tratado con el bioestimulante comercial Biozyme® TF, y un control negativo constituido por plantas no inoculadas. El diseño experimental empleado fue completamente al azar.

Las semillas fueron previamente tratadas mediante inmersión en suspensiones bacterianas ajustadas a una densidad óptica de 0.2 a 600 nm durante 30 minutos según el tratamiento. Una segunda aplicación de la inoculación bacteriana se realizó a los 30 días posteriores a la emergencia y se evaluaron los parámetros productivos y fisiológicos, en parámetros de la altura de las plantas y el contenido de clorofila, determinado mediante unidades SPAD. Al momento de la cosecha, se cuantificaron el número de vainas por planta, el número de semillas por vaina y el peso total de semillas por planta.

Durante la fase de floración, se seleccionaron tres plantas al azar por tratamiento para la recolección de nódulos radiculares. Estos fueron desinfectados y utilizados para el aislamiento de bacterias endófitas, siguiendo el protocolo establecido por Martínez-Romero (1996). Las cepas aisladas fueron caracterizadas mediante ensayos funcionales para determinar su capacidad de fijación de nitrógeno en vida libre (Reducción de Acetileno-ARA), solubilización de fosfatos y producción de sideróforos. Asimismo, se realizó la identificación molecular de las cepas mediante la amplificación por PCR de un fragmento de 1464 pb del gen 16S rRNA, seguido de su secuenciación mediante la técnica de Sanger.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se llevó a cabo mediante un análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confianza del 95 %, utilizando el software StatGraphics.

Resultados y Discusión

El análisis estadístico mediante ANOVA ($p < 0.05$) evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en variables vegetativas y productivas del frijol (*Phaseolus vulgaris*). Como se muestra en el cuadro 1, la inoculación con *Rhizobium jaguaris* resultó en un desempeño superior en tres de las cuatro variables analizadas: altura total de planta (41.04 cm), contenido de clorofila (43.08 SPAD) y peso por planta (27.21 g), mientras que el número de vainas por planta (24.12) también se ubicó entre los valores más altos. Este comportamiento sobresaliente puede atribuirse a las capacidades multifuncionales de esta cepa, como lo documentaron Gen-Jiménez et al. (2023), quienes reportaron que *R. jaguaris* posee un conjunto de genes relacionados con la producción de ácido indolacético (AIA), sideróforos, formación de biopelículas y sistemas de secreción que facilitan una colonización eficiente de la rizósfera y una interacción simbiótica altamente efectiva.

Al margen de la disponibilidad de nutrientes, el impacto positivo de estas bacterias en las variables evaluadas podría explicarse por varios mecanismos sinérgicos. La producción de AIA promueve la elongación celular y el desarrollo radicular, lo que a su vez incrementa la capacidad de absorción de agua y nutrientes, favoreciendo un mayor crecimiento en altura. La disponibilidad de hierro mediada por sideróforos es crucial para la biosíntesis de clorofila, lo que explicaría los elevados valores SPAD registrados en las plantas inoculadas con *R. jaguaris*. Asimismo, la fijación simbiótica de nitrógeno no solo suple los requerimientos de este macronutriente esencial, sino que también podría mejorar el metabolismo global de la planta, conduciendo a un mayor número de vainas y a un incremento significativo en el peso total de semillas por planta (Martínez-Romero, 1996; Gen-Jiménez et al., 2023).

El segundo mejor rendimiento fue observado en plantas inoculadas con *R. calliandrae*, con valores intermedios en altura (37.48 cm), clorofila (39.87 SPAD) y peso por planta (21.48 g), mientras que *R. mayense* se destacó particularmente en el número de vainas por planta (27.32), aunque con un menor peso por planta (16.30 g). Estas diferencias entre cepas podrían reflejar variaciones en su capacidad de fijación de nitrógeno, solubilización de nutrientes y modulación hormonal, lo que indica que cada cepa de *Rhizobium* posee funciones específicas y diferenciadas (Gen-Jiménez et al., 2023). Este carácter funcional diverso sugiere que, más que competir, podrían actuar de manera complementaria dentro de un consorcio bacteriano, potenciando colectivamente los beneficios agronómicos para el cultivo en función de sus atributos metabólicos y su compatibilidad con el genotipo de la planta hospedera.

En marcado contraste, los tratamientos con el biofertilizante comercial basado en *Rhizobium etli* y el bioestimulante Biozyme (Manzate 2000) arrojaron los resultados más bajos en todas las variables evaluadas. La menor altura de planta (33.48 cm), contenido de clorofila (35.83 SPAD), número de vainas (17.64) y peso por planta (12.04 g) fueron registrados con *R. etli*, mientras que Biozyme presentó el valor más bajo absoluto en peso por planta (9.12 g). Este desempeño subóptimo se podría atribuir a varias limitaciones. En primer lugar, la cepa comercial de *R. etli* no necesariamente podría estar adaptada al agroecosistema local ni al cultivar de frijol utilizado, lo que podría limitar la eficacia de la simbiosis. En segundo lugar, los bioestimulantes como Biozyme, aunque ricos en extractos vegetales, aminoácidos y micronutrientes, parecen carecer de la capacidad simbiótica integral que caracteriza a las cepas de *Rhizobium*. Mientras estos productos podrían inducir respuestas fisiológicas transitorias, las cepas

bacterianas posiblemente generan un efecto sistémico más profundo, regulando rutas metabólicas clave y promoviendo un desarrollo vegetal sostenido (Calero-Hurtado et al., 2019; Gen-Jiménez et al., 2023; Rincón-Molina et al., 2025).

El impacto diferencial observado en las variables evaluadas es particularmente relevante desde un punto de vista agronómico. Una mayor altura de planta y un contenido elevado de clorofila son indicadores de un aparato fotosintético más eficiente, capaz de sostener una mayor productividad. De igual forma, un número superior de vainas por planta y un mayor peso de semilla representan ganancias directas en el rendimiento económico del cultivo. La capacidad de las cepas de *Rhizobium* para modular positivamente todas estas variables pone de manifiesto su potencial como herramientas biotecnológicas de alto valor para sistemas de producción sustentables (Hayat et al., 2014; Calero-Hurtado et al., 2019).

Adicionalmente, es importante señalar que las bacterias del género *Rhizobium* son consideradas inocuas para la salud humana y el ambiente, dado que su nicho ecológico natural es la rizósfera y los tejidos vegetales. A diferencia de fertilizantes químicos que pueden dejar residuos tóxicos o alterar la microbiota edáfica, las cepas de *Rhizobium* no representan un riesgo ambiental y son compatibles con prácticas de agricultura orgánica y regenerativa (Calero-Hurtado et al., 2019; Gen-Jiménez et al., 2023; Rincón-Molina et al., 2025).

Por otra parte, el uso intensivo de fertilizantes químicos, aunque proporciona nutrientes de manera inmediata, conlleva importantes desventajas ambientales, incluyendo lixiviación de nitratos, eutrofización de cuerpos de agua, acidificación del suelo y pérdida de biodiversidad microbiana (Hayat et al., 2014). En contraposición, las cepas de *Rhizobium* no solo podrían contribuir a la nutrición vegetal, sino que también favorecerían la regeneración del suelo al mejorar su estructura, incrementar el contenido de materia orgánica y estimular comunidades microbianas benéficas (Gen-Jiménez et al., 2023; Rincón-Molina et al., 2025).

Además de estos beneficios ecosistémicos, las cepas nativas de *Rhizobium* han demostrado una notable versatilidad funcional. Estudios previos han evidenciado el efecto positivo de *R. calliandrae*, *R. mayense* y *R. jaguaris* en cultivos de tomate (Gen-Jiménez et al., 2023), y los resultados obtenidos en el presente trabajo confirman su eficacia en frijol. Estas cepas muestran una capacidad consistente para establecer interacciones simbióticas eficientes y promover el crecimiento vegetal en diferentes especies cultivadas, lo que las posiciona como candidatas ideales para el desarrollo de biofertilizantes de nueva generación.

Cuadro 1. Datos vegetativos y productivos de cultivos de frijol con diferentes tratamientos.

Tratamiento	Altura total (cm)	Clorofila (SPAD)	Vaina/planta (unidades)	Peso/planta (g)
1.- <i>R. calliandrae</i>	37.4833 B	39.8708 B	23.96 B	21.4812 B
2.- <i>R. jaguaris</i>	41.0417 A	43.0892 A	24.12 B	27.2132 A
3.- <i>R. mayense</i>	36.9417 B	39.8617 B	27.32 A	16.3028 C
4.- Control positivo (Biozyme, Manzate 2000, 20-30-10)	34.1333C	39.13.75 B	12.40 D	9.1212 D
5.- Biofertilizante (<i>Rhizobium etli</i>)	33.4833 C	35.8275 C	17.64 C	12.0368 CD

Por otro lado, el aislamiento de bacterias endófitas a partir de nódulos de frijol generó un total de 24 cultivos diferenciados. Para evaluar su diversidad genética, se aplicó la técnica de *Enterobacterial Repetitive Intergenic Consensus* (ERIC-PCR), cuyo análisis permitió agruparlas en tres clústeres distintos. La caracterización molecular posterior reveló la presencia de dos especies de *Rhizobium* no reportadas previamente en aplicaciones de biofertilización en frijol: *Rhizobium helianthi* y *R. esperanzae*. Aunque ambas cepas resultaron negativas para la fijación de nitrógeno en vida libre y la solubilización de fosfato, mostraron la capacidad para la producción de sideróforos (cuadro 2). Este hallazgo es de particular relevancia, dado que los sideróforos bacterianos cumplen un papel esencial en la movilización y quelación del hierro en la rizósfera, aumentando su biodisponibilidad para la planta. El hierro es un micronutriente clave en numerosos procesos metabólicos, incluyendo la síntesis de clorofila, la actividad de enzimas redox

y la regulación de los mecanismos de fotoprotección. Por tanto, estas cepas podrían representar un recurso valioso en estrategias de biofertilización enfocadas en mejorar la nutrición mineral y el metabolismo fotosintético del cultivo (Calero-Hurtado et al., 2019; Gen-Jiménez et al., 2023).

Además, el aislamiento de cepas endófitas nativas como *R. helianthi* y *R. esperanzae*, con capacidad de producción de sideróforos, se alinea con la tendencia actual hacia el desarrollo de biofertilizantes de nueva generación que integren microorganismos multifuncionales, adaptados a condiciones edafoclimáticas locales. Asimismo, la producción de sideróforos desempeña un rol fundamental no solo en la movilización de hierro, sino en la estructuración del microbioma rizosférico, contribuyendo a un entorno edáfico más favorable para el crecimiento vegetal (Rincón-Molina et al., 2025).

Cuadro 2. Resumen de resultados de promoción de crecimiento vegetal e identificación de cepas endófitas aisladas de nódulos de frijol.

Cepa	NCBI	Fijación de N ₂	Solubilización de fosfato	Producción de sideróforos
<i>Rhizobium</i> FN17	sp. <i>Rhizobium helianthi</i> (96.1%)	Negativo	Negativo	Positivo
<i>Rhizobium</i> FN9	sp. <i>Rhizobium esperanzae</i> (98.84%)	Negativo	Negativo	Positivo
<i>Rhizobium</i> FN18	sp. <i>Rhizobium esperanzae</i> (99.61%)	Negativo	Negativo	Positivo

Cabe destacar que la ausencia de actividad de fijación de nitrógeno en vida libre observada en estas cepas no limita su funcionalidad simbiótica, dado que las especies de *Rhizobium* son fijadoras de N₂ de manera simbiótica, en asociación con la planta huésped (Martínez-Romero, 1996). De hecho, la capacidad demostrada de estas cepas para colonizar los nódulos de frijol confirma su potencial simbiótico, lo que comprueba que podrían contribuir eficazmente a la fijación biológica de nitrógeno en el sistema radicular. En cuanto a la solubilización de fosfatos, aunque las cepas aisladas fueron negativas frente a la fuente de fosfato utilizada en este ensayo (fosfato tricálcico), existen reportes que documentan la capacidad de diversas cepas de *Rhizobium* para solubilizar fosfato dicálcico en medios de cultivo (Gen-Jiménez et al., 2023). La actividad solubilizadora de fosfato depende en gran medida de la naturaleza química de la fuente de fósforo y de las capacidades metabólicas específicas de cada cepa. Por ello, se plantea como perspectiva futura evaluar el comportamiento de *R. helianthi* y *R. esperanzae* frente a diferentes fuentes de fosfato (fosfato dicálcico, fosfato de hierro, fosfato de aluminio, entre otras), con el fin de caracterizar de manera más completa su potencial como agentes biofertilizantes en programas de manejo nutricional del fósforo.

Este enfoque integrado, basado en la diversificación funcional de las bacterias del género *Rhizobium*, constituye una estrategia promisorio para el diseño de consorcios microbianos más eficientes, adaptados a las necesidades específicas de los cultivos.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio confirman el elevado potencial agronómico de las cepas nativas de *Rhizobium*, destacando a *R. jaguaris* como una cepa particularmente eficaz para promover el crecimiento y el rendimiento del frijol. Las variables fisiológicas y productivas evaluadas —altura de planta, contenido de clorofila, número de vainas y peso total por planta— mostraron mejoras significativas en los tratamientos con cepas nativas, en comparación con formulaciones comerciales como Biozyme y *R. etli*. De acuerdo a los datos del secuenciamiento del gen 16S rRNA se determinó un género bacteriano (*Rhizobium*) y dos especies (*R. helianthi* y *R. esperanzae*). Las especies bacterianas resultaron positivas a producción de sideróforos como evaluación como promotora de crecimiento vegetal. Estos resultados destacan la diversidad funcional que puede encontrarse en las comunidades bacterianas asociadas a las leguminosas y abren nuevas perspectivas para su aprovechamiento biotecnológico.

Desde una perspectiva de agricultura sustentable, la inoculación con cepas *Rhizobium* nativas representa una estrategia de bajo costo, ecológicamente viable y altamente efectiva para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos ofreciendo un camino prometedor hacia sistemas agrícolas más resilientes, eficientes y alineados con los principios de la agroecología contemporánea.

Agradecimientos y Fuente financiadora

Agradecemos a SECIHTI por la beca otorgada a S.S.Z (2061108), A.G.J. (957344), E.F.S.M (2061098), J.C.M.G (1102766), L.A.M.G. (569862) y C.I.R.M. (597160). A Dra. Esperanza Martínez-Romero y Dr. Marco Antonio Rogel-Hernández por el apoyo, asesoría técnica y prestaciones de infraestructura para determinación de Reducción de Acetileno (ARA), solubilización de fosfatos y producción de sideróforos. A Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez por la facilidad e infraestructura adecuada para realizar investigaciones.

Referencias bibliográficas

- Martínez-Romero, E. (1996). Comments on *Rhizobium* systematics. Lessons from *R. tropici* and *R. etli*.
Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2014). Nutritional and health perspectives of beans (*Phaseolus vulgaris* L.): an overview. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(5), 580-592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>
Calero-Hurtado, A., Pérez-Díaz, Y., Quintero-Rodríguez, E., Olivera-Viciedo, D., & Peña-Calzada, K. (2019). Effect of the associated application between *Rhizobium leguminosarum* and efficient microorganisms on common bean production. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 295-322. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art:1460
Gen-Jiménez, A., Flores-Félix, J. D., Rincón-Molina, C. I., Manzano-Gomez, L. A., Rogel, M. A., Ruíz-Valdiviezo, V. M., ... & Rincón-Rosales, R. (2023). Enhance of tomato production and induction of changes on the organic profile mediated by *Rhizobium* biofortification. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1235930. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1235930>
Rincón-Molina, C. I., Manzano-Gómez, L. A., García-Pérez, L. G., Rincón-Molina, F. A., & Rincón-Rosales, R. (2025). Advances and challenges in the production and use of native bacteria as plant probiotics in agronomic applications: A Mexican review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21, 101917. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101917>

INDICADORES ECONÓMICOS CON INTERVENCIONES DE AGRICULTURA REGENERATIVA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ-FORRAJE DE MÉXICO

Hugo Ernesto Flores-López^{1*}, Enrique González-Aguilar², Susana Elizabeth Ramírez-Sánchez¹, Javier Ireta-Moreno¹

¹INIFAP, CIRPAC, CECEAJAL. ²Nestlé México

*Autor para correspondencia: flores.hugo@inifap.gob.mx

Palabras clave. Relación costo/beneficio, rentabilidad, costo por tonelada.

Introducción

Actualmente la humanidad enfrenta problemas como el calentamiento global terrestre, el cambio climático, el deterioro de los recursos naturales y la seguridad alimentaria. Parte del origen de esta problemática es originada por la emisión de los gases de efecto de invernadero (GEI). Uno de ellos es el CO₂ reconocido como el principal GEI. En el 2021, México contribuyó con más de 456.26 Mt de CO_{2e}. La agricultura y ganadería aportaron el 12.3% de las emisiones de CO_{2e} por emisiones de las actividades de este sector. Por otro lado, la agricultura también representa una opción de solución para reducir el CO₂ atmosférico, a través de la captura de carbono por las plantas con el proceso de fotosíntesis, donde una parte es liberado a la atmósfera por respiración, como oxígeno y CO₂, pero existe la posibilidad de mantenerlo en el suelo en forma de carbono orgánico. En este contexto, la Agricultura Regenerativa (AR) de los sistemas de producción agrícolas tiene el enfoque de sustentabilidad, mejora de la productividad y la rentabilidad (Lal, 2020). La AR es compleja, con interacciones entre sus componentes: clima, suelo, especie vegetal y las intervenciones que realiza el productor, integrando sus componentes con eficacia que depende del grado de conocimiento que tenga de ellas y los recursos disponibles para el proceso productivo óptimo. Pero también se requiere una perspectiva mixta, continua e integrada de los niveles de gobierno, el sector privado y la sociedad civil. Esta visión integrada repercute en la salud del suelo, las plantas, los animales, las personas y el medio ambiente, elementos indivisibles e interdependientes en los agroecosistemas. Los aspectos más relevantes de la AR son: a) mejorar o aumentar en lo posible su productividad y estabilizar el rendimiento, b) mantener o mejorar la calidad del forraje producido, c) asegurar la rentabilidad sostenida del sistema y d) fomentar el desarrollo sustentable con la factibilidad de secuestrar carbono orgánico en el suelo (COS). Sin embargo, la agricultura tiene elementos, como el clima, que da a esta actividad alta incertidumbre y riesgo de producción, que dificultan alcanzar los objetivos de la AR para producir alimentos para su propio consumo y/o con productos para la venta que le genere ingresos (Wadsworth, 1997), con mayor rentabilidad y mantener atractivo este sector (Molina, 2017). Por estas razones, es indispensable valorar la respuesta de los agroecosistemas cuando se apliquen intervenciones, como las propuestas visualizadas por la AR, pero también cuantificar la eficiencia del agroecosistema y los satisfactores producidos, e implícitamente desarrollar regeneración de suelo en condiciones de operación del productor.

Objetivo

Evaluar la rentabilidad con la productividad de sistemas de producción de maíz forraje con intervenciones de Agricultura Regenerativa en sitios de México.

Materiales y Métodos

Localidades de prueba. El estudio se desarrolló en los ciclos PV 2023 y PV2024. Se incluyó la participación de productores cooperantes en el tratamiento T1. Las localidades de prueba y condición de humedad fueron: 1) San José Buenavista, Cosío, Aguascalientes (Riego por goteo), 2) Santa Teresa, Aguascalientes (Riego por goteo), 3) Campo Experimental Centro Altos de Jalisco - INIFAP, Tepatitlán de Morelos, Jalisco (temporal) y 4) Santa María del Llano, Jiquipilco, Estado de México (Riego por gravedad).

Tratamientos a evaluar. Cada tratamiento tuvo una superficie alrededor de una hectárea. Los tratamientos a evaluar fueron tres, con la siguiente combinación de intervenciones:

Tratamiento 1. Sistema testigo. Manejo agronómico con tecnología utilizada normalmente por el productor cooperante. El híbrido de maíz a utilizar debe ser el mismo para todos los tratamientos.

Tratamiento 2. Sistema integrado de AR en transición. La recomendación de nutrición de cultivos fue con base en el análisis de suelos y el enfoque 4R. Se aplicaron 10 t/ha de composta de ganado bovino de leche, antes de iniciar el ciclo PV. El tipo de labranza a utilizar fue labranza reducida con subsoleo a 20 cm de profundidad. El subsoleo se realizó sobre las hileras donde se sembró el siguiente cultivo, sobre los tallos residuales del cultivo anterior. El ensilado de maíz se realizó a una altura entre 30 y 40 cm.

Tratamiento 3. Sistema integrado de AR. La recomendación de nutrición de cultivos fue con base en el análisis de suelos y el enfoque 4R. Se aplicaron 10 t/ha de composta de ganado bovino de leche al inicio de cada ciclo PV. No se realizó ningún tipo de labranza. La siembra se hizo con sembradora de labranza de conservación. El ensilado de maíz se realizó a una altura de 30 a 40 cm.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con dos repeticiones por localidad y tres submuestras en cada una de las repeticiones.

Fertilización. El tratamiento 1 utilizó las fuentes y dosis que normalmente usa el productor cooperante. Para los tratamientos 2 y 3, las recomendaciones fueron definidas por tratamiento en cada localidad.

Híbridos de maíz y densidades de siembra utilizados. Se utilizó el mismo híbrido de maíz en los tres tratamientos evaluados por sitio de prueba y densidad de siembra, como se describe a continuación: 1) San José Buenavista (DK4018 = 110,000 pl/ha), 2) Santa Teresa [DK4018 = 95,000 pl/ha (en 2023) /75,000 pl/ha (en 2024)], 3) Campo Experimental Centro Altos de Jalisco – INIFAP (ANTÍLOPE = 95,000 pl/ha), y 4) Santa María del Llano (ALBATROS = 95,000 pl/ha).

Control biótico. Para el tratamiento 1, el productor definió el control biótico que regularmente utiliza. Para los tratamientos 2 y 3, los productos de protección de cultivos (herbicidas, insecticidas, fungicidas), dosis, forma y momento de aplicación, se definieron por el equipo de trabajo.

Indicadores de productividad. Rendimiento de forraje y de materia seca de forraje de maíz. El maíz se cosechó para forraje cuando el grano alcanzó la etapa de dos tercios en la línea de leche o 35% de MS. La parcela útil (PU) consistió en dos surcos (NS) de 5 metros de longitud (LS) y 0.75 o 0.76 m de ancho (AS). La información requerida para estimar la producción de maíz ensilado fue el peso total del maíz en PU (PTM) y el peso de elote (PE).

Indicadores económicos. Costo total de la producción (CT). Se basó en la elaboración de bitácoras de manejo agronómico para cada sitio de prueba y tratamiento. Se obtuvieron los costos de los insumos utilizados, la renta de maquinaria y equipo, las maquilas, los costos de mano de obra local. Con estos datos se generaron los indicadores económicos descritos a continuación:

Estructura de costos. Se consideraron los siguientes rubros de costos por localidad: Uso equipo agrícola, Semilla, Fertilización, Herbicidas, Insecticidas, Labores de cultivo, Riego y Cosecha.

Ingreso total por la producción (IT). Se calculó con el producto del precio de venta local del maíz para forraje y el rendimiento logrado en cada tratamiento.

Rentabilidad del cultivo. Se calculó con la diferencia del IT y CT del cultivo por hectárea.

Relación costo – beneficio (Relación B/C). Este indicador se calculó con la proporción entre el beneficio obtenido con respecto al costo total de producción en cada sistema de cultivo.

Costo por tonelada de forraje. Se calculó con la proporción entre el costo de producción de forraje entre el rendimiento de materia seca en cada tratamiento.

Análisis de información. Se utilizó análisis descriptivo en los indicadores de productividad e indicadores económicos por tratamientos, años de prueba y localidades. Las estadísticas descriptivas se obtuvieron con la hoja de cálculo Excel.

Resultados y Discusión

La estructura de costos para los sitios de prueba se presenta en el cuadro 1. En este cuadro se indican las categorías de gasto compuestas por: uso equipo agrícola, semilla de maíz, fertilización, herbicidas, insecticidas, labores de cultivo, diversos que incluyen el costo de riego, la cosecha, el costo total por sitio de prueba y por categoría. Los costos totales (CT) para el año 2023, fueron más bajos que durante el 2024, excepto en la localidad de Aguascalientes, que resultó ligeramente más bajo. El promedio general de los CT en 2023 fue de 48,397 \$/ha y para el 2024 de 55,283 \$/ha, cantidades que muestran un incremento de 6,886 \$/ha, atribuido al aumento del costo de fertilización. Estos costos guarda concordancia con los publicados por FIRA para 2023 y 2024 (FIRA, 2025).

Con respecto al CT por localidades, el menor ocurrió en Jiquipilco en los dos años de prueba. El CT más alto en 2023 se observa con valores muy similares en Tepatitlán y Aguascalientes, con 52,717 \$/ha y 52,945 \$/ha, respectivamente. En 2024 el mayor CT fue en Cosío con 61,410 \$/ha. La variabilidad de los

CT cada año y en las localidades de prueba son reflejo de los cambios ocurridos en el cultivo durante la estación de crecimiento de cada año y sitios de prueba.

Cuadro 1. Estructura de costos para las localidades y años de prueba, que incluye el promedio general de las categorías de gastos, el promedio de costos totales por localidad y por año. Ciclos 2023 y 2024.

Categorías de gastos	Tepatitlán	Cosío	Aguascalientes	Jiquipilco	Promedio
2023 (\$/ha)					
Uso equipo agrícola	5,233	4,949	9,833	4,833	6,212
Semilla (Maíz)	11,069	7,857	8,306	7,478	8,677
Fertilización	14,636	14,007	23,640	15,177	16,865
Herbicidas	4,188	1,476	643	1,500	1,952
Insecticidas	3,350	1,852	2,772	809	2,196
Labores de cultivo	2,432	2,923	250	2,688	2,073
Diversos (Riegos)	751	11,917	6,000	2,600	5,317
Cosecha	11,057	1,419	1,500	6,441	5,104
Costo Total	52,717	46,400	52,945	41,527	48,397
2024 (\$/ha)					
Uso equipo agrícola	4,895	6,702	4,595	8,129	6,080
Semilla (Maíz)	6,113	8,274	7,931	6,656	7,243
Fertilización	27,095	26,385	31,148	24,426	27,264
Herbicidas	2,296	1,126	1,309	1,118	1,462
Insecticidas	3,506	372	2,965	0	1,711
Labores de cultivo	3,375	1,284	1,642	1,578	1,970
Diversos (Riegos)	1,158	2,728	1,271	5,487	2,661
Cosecha	8,845	14,539	2,038	2,144	6,892
Costo Total	57,284	61,410	52,899	49,538	55,283

Dentro de las categorías de gastos, el más relevante en todos los sitios de prueba y años fue la fertilización. En 2023 este rubro varió de 27.8 a 44.6% entre localidades, para el 2024 varió de 43.0 a 58.9% y representó un incremento promedio 14.5% entre años. Otros costos importantes fueron la semilla de maíz, el uso de equipo agrícola y la cosecha, amplia variación entre años y localidades de prueba.

Cuadro 2. Indicadores de productividad e Indicadores Económicos para las localidades y años de prueba, 2023 y 2024.

Indicadores	Tepatitlán	Cosío	Aguascalientes	Jiquipilco	Promedio
2023					
Rendimiento de forraje (ton/ha):	66.4	57.4	72.0	59.5	63.8
Rendimiento materia seca (ton/ha):	20.9	20.3	23.6	16.2	20.3
Ingreso total (\$/ha)*:	93,007	80,360	100,800	83,253	89,355
Costo total (\$/ha):	52,717	46,400	52,945	41,527	48,397
Rentabilidad (\$/ha):	40,289	33,960	47,855	41,727	40,958
Relación B/C:	1.76	1.83	2.01	2.02	1.90
Costo por tonelada (\$/ton):	796	842	769	699	776
2024					
Rendimiento de forraje (ton/ha):	49.1	62.5	72.0	20.7	51.1
Rendimiento materia seca (ton/ha):	22.6	20.5	23.6	13.0	19.9
Ingreso total (\$/ha):	44,220	56,250	64,800	18,630	45,975
Costo total (\$/ha):	57,284	61,410	52,899	49,538	55,283
Rentabilidad (\$/ha):	-13,064	-5,160	11,901	-30,908	-9,308
Relación B/C:	0.79	0.91	1.24	0.38	0.83
Costo por tonelada (\$/ton):	1,175	1,008	729	2,383	1,324

* El precio de venta de maíz picado en 2023 fue de 1,400 \$/ton; para 2024 fue de 900 \$/ton.

El Cuadro 2 presenta los Indicadores de Productividad e Indicadores Económicos para las localidades y años de prueba de 2023 y 2024. En cuanto a los indicadores de Productividad, el rendimiento de forraje y

materia seca resultaron con alta variabilidad entre localidades y años. En el 2023 se observan indicadores de productividad muy similares en las localidades de Tepatitlán, Cosío y Aguascalientes, pero en 2024 la localidad de Aguascalientes mostró evidente de mejora en eficiencia productiva.

La rentabilidad promedio obtenida en 2023 fue de 40,958 \$/ha, mientras que en 2024 mostró pérdidas del orden de -9,308 \$/ha. Solo la localidad de Aguascalientes tuvo rentabilidad positiva de 11,901 \$/ha. En cuanto a la relación Costo-Beneficio promedio de 2023, resultó de 1.90, mientras en 2024 fue menor de la unidad, con 0.83. Este indicador armoniza con la pérdida mencionada en la rentabilidad. Con respecto al costo por tonelada de maíz - forraje, en 2023 varió de 699 a 796 \$/ton, con un promedio de 776 \$/ton. Para el 2024, el costo por tonelada de forraje se incrementó 729 \$/ton a 2,383 \$/ton, con promedio de 1,324 \$/ton; solo la localidad de Aguascalientes mejoró este indicador al pasar de 769 \$/ton a 729 \$/ton. La causa de cambio de 2023 a 2024 en los indicadores económicos, es la estrecha relación con el aumento del costo del fertilizante, el cambio en el precio de mercado del forraje de maíz y alta variabilidad que mostraron los rendimientos. Aun así, en la localidad de Aguascalientes se demostró la factibilidad de lograr indicadores económicos positivos, al mejorar la productividad expresada en el rendimiento y los costos totales.

En el cuadro 3 se muestran los Indicadores de Productividad e Indicadores Económicos por tratamiento, en localidades y años de prueba. En 2023, los indicadores de Productividad del experimento arrojaron rendimientos más altos de forraje y materia seca del tratamiento T1 con respecto a T2 y T3. Pero de estos dos tratamientos, T3 fue más bajo. Para 2024, el rendimiento del tratamiento T1 fue más elevados, aún mayores que en 2023. Sin embargo, en Tepatitlán y Jiquipilco, el rendimiento de forraje fue bajo. Este resultado se asoció con las condiciones ambientales y operativas de los agroecosistemas.

Cuadro 3. Indicadores de productividad e Indicadores Económicos por tratamiento en las localidades y años de prueba, 2023 y 2024.

Indicadores	Tepatitlán			Cosío			Aguascalientes			Jiquipilco		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
2023												
Rendimiento de forraje (ton/ha):	69.3	69.2	60.8	69.1	54.2	48.9	57.3	58.7	58.1	60.6	59.2	58.6
Rendimiento materia seca (ton/ha):	22.0	21.3	19.5	22.9	19.3	18.6	19.3	19.3	18.9	16.0	17.0	15.5
Ingreso total (\$/ha):	97,058	96,891	85,110	96,701	75,896	68,444	80,285	82,158	81,377	84,774	82,852	82,029
Costo total (\$/ha):	52,831	54,024	51,297	36,032	53,187	49,981	41,555	60,129	57,151	37,676	43,767	43,136
Rentabilidad (\$/ha):	44,227	42,867	33,814	60,669	22,708	18,464	38,731	22,029	24,226	47,098	39,084	38,892
Relación B/C:	1.84	1.79	1.66	2.68	1.43	1.37	1.93	1.37	1.42	2.25	1.89	1.90
Costo por tonelada (\$/ton):	762	781	844	522	981	1,022	725	1,025	983	622	739	736
2024												
Rendimiento de forraje (ton/ha):	49.9	53.6	43.9	80.0	54.1	53.4	88.0	67.2	60.8	19.7	21.7	20.7
Rendimiento materia seca (ton/ha):	22.1	25.1	20.7	23.5	18.9	19.0	25.8	23.5	21.6	12.1	13.4	13.5
Ingreso total (\$/ha):	44,925	21,558	17,659	71,982	48,695	48,092	79,220	60,488	54,735	17,688	19,563	18,620
Costo total (\$/ha):	45,840	28,595	27,711	66,127	61,215	56,890	69,330	45,524	43,844	38,452	55,696	54,465
Rentabilidad (\$/ha):	-915	-7,038	10,052	5,855	12,521	-8,798	9,890	14,963	10,891	20,764	36,133	-35,845
Relación B/C:	0.98	0.75	0.64	1.09	0.80	0.85	1.14	1.33	1.25	0.46	0.35	0.34
Costo por tonelada (\$/ton):	918	1,194	1,412	827	1,131	1,065	788	677	721	1,956	2,562	2,633

En 2023 los indicadores relación B/C y costo por tonelada de forraje producido, siguieron la misma tendencia del rendimiento de forraje y materia seca. En los tratamientos T2 y T3 fueron más bajos que T1. Mostraron tendencia irregular donde el tratamiento T3 de algunas de las localidades y años de estudio fue

ligeramente mejor, por ejemplo, en Jiquipilco, la relación B/C de T2 fue de 1.89 y en T3 de 1.90, aunque en su rentabilidad ocurrió lo contrario.

El ingreso total fue mayor en 2023, por el mejor rendimiento de forraje y el precio de venta del maíz. Todo lo contrario sucedió en 2024 donde se tuvo menor rendimiento y precio de venta del maíz más bajo. Este es uno de los aspectos del agroecosistema que genera incertidumbre en el cultivo, que depende de las circunstancias del mercado y del ambiente, ambos no controlados por el productor.

Conclusiones

Con base en los resultados de los indicadores económicos encontrados, se concluye lo siguiente: La estructura de costos muestra que el promedio de costos totales fue de 48,397 \$/ha en 2023 y de 55,283 \$/ha para el 2024, incremento atribuido al aumento del costo de fertilizante. Por esta razón, este componente del agroecosistema de maíz debe optimizarse de manera prioritaria.

A nivel de tratamiento, en 2023 los indicadores de Productividad de rendimiento de forraje y materia seca producidas en el tratamiento T1, resultaron mayores en T2 y T3, pero de ellos, en T3 fue más bajo. Para 2024, el tratamiento T1 mostró rendimientos más elevados, aún mayores que en 2023. Lo anterior repercutió en los indicadores económicos, mejores en 2023 que en 2024.

El rendimiento de forraje y materia seca resultaron con alta variabilidad entre localidades y años. En 2023 fue mayor que en 2024. De las localidades de prueba, Cosío y Aguascalientes, mostraron la mayor eficiencia productiva y económica.

Los indicadores económicos de los agroecosistemas en estudio tuvieron mejor desempeño en 2023 y más limitado en 2024. En 2024, casi todos los agroecosistemas mostraron pérdidas, excepto Aguascalientes, que inclusive mejoró sus indicadores productivos y económicos.

Los resultados observados en el contexto económico muestran la complejidad agregada a la condición biofísica en que operan los agroecosistemas de maíz para forraje. Contrarrestar las limitantes biofísicas y económicas de los sistemas de cultivo, hace urgente la implementación de innovaciones tecnológicas y científicas disponibles para estos agroecosistemas.

Referencias bibliográficas

Ayala-Garay, A.V., R. Schwentesius-Rindermann, M. de la O-Olán, P. Preciado-Rangel, G. Almaguer-Vargas y P. Rivas-Valencia. 2013. Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 10: 381-395.

FIRA. 2025. Sistema de costos agrícolas Resumen de costos Jalisco. Tomado de <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>, Fecha de acceso: 13 de junio de 2025.

Lal, R. 2020. Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation Society*, 75(5):123A-124A.

Molina de P., O.R. 2017. Rentabilidad de la producción agrícola desde la perspectiva de los costos reales: municipios Pueblo Llano y Rangel del estado Mérida, Venezuela. *Visión Gerencial*, 2:217-232.

Wadsworth, J. 1997. Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1: Las bases conceptuales. FAO, Roma, Italia. 195 pág.

RESPIRACIÓN MICROBIANA DEL SUELO Y EL MANEJO DE FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ

Patsy Jackeline Almazan-Castañeda¹, Juan Diego Santiago-Ríos², Jared Joel Jaimes-Pérez², Lidia Velasco-Velasco^{3*}

¹Colegio de Postgraduados, Montecillos. ²Universidad para el Bienestar Benito Juárez García, Atoyac de Álvarez, Estado de Guerrero. ³INIFAP, Iguala

*Autor para correspondencia: velasco.blacksoil@gmail.com

Palabras clave. Monocultivo, calidad del suelo, actividad microbiana.

Introducción

Los microorganismos del suelo son indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas, están directamente involucrados en el ciclo de nutrientes, la mineralización de los restos orgánicos, la formación de agregados, en el humus del suelo, su partición como catalíticos en los procesos biogeoquímicos, son un reservorio de energía y nutrientes (Toledo *et al.*, 2020).

La respiración microbiana del suelo es el proceso de oxidación de sustratos orgánicos a la producción total dióxido de carbono (CO₂) por la respiración de organismos edáficos, raíces, hifas micorrízicas (Durang *et al.*, 2015). La respiración microbiana del suelo es uno de los principales procesos de pérdida de carbono del suelo a la atmósfera y es sensible a la temperatura a corto plazo, además, los microorganismos del suelo son susceptibles a los cambios por manejos agronómicos. El tipo de labranza, las fertilizaciones y las condiciones de humedad y la temperatura son algunos factores que afectan directamente a la respiración microbiana del suelo.

La producción de maíz en el estado de Guerrero a nivel nacional fue de 1,460,629 ton de superficie cosechada 505,844 ha tenido el séptimo lugar nacional en la producción de maíz en 2021 de acuerdo con la Secretaría De Agricultura, Ganadería, Pesca Y Desarrollo Rural (SADER). La actividad agrícola intensiva como el monocultivo, provoca efectos adversos en los ecosistemas como erosión del suelo, disminución en la actividad biológica del suelo (Durang *et al.*, 2015). Por otro lado, el cambio climático es una de las tantas preocupaciones que somete a la agricultura en la búsqueda de manejos eficientes y utilización de prácticas que favorezca el secuestro de carbono en suelo, con el fin de disminuir su perdida por medio de CO₂.

Los efectos de la producción agrícola se han explorado ampliamente, sin embargo, los efectos de la producción agrícola sobre los procesos microbianos del suelo aún son poco considerandos, por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la producción de agrícola convencional del cultivo de maíz nativo sobre la respiración microbiana del suelo establecido en Iguala de la Independencia, México.

Materiales y Métodos

Se realizó la colecta de muestras de suelo a 20 cm de profundidad, el sistema de muestreo empleado fue el zigzag de manera aleatoria en las parcelas establecidas con diferentes dosis de fertilización y en producción de maíz nativo, los tratamientos aplicados se describen en el cuadro 1. Las aplicaciones de fertilizaciones se realizaron de fondo y en etapa de crecimiento, los tratamientos aplicaciones de microorganismos, se realizaron al drench en la zona rizosférica del cultivo. El experimento se estableció en Iguala de la Independencia, Guerrero, México, al que se le evaluaron pH y Conductividad eléctrica (CE).

La respiración microbiana se evaluó en laboratorio *invitro* a partir de las muestras tomadas de manera aleatoria. La cuantificación de CO₂ dentro en la producción de maíz asociados al tipo de fertilización, el diseño experimental empleado fue completamente al azar, las unidades experimentales (UE) fueron frascos de vidrio de 300 ml con 20 g de suelo húmedo al 70 % de su capacidad de humedad aprovechable, con 5 repeticiones por tratamiento y el testigo sin adición de suelo. El desprendimiento de CO₂ fue medido cada 10 días durante 45 días. La incubación se hizo dentro de cada UE con 5ml de Hidróxido de sodio (NaOH 1N) en frascos de cristal de 10mL. Para estimar el CO₂ que desprendía el suelo se agregó 1 gotas de fenoltaleína al 1% a los 5ml de NaOH 1N y se tituló con Ácido Clorhídrico (HCl 0.1N).

Cuadro 9. Características físicas y químicas de las muestras de suelo por tratamiento.

Tratamientos	Fertilización	pH	CE (dS*m ⁻¹)
MN2	Fertilización edáfica al 50-40-00 más fertilización foliar con micronutrientes	7.8	0.51
MN4	Fertilización edáfica al 90-80-00 más microorganismos y algas marinas	7.55	1.03
MN5	Fertilización edáfica al 50-40-00	7.63	0.33
MN6	Fertilización edáfica al 90-80-00.	7.59	0.87
MN7	Sin fertilización	7.91	0.41

Terminado este proceso se mantuvo la humedad del suelo al 70 %, se le agregó 5mL de hidróxido de sodio e incubó nuevamente después de cada proceso de cuantificación a temperatura ambiente.

Las fórmulas utilizadas a lo largo del experimento fueron: $R = (B.M) / NE$ (Ecuación 1)

Donde R= respiración microbiana en mg CO₂. B= volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en ml). M= cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en ml). N= normalidad del ácido. E= peso equivalente del CO₂.

Formula de MO por calcinación, método de Schulte y Hopkins y fórmula de Carbono Orgánico = $MO / 1.724$ (Ecuación 2)

Los datos obtenidos de la respiración microbiana fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) y la estimación del error estándar para cada media de cada tratamiento con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System 9.0).

Resultados y Discusión

En la respiración microbiana se observaron diferencias estadísticas significativas (cuadro 2), teniendo mayor respuesta de CO₂ el tratamiento MNT2 ante el tratamiento MNT7. Por otro lado, el contenido de carbono orgánico es muy bajo para este suelo, lo que interviene directamente sobre la población y conservación de biodiversidad. El manejo de las fertilizaciones si tuvieron efectos sobre la cantidad de CO₂ desprendido, así como la inoculación de microorganismos. En el tratamiento MNT4 y MNT5 que se emplearon microorganismos al drench, las emisiones de CO₂ fueron menores respecto a los tratamientos con fertilizaciones inorgánicas.

Cuadro 2. Respuesta de la respiración microbiana de maíz nativo con diferentes manejos de fertilización.

Tratamientos	CO ₂ (mg)/ 20 g de suelo	CO (%)
MNT2	160.160 ± 14.0 a	0.790 ± 0.08 a
MNT4	132.880 ± 19.46 ab	0.507 ± 0.07 ab
MNT5	135.813 ± 13.56 ab	0.683 ± 0.05 ab
MNT6	147.867 ± 15.06 ab	0.707 ± 0.05 ab
MNT7	113.33 ± 2.31 b	0.403 ± 0.06 b

Valores con letras idénticas en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Medias ± error estándar.

Estos resultados difieren con lo realizado por Durang y colaboradores (2015), reportaron en su trabajo, no hubo diferencias de la respiración microbiana bajo tres sistemas de manejo de suelos (dos agroecosistemas, café y café-banano) y bosque. Asimismo, los resultados de este trabajo son distintos con los reportados con los de Teledo *et al.* (2020), menciona que la respiración heterotrófica no fue diferente en los tratamientos establecidos; del tratamiento control, riego y secano en pastizales de la estepa Magallánica. Por otro lado, nuestros resultados son similares a los reportados por Dhakal y colaboradores

(2022), hacen mención que la respiración heterotrófica en sistemas de producción convencional fue mayor ante una producción orgánica de berza, col rizada, lechuga y acelga. Este tipo de trabajos son bases para poder comprender la dinámica de estos sistemas de producción y la manera se ven afectados los microorganismos en función de la disponibilidad de nutrientes del suelo (Toledo *et al*, 2020), así como las cantidades de dióxido de carbono que se emiten a la atmósfera. En este sentido la respiración microbiana de los suelos está asociada a la calidad de este, la respiración indica el estado de la biodiversidad en el suelo y brinda un panorama de la capacidad de la población microbiana para aplicar fertilizaciones, enmiendas u otro material para la mineralización e inmovilización de nutrientes y estos a su vez asociados a la disponibilidad nutrimental del suelo para el cultivo. Tal como lo indicaron Ducal *et al*. (2019), la respiración microbiana es un parámetro que aporta a caracterizar la calidad y fertilidad del suelo

Conclusiones

El manejo de fertilización en maíz impacta a la respuesta de los microorganismos del suelo en este caso, en su respiración. Presentando mayor emisión de CO₂ a la atmósfera con el tratamiento con fertilización edáfica al 50-40-00 más fertilización foliar con micronutrientes con mayor contenido de carbono orgánico. En este trabajo y bajo las condiciones evaluados, la adición de microorganismos y algas marinas disminuyen la pérdida de carbono del suelo independiente de la fórmula de fertilización empleado.

Referencias bibliográficas

- Dhakal K, Parajuli M, Jian S, Li J y Nandwani D (2022) Respuestas de la respiración heterotrófica del suelo y la biomasa microbiana a sistemas de producción orgánicos y convencionales. *Front. Soil Sci.* 2:999139. doi: 10.3389/fsoil.2022.999139
- Dacal, M., Bradford, M. A., Plaza, C., Maestre, F. T., y García-Palacios, P. (2019). Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands. *Nature ecology & evolution*, 3(2), 232–238. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0770-5>
- Toledo G., Gargaglione V., Peri P L., Toledo S. (2020) Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina. ISSN: 1852-4516 <http://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n3.746>
- Durang, Wuellins, Uribe, Lidieth, Henríquez, Carlos, & Mata, Rafael. (2015). Respiración, Biomasa Microbiana y Actividad Fosfatasa del Suelo en Dos Agroecosistemas y un Bosque en Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 39(1), 37-46.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2021: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

DETERMINACIÓN DE LOS PERFILES DE RESISTENCIA A METALES PESADOS Y ANTIBIÓTICOS, DE BACTERIAS CULTIVABLES AISLADAS DE LA PIEL DE *DRYOPHYTES PLICATUS*

Cassandra E. Vélez-Karmooch¹, Uri O. García-Vázquez², Gabriel Gutiérrez- Granados³, Jorge A. Valdivia-Anistro^{1*}

¹Laboratorio de Estequiometría y Microbiología Ambiental, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, ²Laboratorio de Sistemática Molecular, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. ³Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor para correspondencia: jorge.valdivia@zaragoza.unam.mx

Palabras clave. Bacterias resistentes, anfibios, impacto antropogénico.

Introducción

La contaminación por metales pesados y el uso excesivo de antibióticos en ambientes urbanos y periurbanos representan una amenaza creciente para la biodiversidad y los ecosistemas naturales. Estos contaminantes pueden actuar como agentes selectivos que favorecen la proliferación de bacterias resistentes, las cuales, además de alterar la estructura microbiana del ambiente, pueden transferir sus genes de resistencia a otras especies mediante mecanismos horizontales. Esta problemática cobra particular relevancia cuando afecta a organismos silvestres que habitan en áreas naturales protegidas, como es el caso del Desierto de los Leones, ubicado en la zona poniente de la Ciudad de México.

Los anfibios, debido a su alta permeabilidad cutánea y contacto directo con el sustrato, son especialmente vulnerables a cambios en la calidad ambiental. Su piel actúa como un microhábitat que alberga una microbiota diversa, la cual cumple funciones fundamentales en la regulación inmunológica y en la protección frente a patógenos. Sin embargo, la exposición a contaminantes puede modificar esta microbiota, seleccionando por bacterias con tolerancia a condiciones extremas, lo cual podría comprometer la salud del hospedador y favorecer la dispersión de genes de resistencia en ambientes naturales.

Objetivo

Analizar los perfiles de resistencia a metales pesados y antibióticos de bacterias aisladas de la piel una rana endémica de México.

Materiales y Métodos

La metodología consistió en un muestreo único en el Parque Nacional Desierto de los Leones el día 1 de octubre de 2024 durante la temporada de lluvias; el organismo encontrado se colectó con guantes de nitrilo estériles, se le tomaron muestras de dos regiones corporales para evaluar la diferencia de los perfiles de resistencia tanto de la zona con mayor contacto al suelo (zona ventral) y de la zona dorsal. Cada muestra fue tomada con un hisopo estéril rotando por el cuerpo del organismo durante treinta segundos y se transportó en medio líquido LB (Luria- Broth) a 4°C hasta su análisis en el Laboratorio de Estequiometría y Microbiología ambiental, además se realizó un registro fotográfico y el organismo se liberó en la misma zona de colecta y se georreferenció con el sistema de coordenadas UTM WGS 84. En laboratorio se cultivaron las muestras en medio LB hasta generar cultivos axénicos, cada colonia se identificó por sus características morfológicas (color, textura, margen, y elevación). Los aislados se criopreservaron con LB y glicerol al 30%. Se seleccionaron diez aislados bacterianos con base en sus características morfológicas para las pruebas de concentración mínima inhibitoria y susceptibilidad a antibióticos.

La determinación de la concentración mínima inhibitoria (CMI) de metales pesados se realizó en microplacas de 96 pocillos, con ensayos por duplicado. Las sales metálicas se prepararon en cuatro concentraciones distintas (5 mM, 10 mM, 15mM y 20 mM) y el crecimiento bacteriano se midió mediante la absorbancia tras 24 horas de incubación a 35°C y 120rpm. Se determinó como CMI aquella concentración en la cual no existiera crecimiento bacteriano. Posteriormente, se realizaron pruebas metabólicas y fisiológicas como: Citrato de Simmons, Agar Sal y Manitol, Ureasa, Catalasa, Oxidasa y Tinción Gram. La prueba de susceptibilidad a antibióticos se llevó a cabo mediante el método de difusión en disco de Kirby-Bauer, utilizando Sensi- Disco, y los antibióticos se seleccionaron en función del resultado de la tinción de Gram: para bacterias Gramnegativas se emplearon discos de Cloranfenicol (CL) (30µg) y Cefalotina (CE)

(30µg); para Grampositivas, Eritromicina (E) (15µg) y Clindamicina (CLM) (15µg) y para bacterias Gramvariable, Gentamicina (GE) (10µg, Ampicilina (AM) (10µg), Ciprofloxacino (CPF) (5µg), Sulfametazol / Trimetoprim (SXT) (40µg) y Ceftriaxona (CEF) (30µg). Las medidas de los halos para su interpretación se obtuvieron del CLSI para asignar las categorías: sensible, intermedio y resistente. De los 5 antibióticos de amplio espectro se seleccionaron CPF y SXT para las bacterias Gramnegativo y GE y AM para Grampositivas.

Resultados y Discusión

Los resultados muestran una notable capacidad de tolerancia a metales pesados en las bacterias aisladas del microbioma de anfibios del Desierto de los Leones. En particular, la mayoría de las cepas demostraron una alta resistencia a arsénico, cobre, plomo, zinc y cadmio, con variaciones específicas según el aislado (cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) para metales pesados.

Clave	Arsénico	Cobre	Plomo	Zinc	Cadmio
DpD1	2600 µg/ml (20mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)
DpD4	650 µg/ml (5mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	680 µg/ml (5mM)	2015 µg/ml (10mM)
DpD7	650 µg/ml (5mM)	Atípico	Atípico	680 µg/ml (5mM)	1000 µg/ml (5mM)
DpD8	1300 µg/ml (10mM)	Atípico	3310 µg/ml (10mM)	1360 µg/ml (10mM)	3020 µg/ml (15mM)
DpD18	650 µg/ml (5mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	3310 µg/ml (10mM)	2045 µg/ml (15mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)
DpV5	Sin inhibición	Atípico	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Atípico	1000 µg/ml (5mM)
DpV7	Atípico	3310 µg/ml (10mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	680 µg/ml (5mM)	680 µg/ml (5mM)
DpV8	Sin inhibición	3670 µg/ml (5 mM)	Sin inhibición	680 µg/ml (5mM)	680 µg/ml (5mM)
DpV12	650 µg/ml (5mM)	3670 µg/ml (5 mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	680 µg/ml (5mM)	680 µg/ml (5mM)
DpV13	680 µg/ml (5mM)	3670 µg/ml (5 mM)	Sin inhibición (aumenta el crecimiento)	Crecimiento a 20 mM (2730 µg/ml)	Crecimiento a 20 mM (4030 µg/ml)

Por ejemplo, la cepa DpD1 no presentó inhibición frente al cobre, plomo, zinc ni cadmio, e incluso mostró un aumento en el crecimiento a medida que aumentaba la concentración de estos metales, evidenciando una notable adaptación. Sin embargo, para arsénico la CMI se estableció en 20 mM, indicando cierta sensibilidad a concentraciones elevadas. De forma similar, DpD4 mostró sensibilidad más marcada, con CMI en concentraciones bajas para arsénico (5 mM), zinc (5 mM) y cadmio (10 mM), aunque mantuvo el patrón de crecimiento creciente frente a cobre y plomo.

El comportamiento atípico de algunas cepas, como DpV5 y DpD8, que presentaron inhibición en concentraciones intermedias de cobre y zinc, pero crecimiento en concentraciones más bajas y altas, sugiere mecanismos adaptativos complejos. Este tipo de respuesta no lineal se ha relacionado con la producción de metalóforos o modificaciones en la expresión génica, como reportan Bravo *et al.* (2020).

En contraste, para el plomo, la mayoría de las cepas exhibieron un aumento progresivo del crecimiento sin inhibición clara, dificultando la determinación de la CMI. Esta resistencia alta coincide con estudios previos en ambientes urbanos contaminados donde bacterias pueden tolerar concentraciones elevadas de plomo (Seiler & Berendonk, 2012).

La presencia de cepas con resistencia múltiple a varios metales puede explicarse por procesos de co-selección, donde genes de resistencia a metales pesados se encuentran físicamente ligados a genes de resistencia a antibióticos, facilitando la persistencia y dispersión de estos caracteres en ambientes contaminados (Pal *et al.*, 2015).

Respecto a la resistencia a antibióticos, los aislados muestran perfiles diversos pero preocupantes de resistencia múltiple (cuadro 2), particularmente a fármacos como cloranfenicol, ciprofloxacino, gentamicina y trimetoprim-sulfametoxazol. Por ejemplo, las cepas DpD1 y DpD4 presentaron resistencia a cloranfenicol, ciprofloxacino y trimetoprim-sulfametoxazol, pero fueron sensibles a cefalotina, sugiriendo que este último antibiótico aún conserva efectividad frente a estas bacterias.

Cuadro 2. Resistencia y sensibilidad a antibióticos.

Clave	Resistente a	Sensible a	Halo de inhibición (mm)
DpD1	Cloranfenicol (CL), Ciprofloxacino (CPF), Trimetoprim-sulfametoxazol (SXT)	Cefalotina (CF)	CF: 21
DpD4	CL, CPF, SXT	CF	CF: 25
DpD7	Clindamicina (CLM), Gentamicina (GE), Ampicilina (AM)	Eritromicina (E)	E: 20
DpD8	CLM, GE, AM, E	-	-
DpD18	Gentamicina (GE)	E, CLM, AM	E: 20; CLM: 19; AM: 30
DpV5	Cefalotina (CF), CL, CPF	SXT (Intermedia)	SXT:15
DpV7	CLM, GE, AM	E	E: 18
DpV8	GE, AM, CPF, CEF	-	-
DpV12	CL, CF, SXT, CPF	-	-
DpV13	GE	E, CLM, AM	E: 14; CLM: 12; AM:19

La cepa DpV5 exhibió un perfil de resistencia elevado, incluyendo resistencia a cloranfenicol, cefalotina y ciprofloxacino, y una resistencia intermedia a trimetoprim-sulfametoxazol, lo que puede indicar un riesgo mayor de falla terapéutica en caso de infecciones por estas bacterias.

Algunas cepas Gram positivas, como DpD7, mostraron sensibilidad a eritromicina, pero resistencia a clindamicina, gentamicina y ampicilina, evidenciando también resistencia múltiple. Esta resistencia amplia se ha documentado en bacterias ambientales y de fauna silvestre expuestas a ambientes contaminados, donde la presión selectiva de antibióticos y metales promueve la proliferación de cepas multirresistentes (Kümmerer, 2009).

Finalmente, la cepa Gram variable DpV8 presentó resistencia simultánea a cuatro antibióticos, incluyendo gentamicina, ampicilina, ciprofloxacino y cefalotina, lo que resalta la diversidad y complejidad de la resistencia antibiótica en estas comunidades bacterianas.

El aislamiento de estas bacterias multirresistentes de un anfibio endémico en el Desierto de los Leones, pone en evidencia el impacto significativo de la contaminación atmosférica urbana sobre ecosistemas naturales de montaña. Las concentraciones elevadas de metales pesados como plomo, arsénico, zinc y cobre, generadas por emisiones industriales y vehiculares, actúan como agentes de selección que favorecen la proliferación de bacterias resistentes (Bravo *et al.*, 2020). Estos hallazgos también son consistentes con la literatura sobre la presencia de bacterias multirresistentes en hábitats afectados por contaminación antropogénica, lo que representa un riesgo potencial para la fauna silvestre y la salud ambiental (Kümmerer, 2009; Seiler & Berendonk, 2012).

Conclusiones

Este estudio evidencia que las bacterias aisladas de la piel de ranas silvestres del Desierto de los Leones presentan una notable resistencia tanto a metales pesados (As, Pb, Zn, Cu y Cd) como a antibióticos clínicamente relevantes, lo cual sugiere una presión selectiva significativa derivada de la contaminación ambiental en esta área natural protegida. La presencia de cepas con crecimiento a concentraciones elevadas de metales, y con resistencia múltiple a antibióticos, apunta a un fenómeno de co-selección, posiblemente impulsado por la contaminación atmosférica y la deposición de contaminantes asociados a la mancha urbana de la Ciudad de México. La alteración del microbioma de la fauna silvestre, en específico de los anfibios, puede aumentar la susceptibilidad a enfermedades emergentes como la quitridiomycosis, contribuyendo al declive de poblaciones anfibias. Además, el hallazgo de pigmentos extracelulares en algunas cepas sugiere mecanismos de resistencia complejos y potenciales capacidades patógenas. Un estudio en el Delta de Kavak (Turquía) analizó 153 bacterias aisladas de especies como *Lissotriton vulgaris*, *Pelophylax ribibundus*, *Emys orbicularis*, *Mauremys rivulata* y *Natrix natrix*, reportaron que la mayoría de las cepas toleraban CMI de metales entre 100 y 3200 µg/ml, especialmente para metales como Pb, Cd, Cu y Cr. Estas bacterias fueron aisladas de la piel, cloaca, boca y mostraron una alta frecuencia de multiresistencia a metales y a antibióticos, este estudio tiene como relevancia la tolerancia superior a 20 mM (+ 4000µg/ml) en algunos casos, lo cual está vinculado con el trabajo previamente mencionado, reforzando la idea de los mecanismos de resistencia prevalecen en la microbiota de anfibios incluso de hábitats distintos (Hacioglu *et al.*, 2013).

Referencias bibliográficas

- Bravo, A. H., Sosa, R., Saavedra, R., & Sánchez, A. (2020). Contaminación del aire en la Ciudad de México: una evaluación de 20 años de monitoreo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 15–27.
- Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment—A review—Part II. *Chemosphere*, 75(4), 435–441. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.006>
- Hacioglu, N., Tosunoglu, M. (2014). *Determination of antimicrobial and heavy metal resistance profiles of some bacteria isolated from aquatic amphibian and reptile species*. *Environ Monit Assess* 186, 407–413 <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3385-y>
- Pal, C., Bengtsson-Palme, J., Kristiansson, E., & Larsson, D. G. J. (2015). Co-occurrence of resistance genes to antibiotics, biocides and metals reveals novel insights into their co-selection potential. *BMC Genomics*, 16, 964. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-2153-5>
- Seiler, C., & Berendonk, T. U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 3, 399. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00399>

MODELOS DE IDONEIDAD AMBIENTAL DEL CAFÉ Y LA ROYA DEL CAFETO EN MÉXICO Y CENTROAMÉRICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Eliud Hernández-Castillo^{1*}

¹Laboratorio de Análisis Espaciales, Departamento de Zoología, Instituto de Biología, UNAM

*Autor para correspondencia: eliud.hedz.c1701@gmail.com

Palabras clave. Café, roya, idoneidad.

Introducción

Las actividades antropogénicas han desencadenado un proceso de calentamiento global sin precedentes en la historia reciente del planeta. Se estima que la temperatura media global de la superficie ha incrementado en 1.1° C en los últimos 150 años, acompañada de un aumento en la frecuencia e intensidad de extremos meteorológicos y el ascenso del nivel del mar (IPCC, 2023). Uno de los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático es el sector primario. Las alteraciones en los patrones de temperatura y precipitación se relacionan con la disminución del rendimiento y la idoneidad ambiental de los cultivos, así como con el incremento de la incidencia de patógenos asociados a los sistemas agrícolas (IPCC, 2022). En Latinoamérica, la caficultura desempeña un rol crucial en las estructuras sociales, económicas y culturales de la región. Esta actividad tiene como eje principal la explotación del cafeto arábigo (*Coffea arabica*), una planta de la familia Rubiaceae cuyos frutos y semillas son cosechados para elaborar la bebida del café. No obstante, la presencia de patógenos compromete la salud de los cafetos, así como los medios de vida de los productores. El hongo *Hemileia vastatrix* es el agente causal de la roya del cafeto, una de las enfermedades más devastadoras para los cultivos de café. Entre 2012 y 2014, la roya fue responsable de uno de los eventos más devastadores para el café en Latinoamérica, con pérdidas de más de 616 millones de dólares, acentuadas por la caída de los precios del café en el mercado (ICO, 2015). Una de las metodologías recurrentes para evaluar la respuesta de las especies al cambio climático es el uso de modelos estadísticos, los cuales utilizan asociaciones cuantitativas entre el desempeño de las especies y el clima basado en observaciones y registros conocidos (IPCC, 2022). Por su relevancia económica y cultural, el café ha sido objeto de análisis que evalúan la idoneidad ambiental del cultivo en el presente y para el futuro bajo los efectos del cambio climático (Bunn et al., 2018). No obstante, pocos trabajos exploran el comportamiento de patógenos agrícolas bajo las condiciones que plantean los escenarios climáticos en una región altamente vulnerable como lo es México y Centroamérica. Por ello, es relevante estimar las áreas de distribución potencial para el café y la roya en un contexto de cambio climático y contrastar con las distribuciones conocidas para el presente.

Objetivos

Evaluar la idoneidad ambiental del café arábigo (*Coffea arabica*) y la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) para México y Centroamérica bajo escenarios de cambio climático.

Generar modelos de la distribución actual y futura para las dos especies, a partir de los registros de presencia disponibles en bases de datos.

Estimar áreas de ganancia, pérdida y estabilidad para las dos especies en tres horizontes temporales, según los resultados de los modelos.

Materiales y Métodos

Procesamiento de registros biológicos y capas ambientales

Los registros de ambas especies se consultaron en fuentes de información directas (colecciones biológicas) y plataformas de libre acceso. A partir de los registros, se generaron bases de datos con información relevante para los modelos: nombre de la especie, latitud, longitud, colector, fecha de colecta, país, estado y localidad de colecta. Se realizó la depuración y limpieza de las bases para descartar registros duplicados y valores nulos en las coordenadas geográficas. Por la importancia socioeconómica y cultural de la caficultura en la región, se seleccionó el área que comprenden México y Centroamérica (Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica y Panamá) como área de calibración. Las variables ambientales utilizadas en la modelación fueron las 19 capas bioclimáticas disponibles en el sitio Worldclim.

Las superficies fueron descargadas en formato TIF (.tif) con una resolución de 30 segundos de arco, y posteriormente fueron transformadas a ASCII (.asc) con el sistema de información geográfica QGIS Desktop 3.36.3. Asimismo, las capas fueron recortadas a la extensión del área de calibración para poder ser integradas al software de modelación. Con el fin de reducir la dimensionalidad de los modelos se realizó un análisis de correlación de Spearman que permitió excluir las variables más redundantes y seleccionar aquellas con la mayor cantidad de información ambiental. Para la roya, adicional a las capas climáticas, se incluyeron los modelos continuos de *C. arabica* como variables ambientales en la estimación de la distribución potencial presente y futura.

Modelos de distribución potencial y cambio climático

Los modelos de distribución potencial de ambas especies se realizaron con el software Maxent 3.4.4. La información de los registros fue separada aleatoriamente en una proporción de 70/30, donde la mayor parte de los datos fueron utilizados para calibrar el modelo (training) y el resto sirvió para la etapa de validación (test). Las presencias fueron cargadas en formato de texto separado por comas (.csv) y las variables ambientales en formato ASCII (.asc). Los parámetros del modelo se ajustaron para generar cinco réplicas con un proceso de validación cruzada de los datos (Crossvalidate). Los modelos resultantes fueron binarizados a partir del valor promedio del umbral *Maximum training sensibility plus specificity*. Los métodos para evaluar el desempeño de los modelos incluyeron dos pruebas estadísticas. La primera fue el área bajo la curva (AUC) de la curva ROC, que diagnostica la capacidad de un clasificador binario para discriminar correctamente entre verdaderos y falsos positivos. Por otro lado, la significancia estadística fue evaluada con pruebas de AUC parcial (pAUC) mediante un remuestreo aleatorio del 50% de los datos de validación, con 500 iteraciones de Bootstrap. Los modelos de cambio climático utilizan las proyecciones generadas por el *Model for Interdisciplinary Research on Climate* en su sexta versión (MIROC6). Las variables bioclimáticas utilizadas en la modelación fueron obtenidas de Worldclim con una resolución de 30 segundos de arco. Se definieron tres horizontes temporales (2021-2040, 2041-2060 y 2061-2080) bajo un escenario climático tendencial (SSP3-7.0) para contrastar la distribución actual de las especies con la del futuro. Las proyecciones fueron generadas en Maxent con los mismos parámetros utilizados en la estimación de la distribución potencial del presente. Para evaluar el cambio en la distribución de ambas especies, se superpusieron los mapas binarios de cada horizonte con el de la distribución actual. Esto permitió realizar las operaciones necesarias para estimar áreas de ganancia, pérdida y estabilidad bajo las condiciones climáticas que plantea el escenario SSP3-7.0.

La región de coexistencia se definió como el área donde las condiciones ambientales son idóneas para ambas especies. Al superponer los mapas de idoneidad, se obtiene la extensión del área que es climáticamente favorable para las dos especies. El contacto se definió como la probabilidad de que las áreas de ganancia y estabilidad coincidan en alguno de los horizontes establecidos. Con ayuda del SIG se definieron tres escenarios de contacto por su relevancia en la interacción del parásito con el hospedero: a) áreas donde las dos especies coexisten; b) áreas donde el café se mantiene estable y la roya presenta ganancias; y c) áreas donde la ganancia es mutua para el café y la roya. Se estimó la superficie del área de coexistencia y de los escenarios de contacto.

Resultados y Discusión

El número de presencias totales para el café y la roya fueron de 424 y 340, respectivamente. Las capas ambientales que fueron incorporadas en la modelación se presentan en el cuadro 1.

Se generaron mapas de idoneidad ambiental para el café y la roya, así como las proyecciones de cada especie bajo los horizontes temporales evaluados. De igual manera, se estimó la superficie de idoneidad y el cambio en su extensión a corto, mediano y largo plazo (cuadro 2). Las figuras 1 y 2 ilustran las áreas de ganancia, pérdida y estabilidad para el café y la roya, respectivamente. En general, las condiciones climáticas favorables para las dos especies se encuentran distribuidas en regiones montañosas, templadas y cálidas, producto de la combinación de patrones de temperatura y precipitación. No obstante, la presión ejercida por el cambio climático disminuirá el área de idoneidad en las regiones más bajas, mientras que las áreas que experimentarán ganancias se prevén en zonas de mayor altitud. La extensión del área de coexistencia es de 304,655 km² en el presente. Sin embargo, se espera que la contracción paralela de la distribución de las dos especies reduzca, a su vez, la región climáticamente idónea para ambas. Por otro lado, las regiones donde la roya avanza sobre áreas de estabilidad para el café prevén un incremento notable. Se espera el avance de la roya en el centro de México y en las zonas altas de las Sierras Madre,

aunque la ganancia más evidente se estima en la región de los Altos de Chiapas y las serranías de Guatemala. (cuadro 3).

Cuadro 1. Variables bioclimáticas utilizadas en el modelo.

Variable	Descripción	Unidad de medida
BIO1	Temperatura media anual	Grados centígrados (°C)
BIO2	Rango medio de temperatura	Grados centígrados (°C)
BIO3	Isotermalidad	-
BIO12	Precipitación media anual	Milímetros (mm)
BIO14	Precipitación del trimestre más seco	Milímetros (mm)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo	Milímetros (mm)
Coffea*	Modelos continuos de <i>C. arabica</i>	-

*Incorporada exclusivamente en la modelación de *H. vastatrix*

Cuadro 2. Extensión de idoneidad ambiental actual y proyectada (km²).

Especie	Presente	2021-2040	2041-2060	2061-2080
<i>C. arabica</i>	642,395	423,754	330,366	203,241
<i>H. vastatrix</i>	311,137	215,053	160,954	127,321

Cuadro 3. Extensión de área compartida (km²).

Patrón	Presente	2021-2040	2041-2060	2061-2080
Coexistencia	304,656	209,300	155,514	108,859
Avance de la roya	-	11,632	19,579	28,878
Ganancia mutua	-	257	685	4,694

Los resultados de este trabajo sugieren que México y los siete países centroamericanos presentan condiciones climáticas favorables para el cafeto arábigo en una proporción importante de su territorio. Históricamente, el cultivo de *Coffea arabica* en Latinoamérica se ha visto favorecido por los patrones de precipitación y temperaturas templadas que se desarrollan en sus cordilleras y cadenas montañosas. Si bien la extensión real de superficie cultivada varía a lo largo de los países comprendidos, este trabajo estima que alrededor de una cuarta parte la región exhibe un clima favorable para la especie. Asimismo, se prevén cambios sustanciales en la idoneidad de las especies bajo escenarios de calentamiento global. Los modelos sugieren la migración vertical de las condiciones climáticas idóneas para el café y la roya. En este sentido, es probable que el cambio climático acentúe la presión de la agricultura sobre los ecosistemas que persisten en las cumbres de cordilleras, lo cual implicaría un riesgo para su conservación y los servicios ambientales que proveen.

Es intuitivo, por otro lado, suponer que la distribución de la roya seguirá la misma de su hospedero. No hay un indicativo claro de que las royas hayan extendido su área de distribución con el calentamiento global; en cambio, su incidencia está más relacionada con la humedad relativa del ambiente y la presencia de agua líquida sobre las hojas. Este trabajo presenta los escenarios de contacto como una aproximación para el estudio de la interacción entre la roya y el cafeto. A pesar de que el patrón general sugiere la reducción de las regiones de coexistencia, vale la pena pensar en estos escenarios como hipótesis de la evolución de la interacción entre ambos organismos, especialmente en regiones donde el café pueda verse amenazado por la presencia o el avance de la roya.

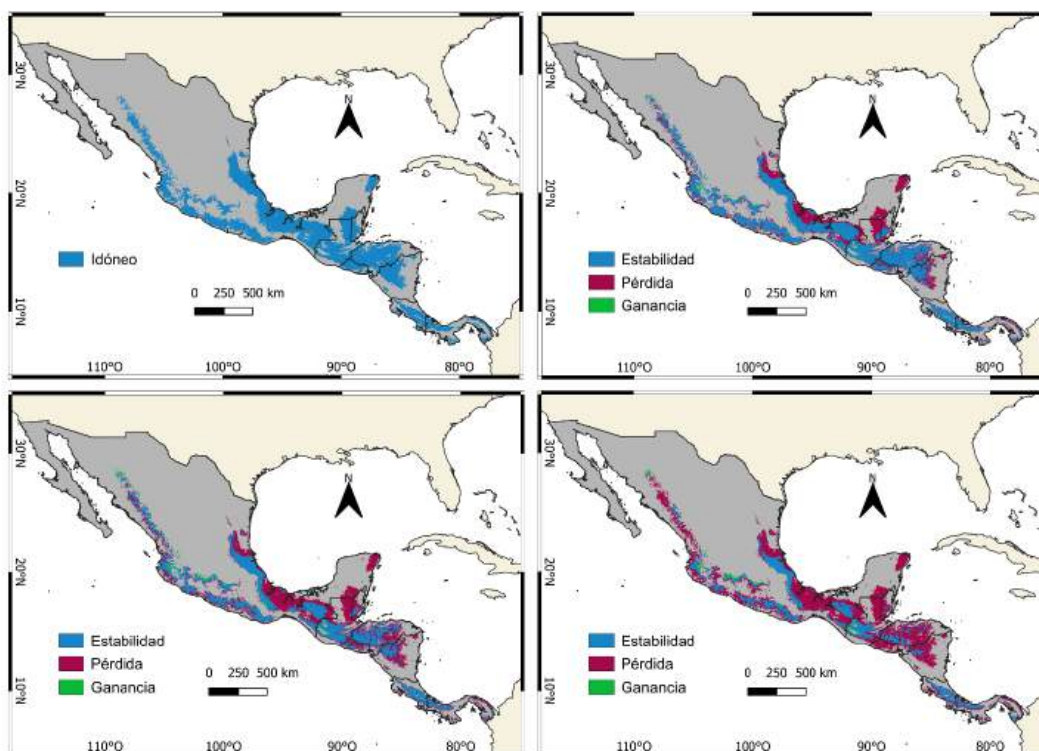


Figura 1. Áreas de ganancia y pérdida para *Coffea arabica* bajo los horizontes evaluados: 2021-2040 (panel superior derecho), 2041-2060 (panel inferior izquierdo) y 2061-2080 (panel inferior derecho).

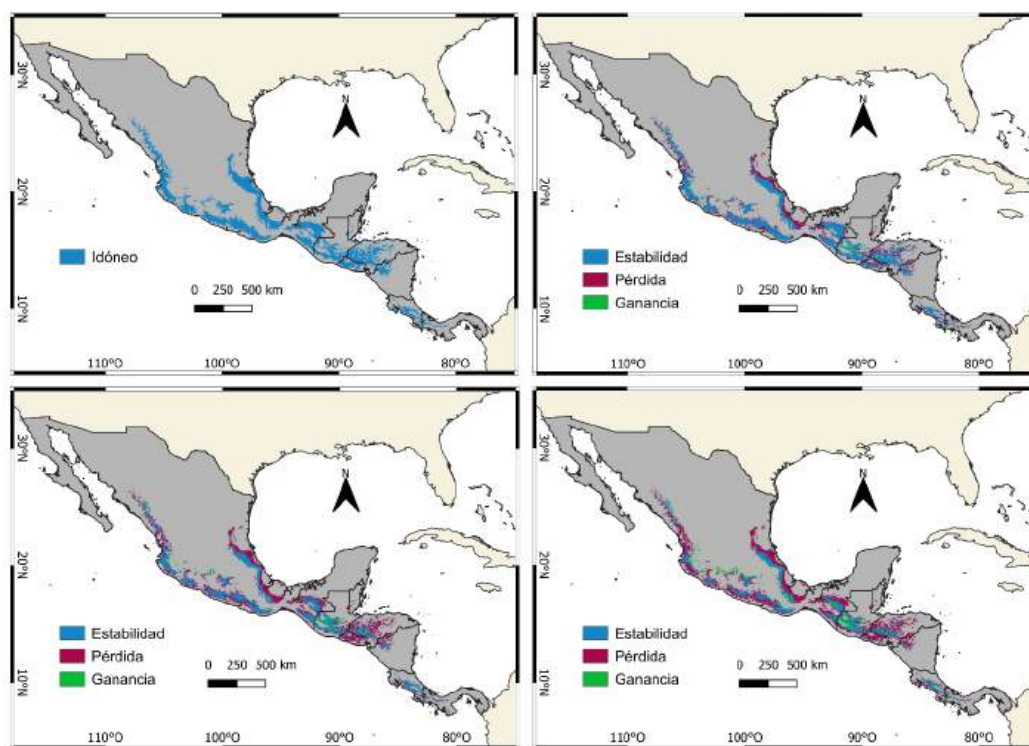


Figura 2. Áreas de ganancia y pérdida para *Hemileia vastatrix* bajo los horizontes evaluados: 2021-2040 (panel superior derecho), 2041-2060 (panel inferior izquierdo) y 2061-2080 (panel inferior derecho).

No se descarta la influencia de factores extrínsecos que influyen en la distribución del café y, por lo tanto, de la roya. Una serie de dinámicas culturales, económicas y sociales se desarrollan alrededor de los cafetales y son determinantes en la existencia de ambos en una región particular. Los cafetales son agroecosistemas, y como tales, tienen las características de un sistema complejo. Por lo tanto, es necesario considerar que los resultados presentados deben interpretarse como áreas de idoneidad ambiental bajo supuestos de estabilidad climática; es decir, regiones donde los cafetos encuentran un rango de condiciones fisiológicamente viables en el presente y bajo las estimaciones de los GCM's en el futuro.

Conclusiones

En este trabajo, los modelos de distribución potencial permitieron generar una buena aproximación del área climáticamente idónea para el cafeto arábigo y su principal patógeno en México y Centroamérica. Esta región presenta una proporción importante de áreas favorables para la distribución de las dos especies, principalmente en las Sierras Madre de México, la cordillera Centroamericana y la sierra de Talamánca. Las proyecciones de cambio climático sugieren la reducción de más del 50% del área de idoneidad para las dos especies a finales de 2080. En general, se observan pérdidas pronunciadas en los pies de cordillera, planicies continentales y llanuras costeras. Las ganancias se estiman en regiones de mayor altitud, lo que indica un patrón de migración vertical de las condiciones climáticas favorables para ambas especies. Además, se estima que la tasa de ganancia de la roya será superior a la del café, por lo que es plausible el avance del patógeno sobre regiones estables para su hospedero. Los resultados de este trabajo no solo permiten reconocer áreas con potencial para la producción de café, sino que podrían ser relevantes para identificar áreas susceptibles a focos de infección, facilitar el diseño de estrategias de adaptación al cambio climático y contribuir al conocimiento de los procesos ecológicos en los cafetales.

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Ángela Patricia Cuervo Robayo, al Dr. Enrique Martínez Meyer y al M. en C. Enrique Ortiz Bermúdez por su asesoría y acompañamiento a lo largo del desarrollo de la presente investigación.

Referencias bibliográficas

- Bunn, C., Castro, F., & Lundy, M. (2018). The impact of climate change on coffee production in Central America. International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. Recuperado el 13 de junio 2025, en <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/40680e1f-421c-4122-91f7-83a3197e48ba/content>
- International Coffee Organization (ICO). (2015). ICO Composite and Group Indicator Prices (annual monthly averages).
- IPCC. (2022). Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33.
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp.

PERCEPCIÓN DEL PRODUCTOR SOBRE LAS VARIEDADES MEJORADAS Y NATIVAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.), EN DOS MUNICIPIOS DE TLAXCALA

Dolores Briones-Reyes^{1*}, Venancio Cuevas-Reyes¹, José Luis Jolalpa-Barrera¹, Enrique Buendía-Rodríguez¹, Jaime Rangel-Quintos¹

¹INIFAP, CE Valle de México.

*Autor para correspondencia: briones.dolores@inifap.gob.mx

Palabras clave. Temporal, cambio climático, características agronómicas.

Introducción

A lo largo de la república mexicana, el maíz se cultiva en una superficie de 7.48 millones de hectáreas, de éstas el 76% se realiza bajo condiciones de temporal o secano (SIAP, 2023), en donde los efectos del cambio climático son cada vez más notables, con sequía y heladas atípicas que incrementan el riesgo de pérdidas de la producción. En el estado de Tlaxcala, el maíz se cultiva en el 56% de la superficie agrícola total con 128 mil hectáreas, de las cuales el 85% se siembra bajo condiciones de temporal, donde se obtienen rendimientos que van de 1.6 a 2.9 t/ha (SIAP, 2023), Huamantla y Altzayanca son los municipios con mayor superficie sembrada de maíz en el estado, con 19,419 ha y 9,896 ha respectivamente (SIAP, 2023). El rendimiento del cultivo depende de múltiples factores entre ellos la aplicación de componentes tecnológicos como las variedades de maíz mejoradas que ofrecen mayor potencial productivo, sin embargo, la adopción de esta tecnología ha sido baja sobre todo en zonas de temporal, donde los maíces nativos son preferidos por los productores de pequeña escala o superficie.

Objetivo

Conocer la percepción que tienen los productores de maíz sobre las características agronómicas o beneficios de las variedades mejoradas y nativas de maíz, en zonas de temporal en dos municipios de Tlaxcala.

Materiales y Métodos

La zona de estudio comprendió dos municipios de la zona oriente del estado de Tlaxcala: 1) Huamantla ubicado a los 19° 19' de latitud norte y 97° 55' de longitud oeste, con una altitud media de 2 500 metros sobre el nivel del mar, y 2) Altzayanca ubicado entre los 19° 26' latitud norte y 97° 48' longitud oeste, con una altitud media de 2,600 metros sobre el nivel del mar, con condiciones de clima C(w0) y C(w1) templado con invierno seco.

Se diseñó y aplicó un cuestionario sobre la percepción de los productores de maíz sobre los efectos del cambio climático y la adopción de semillas, que incluyó un apartado sobre la percepción de las características y/o beneficios de las semillas de variedades mejoradas y nativas. La selección de los productores se llevó a cabo mediante muestreo no probabilístico e intencional (Quinn, 2002; Hernández, 2021) de tal manera que en 2024 se aplicó una encuesta a 70 productores de maíz de pequeña escala y bajo condiciones de temporal, en distintas localidades de los municipios de Altzayanca y Huamantla. El análisis estadístico de los datos se realizó mediante técnicas descriptivas (Espinosa y Amador, 2010).

Resultados y Discusión

Los productores de maíz entrevistados tuvieron en promedio 60 años de edad, y llevan alrededor de 36 años sembrando/cultivando maíz, en una superficie promedio de 3 hectáreas. La edad registrada indica que la mayoría de productores ya son adultos mayores, lo cual concuerda con los resultados del censo agropecuario 2022 en Tlaxcala y resalta la necesidad de un relevo generacional en el campo mexicano. Los resultados de la encuesta, mostraron que la mayoría de productores ($\pm 70\%$) percibe o reconoce que las variedades mejoradas (híbridos) ofrecen mayor rendimiento de grano y forraje, ciclo vegetativo más corto y mayor resistencia al acame, éstas características son importantes ya que permiten obtener cosecha en menor tiempo y facilitan la cosecha mecanizada. En cuanto a sanidad existe la percepción de que presentan cierta resistencia a plagas y enfermedades en campo, pero no resistencia a plagas de almacén.

La resistencia a enfermedades y plagas son características sumamente importantes ante el cambio climático, el cual de acuerdo con Coakley *et al.* (1999) tiene efectos importantes en las etapas y tasas de desarrollo de los patógenos, siendo éstos más adaptables debido al tiempo corto de sus generaciones. Respecto a su comportamiento ante las condiciones climáticas, el 61% de los productores considera que no tienen resistencia a sequía, vientos, etc. características necesarias ante los efectos del cambio climático en zonas de temporal (figura 1).

A pesar de reconocer mejores características, la adopción de variedades mejoradas en el área de estudio es baja, sólo seis de los productores entrevistados dijeron usar semilla de maíz híbrido, aun cuando en la entidad hay suficiente oferta de materiales mejorados. Cuando se les pregunto la principal limitante para obtener o elegir materiales mejorados, la mayoría de los productores (36%) menciona los altos costos de la semilla, el 17 % menciona la falta de información y/o disponibilidad en la zona, el 16% menciona la mala calidad del forraje para el ganado, el 14% indico la mayor necesidad de agua/ riego para estas semillas, el 10% indico la calidad del grano es muy duro, un 4 % indico que no quiere perder su semillas nativa y el 3% indicó que no son aptos para la zona.

Numerosas razones, respetables cada una, porque son ellos quienes con su experiencia de años conocen el cultivo, y saben las características que requieren para cubrir sus necesidades. Los resultados explican una parte de la baja adopción de estas variedades mejoradas. De acuerdo con Aguilar (2008), el proceso de adopción es todavía más complejo, indica un origen multicausal, en el que intervienen múltiples factores como la capacitación, política, financiamiento y mercado del producto, ingresos, actividades económicas, entre otros.

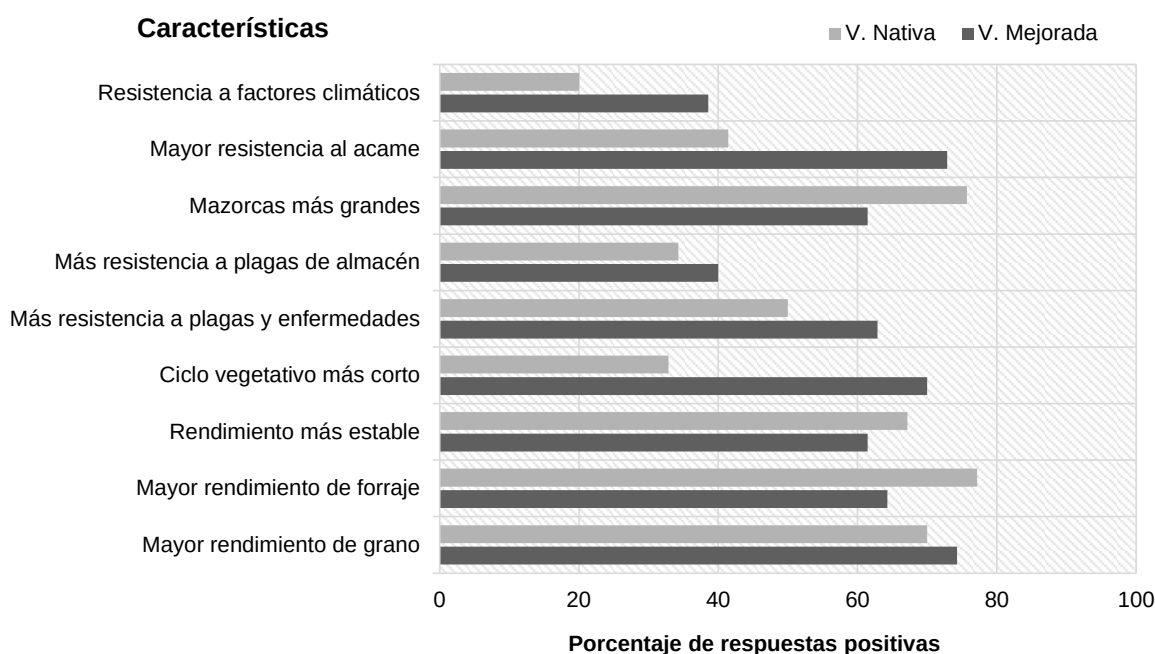


Figura 1. Percepción de características entre variedades de maíz, por parte de productores de temporal en dos municipios de Tlaxcala.

Respecto a la valoración de las características o beneficios de las variedades nativas, la mayoría de los productores las considera con mayor rendimiento de grano y forraje, rendimiento más estable, y mazorcas más grandes. En cuanto a la precocidad el 33% indica que son más precoces, el 50% indicó que son más resistentes a plagas de campo y 34% que resisten plagas de almacén, el 41% considera que son resistentes al acame y sólo el 20% considera que tienen mayor resistencia a factores climáticos (figura 1). Esta valoración manifiesta los problemas que limitan la producción de los maíces nativos, como el acame, la susceptibilidad a enfermedades, al mismo tiempo resalta la necesidad de programas de mejoramiento genético participativo, que permitan al productor obtener mayor producción al mismo tiempo que se conserva la diversidad genética de los maíces nativos en México.

Respecto a las limitantes para elegir semillas nativas, el 21.5% indica que el precio de la semilla aumenta en época de siembra, el 30% indica la afectación del clima, sequía principalmente, el 21% dice que no hay limitantes, el resto menciona que llega a escasear en la época de siembra, asociado a las pérdidas de producción por efecto del clima.

Las variedades nativas de maíz han permanecido durante generaciones en los campos de los productores de pequeña escala sobre todo en zonas de temporal, donde son conservados, valorados y preferidos por su variedad de formas y colores relacionados con la diversidad genética y de usos en la gastronomía mexicana, la mayoría de los productores no requiere comprar semilla, sólo en ocasiones cuando el clima provoca pérdida total de la producción, aún así el costo no se compara con el de una semilla mejorada.

La percepción obtenida está asociada a las condiciones que enfrentan los productores de maíz de pequeña escala en temporal, principalmente en esa zona oriente del estado, la cual, por su tipo de clima, tiene mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, como la sequía extrema que no permite la expresión del potencial genético de las variedades mejoradas, por tanto, pocos productores se arriesgan a invertir en semillas de alto costo. La selección de variedades, aunado a mejoras en el manejo agronómico es sin duda una estrategia para hacer frente a los efectos del cambio climático.

Conclusiones

Los productores no perciben el rendimiento como una ventaja marcada entre híbridos y nativos, sí reconocen en las variedades mejoradas una mayor resistencia al acame y ciclo vegetativo más corto, pero aprecian que las variedades nativas tienen mazorcas más grandes, y rendimiento más estable.

La percepción de baja resistencia a factores climáticos y plagas de almacén, en ambas variedades destaca la necesidad de mayor investigación y mejoramiento genético para obtener variedades que resistan los efectos del cambio climático.

Agradecimientos y Fuente financiadora

A los productores entrevistados y al INIFAP por el financiamiento al proyecto SIGI: 1474736477. La percepción de los productores de maíz sobre los efectos del cambio climático y la adopción de semillas mejoradas en tres regiones agroecológicas en los estados de Tlaxcala, Estado de México y Veracruz.

Referencias bibliográficas

- Aguilar Cordero W.J. (2008). Toma de decisiones en la elección y adopción de opciones productivas en unidades domésticas de dos grupos de productores campesinos del Municipio de Hocabá, Yucatán, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Mérida, Yucatán. <https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1017/1629>
- Coakley, S.M., Scherm, H. y Chakraborty, S. (1999). Climate change and plant disease management. Annual Review of Phytopathology 37:399-426.
- Hernández, G.O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. Revista Cubana de Medicina General Integral, 37(3): e1442.
- Quinn M.P. (2002). Qualitative Research & Evaluation Methods. Sage Publications.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Cierre de la producción agrícola Tlaxcala. <https://nube.siap.gob.mx/cierreaagricola/>

SEÑALES CLIMÁTICAS EN LOS ANILLOS DE CRECIMIENTO DE *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. EN UNA SELVA BAJA CADUCIFOLIA DE CAMPECHE, MÉXICO

Benjamín Castillo-Morales¹, Sol de Mayo A. Mejenes-López¹, Martín Aquino-Ramírez^{2*}, Rolando Misael
Tlaxcala-Méndez³

¹Colección de Plantas, Laboratorio de Colecciones Biológica, Tecnológico Nacional de México, Instituto
Tecnológico de Chiná, Campeche, ²INIFAP CIR-Sureste CE Edzná, ³INIFAP CIR-Golfo Centro CE El
Palmar

*Autor para correspondencia: martin.aquino.forestal@gmail.com

Palabras clave. Dendrocronología, precipitación, tzalam.

Introducción

Lysiloma latisiliquum (L.) Benth conocido localmente como tzalam es una especie tropical con amplia distribución geográfica en la península de Yucatán, se utilizada como forraje, materia prima en la industria forestal, asimismo, tiene un valor cultural significativo en la cultura Maya (Alfaro-Reyna et al., 2022). Por otro lado, comprender la interacción entre la variabilidad climática y las respuestas de crecimiento secundario a través de los anillos de los árboles nativos, especialmente en ecosistemas tropicales permite predecir la dinámica de los bosques en el futuro para establecer estrategias de manejo y conservación para el uso sostenible de los productos y servicios que proveen estos ecosistemas. Los estudios dendrocronológicos en bosques tropicales de México son escasos en particular en los estados de Yucatán Quintana Roo y Campeche donde se dispone de información limitada para comprender la interacción entre la variabilidad climática y las respuestas de crecimiento de los árboles nativos. En una investigación dendroecológica realizada en la península de Yucatán se analizaron las características anatómicas de los anillos de crecimiento de 52 especies de árboles tropicales concluyendo que el 38 % de estas especies presentaron límites de crecimiento distinguibles con potencial para estudios dendroclimáticos (Roing et al., 2005). Los estudios dendrocronológicos además permiten aportar información referente a la periodicidad de los anillos de crecimiento dando respuesta a muchas preguntas ecológicas y de manejo forestal, por ejemplo, la edad media del bosque, la determinación de la tasa de crecimiento y el periodo requerido de una especie arbórea para alcanzar un diámetro determinado, así como para identificar las condiciones climáticas dominantes que modulan el crecimiento secundario de los árboles. Para concluir, los estudios dendrocronológicos en árboles tropicales son importantes dada la escasa información con la que se cuenta.

Objetivo

Determinar el potencial dendrocronológico y la influencia climática en el crecimiento secundario de *Lysiloma latisiliquum* en una selva baja caducifolia de la localidad de Bethania, Campeche.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en una selva baja caducifolia de la localidad de Bethania, Campeche, la cual se encuentra en las coordenadas geográficas 19° 55' 01.97" latitud N y 90° 22' 55.38" longitud O, a una altitud de 55 m. El clima se clasifica como Aw0 (w), cálido subhúmedo con lluvias en verano y bajo porcentaje de lluvias invernales. El tipo de suelo que predomina en el área son leptosoles, con poca profundidad y alta pedregosidad. Las principales especies arbóreas encontradas en el área son *Bursera simaruba*, *Lysiloma latisiliquum*, *Piscidia piscipula*, *Gymnopodium floribundum*, *Spondias mombin*, *Melicococus oliviformis* y *Vitex gaumeri*, las cuales corresponden a una selva baja caducifolia. En marzo de 2023, se realizó un muestreo destructivo a 15 ejemplares de *L. latisiliquum*. Se ubicaron y seleccionaron aquellos árboles que crecieron en condiciones de alta pedregosidad y mínima disponibilidad hídrica, esto con la finalidad de que mostraran una respuesta de sensibilidad máxima del crecimiento radial a factores relacionados con el clima como lo sugieren los principios de la dendrocronología. En cada árbol se obtuvo una rodaja (sección transversal) perpendicular al fuste de 3-5 cm de espesor y a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo con una motosierra. Todas las rodajas fueron transportadas a laboratorio y secadas a temperatura ambiente, luego, lijadas y pulidas con lijas de diferentes granulometrías (80-1200 granos cm⁻²). Posteriormente, de 2 a 3 radios se marcaron en cada rodaja y con la ayuda de un microscopio estereoscopio Amscope® Se306r-pz

se identificaron todos los anillos de crecimiento para asignarles el año de su formación. Después, todas las rodajas fueron escaneadas a una resolución de 2400 dpi en formato “jpg” utilizando un scanner EPSON® V39. La medición del ancho de anillo de cada radio fue realizada con el software CooRecorder v.9.8.1 con una precisión de 0.01 mm. La calidad del fechado y de la medición del ancho del anillo se verificaron con el programa COFECHA. Cada serie de ancho de anillo fue estandarizada ajustando una curva spline dependiente de la edad de 20 años con el programa ARSTAN para obtener índices de ancho de anillo. Posteriormente, todas las series de índice de ancho de anillo resultantes se les aplicó un modelo autorregresivo para eliminar la autocorrelación temporal y, por último, una cronología estándar fue obtenida con la función de media bi-ponderada robusta para reducir la influencia de los valores atípicos. Para generación de la cronología estándar final de *L. latisiliquum* solo se consideraron aquellas series con una correlación >0.40 con respecto a la serie promedio. Los parámetros de intercorrelación entre series, sensibilidad media, autocorrelación de primer orden, relación señal-ruido y señal expresada de la población fueron calculados para evaluar el potencial dendrocronológico (Speer, 2010). La información climática (precipitación, temperatura máxima, temperatura promedio y temperatura mínima) se obtuvo de la red de estaciones climatológicas de México de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La estación “Bethania” con clave 4023 fue seleccionada para descargar información climática y el periodo con registros completos fue de 1983 a 2022 (figura 1).

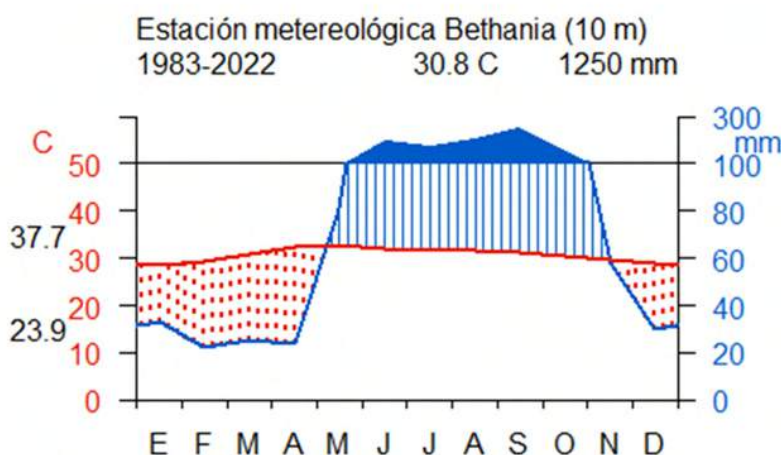


Figura 1. Diagrama climático de Walter y Lieth para la estación meteorológica “Bethania” con clave 4023.

Para determinar la influencia del clima local en el crecimiento de los anillos de *L. latisiliquum* se calculó una función de correlación de *Pearson* entre las variables climáticas con la cronología estándar generada. Dado que el crecimiento en un año puede estar influenciado por condiciones climáticas durante el año anterior, los coeficientes de correlación fueron calculados de forma mensual, estacional y anual en una ventana temporal de 24 meses con la librería *treeclim* del software estadístico R versión 4.2.0.

Resultados y Discusión

Los anillos de *L. latisiliquum* en su mayoría pudieron ser fechados por la técnica del *fechado cruzado*, demostrando que los anillos de esta especie tienen una periodicidad anual. Los anillos de crecimiento de esta especie están delimitados por una zona de parénquima marginal y por fibras con paredes engrosadas (figura 2). Un total de 53 series de ancho de anillo total fueron correctamente fechadas y el crecimiento promedio es de 2.22 ± 0.75 mm año⁻¹ (figura 3a). La cronología de ancho de anillo se generó a partir de 22 series dendroclimáticos y abarcó una longitud de 51 años (1972-2022) figura 3b).

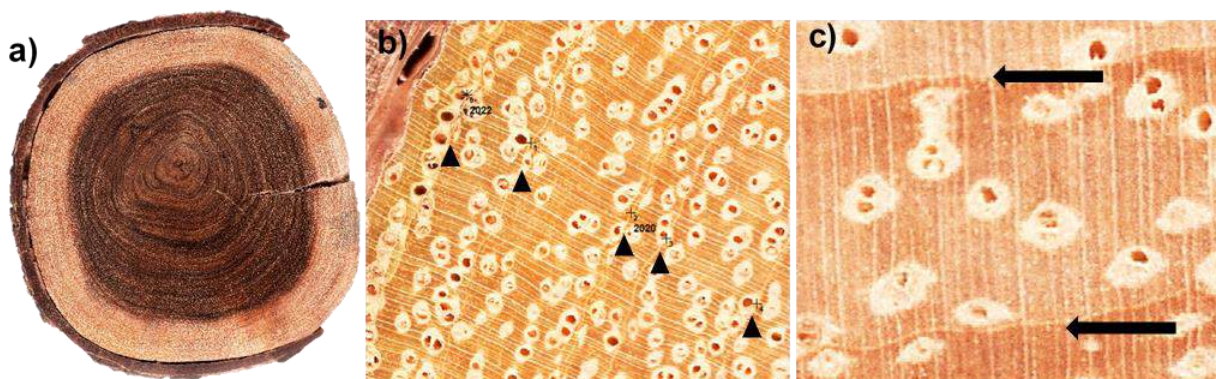


Figura 2. Muestra dendrocronológica de *L. latifolium*. a) sección transversal de la rodaja, b) límites de crecimiento (triángulos negros) y c) parénquima marginal (flechas negras).

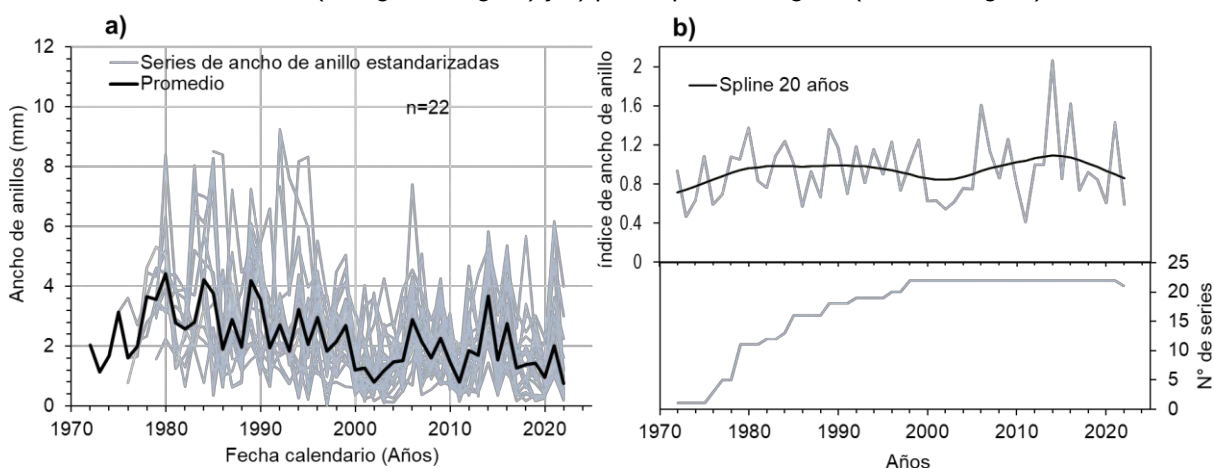


Figura 3. a) Series de crecimiento de ancho de anillo total y b) cronología de índice de anillo estándar de *L. latifolium* en una selva baja caducifolia de Campeche, México.

Los valores de los parámetros estadísticos dendrocronológicos (cuadro 1) demuestran que existe una adecuada señal común entre árboles de *L. latifolium* y que en sus anillos registran la variabilidad climática, asimismo son comparables con los parámetros dendrocronológicos de especies de coníferas de climas templados, tal es el caso de *Pinus pinceana* con un registro de 0.54 para la intercorrelación entre series, sensibilidad media de 0.30, autocorrelación de primer orden de 0.28 y relación señal-ruido de 43.18 (Contreras-Mata *et al.*, 2024).

Cuadro 1. Parámetros dendrocronológicos de la cronología de ancho de anillo de *L. latifolium* en una selva baja caducifolia de Campeche, México.

Parámetro	Valor
Período de la cronología (años)	1972-2022 (51)
Numero de radios/árboles	22/15
Inter-correlación de series	0.53
Sensibilidad media	0.63
Auto-correlación de primer orden	0.22
Relación señal-ruido	5.31
Señal de población expresada	0.86

El análisis de correlación indicó que la variación en el crecimiento de los anillos de los árboles de Tzalam está influenciada positivamente ($r=0.58$, $p<0.05$) con la precipitación acumulada de octubre-noviembre del año previo (figura 4). Lo que indica una estrecha dependencia con el agua almacenada en el suelo derivados de las lluvias de otoño lo que permite que los árboles tengan un suministro sostenido del agua en el periodo de seca. Esta agua disponible para los árboles coincide con la época de huracanes que se registran en el Golfo de México y el Caribe Mexicano para el mes de septiembre. Con respecto a la temperatura máxima, mínima y promedio no mostraron correlaciones significativas con la cronología estándar. Dada la importancia de la especie y del área, conocer su crecimiento anual y los factores que inciden en el mismo, puede ofrecer mejores criterios para el manejo en plantaciones o en sistemas agroforestales y, sobre todo la preservación en su hábitat natural.

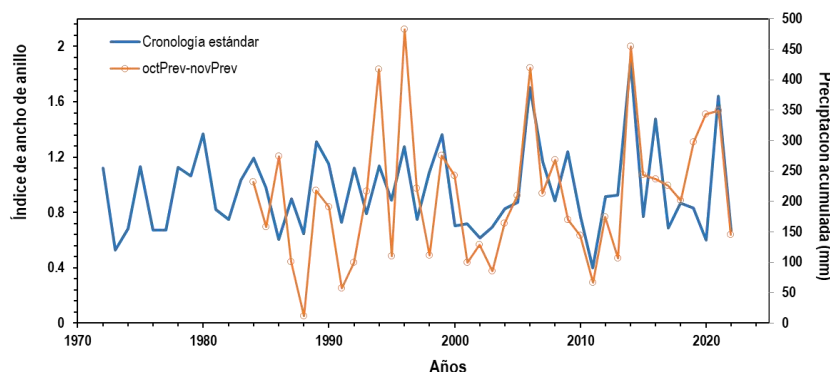


Figura 4. Sincronía entre la variación del crecimiento secundario de *L. latifolium* con la precipitación acumulada de otoño-noviembre del año previo de crecimiento para el periodo de 1970-2022.

Conclusiones

Los árboles de *L. latifolium* del presente estudio tienen anillos de crecimiento anual, están delimitados por una zona de parénquima marginal y por fibras con paredes engrosadas lo que permitió generar la primera cronología de ancho de anillo total en el estado de Campeche. Los parámetros dendrocronológicos obtenidos indican un fechado confiable y una señal de crecimiento común entre árboles, además estos valores son comparables con los obtenidos en especies consideradas con alto potencial dendrocronológico como las de coníferas de zonas templadas. La variación en crecimiento secundario de esta especie indica que es sensible a los cambios interanuales en el suministro de agua de otoño-noviembre del año previo de crecimiento.

Agradecimientos y Fuente financiadora

El presente trabajo se realizó con financiamiento de recursos externos INIFAP a través del proyecto "Transferencia de tecnología en la producción de carbón vegetal con el horno metálico tipo CEVAG (NCPA Sudzal Chico)" con número de registro SIGI: 3-1.6-437635545-F-M.2-2.

Referencias bibliográficas

- Alfaro-Reyna, T., Saturnino-Duran, M., García Cuevas, X., Delgado Balbuena, J., Yuridia López, C. y Arellano Martín, F. (2022). Árboles multipropósito de la península de Yucatán de importancia agroforestal. CONAFOR. México. 133 p.
- Contreras-Mata, L., Astudillo-Sánchez, C. C., Alanís-Rodríguez, E., Treviño-Carreón, J., Mora-Olivo, A., & Soria-Díaz, L. (2024). Potencial dendrocronológico del piñonero llorón (*Pinus pinceana* Gordon) en Tamaulipas, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales, 30(3).
- Roig, F. A., Osornio, J. J. J., Díaz, J. V., Luckman, B., Tiessen, H., Medina, A., y Noellemeyer, E. J. (2005). Anatomy of growth rings at the Yucatán Peninsula. Dendrochronologia, 22(3), 187-193.
- Speer, J. H. (2010). Fundamentals of tree-ring research. University of Arizona Press.

BIOL ENRIQUECIDO CON MICROORGANISMOS EN LA TRANSLOCACIÓN NUTRIMENTAL Y CRECIMIENTO DE MELÓN

Jonás Alan Luna-Fletes^{1*}, Oscar Raúl Mancilla-Villa¹, Elia Cruz-Crespo², Álvaro Can-Chulim², Oscar Germán Martínez-Rodríguez³, Ricardo Martínez-Martínez¹, Rubén Darío Guevara-Gutiérrez⁴.

¹Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur (CUCSUR), Universidad de Guadalajara (UDG). ²Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. ³INIFAP.

⁴Departamento de Ecología y Recursos Naturales, CUCSUR, UDG.

*Autor para correspondencia: jonas.luna@academicos.udg.mx

Palabras clave. Fósforo, hongos entomopatógenos, nitrógeno.

Introducción

El uso constante y excesivo de fertilizantes sintéticos ha generado el encarecimiento de las producciones agrícolas, así como la degradación del suelo y contaminación de agua. Por esto, se deben encontrar alternativas de fertilizantes más amigables con el medio ambiente y de menor costo. Una opción es el uso de fertilizantes orgánicos, tales como los bioles de estiércol animal (Cabos-Sánchez *et al.*, 2019). Los bioles son el producto de la fermentación anaeróbica del estiércol a través de un biodigestor, los cuales son ricos en nutrientes disponibles y mejoran significativamente el crecimiento y producción de los cultivos e incrementan la microbiota benéfica del suelo (Medranda-Vera *et al.* 2016).

Otra biotecnología que se utiliza en los sistemas productivos actualmente es el uso de microorganismos benéficos, tales como hongos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) han sido objeto de un gran número de estudios en las últimas dos décadas, donde se ha demostrado el efecto benéfico que presentan en el crecimiento y rendimiento de diversos cultivos al ser inoculadas en la rizosfera (Katsenios *et al.*, 2021). En cambio los hongos entomopatógenos (HE) como promotores del crecimiento de las plantas la información es limitada, puesto que este tipo de microorganismos han sido tradicionalmente estudiados y aplicados en el sector agrícola principalmente para el control de insectos plaga. Como referencia tenemos el estudio de González-Guzmán *et al.* (2020) quienes demostraron que el HE *Beauveria bassiana* es capaz de colonizar endofíticamente las plantas, producir auxinas y solubilizar fósforo, esto beneficia el crecimiento y producción de trigo (*Triticum durum*). Además, es importante generar información no solo sobre el efecto individual del biol en los cultivos, sino también con respecto al beneficio en los mismos al aplicar este producto combinado con microorganismos. El melón es un cultivo con potencial significativo para su expansión en Jalisco, ya que el estado posee condiciones hídricas, edáficas, climáticas y de mercado favorables para la producción de este fruto.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el biol de estiércol de cabra enriquecido con BPCV y HE (*Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*) en la translocación nutrimental foliar, el crecimiento de planta y la capacidad de estos microorganismos para colonizar la rizosfera de melón.

Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó a cabo en condiciones de campo abierto en un suelo regosol, en la localidad de San José del Rincón, municipio de San Gabriel, Jalisco, México. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada parcela experimental consistió en un surco de 8 metros de largo con 32 plantas, y se designaron cuatro plantas por tratamiento como unidad experimental. Los tratamientos evaluados fueron: 1) Biol de estiércol de cabra (BE) + bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), 2) BE + hongos entomopatógenos (HE), BE solo y un testigo (sin productos).

El biol de estiércol de cabra se obtuvo mediante fermentación anaeróbica en un biodigestor, para su aplicación este fue diluido con agua a razón 1:1 v/v y enriquecido con 5 mL L⁻¹ del consorcio de BPCV Improve Soil® (*Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Bacillus mucilaginosus*) o con 2 g del consorcio de HE Phyto-Control® (*Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*); se suministró en drench una dosis de 200 mL por plantas de cada producto según el tratamiento.

Se utilizó semilla de melón híbrido Ovation®, esta fue sembrada de manera manual a una hilera con acolchado plástico, con separación entre surcos de 1.5 m y entre plantas de 0.25 m, logrando una densidad de 26,666 plantas·ha⁻¹. Se manejó sin tutor, con fertirriego por goteo y se utilizó una fertilización convencional con una fórmula 180-100-200-60-40 (N-P-K-Ca-Mg) dividida en 30 aplicaciones.

Las variables evaluadas fueron: concentración nutrimental foliar (N, P, K, Ca, y Mg), crecimiento de planta (diámetro y longitud de tallo, número de hojas y biomasa seca de raíz), y la colonización de HE y BPCV en la rizosfera (se identificó y determinó el porcentaje de colonización de hongos y bacterias utilizadas en este estudio).

Para el análisis de los datos, se aplicó un análisis de varianza y una prueba de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando el software SAS® 9.0.

Resultados y Discusión

En el cuadro 1, se observó que las plantas tratadas con **BE + BPCV** obtuvieron las translocaciones más altas de **nitrógeno con valor de 25.83 mg kg⁻¹**, en comparación con el resto de los tratamientos y el testigo (23.40 mg kg⁻¹). Para fósforo, los tratamientos **BE + BPCV y BE + HE mostraron valores superiores (4.08 y 4.06 mg kg⁻¹, respectivamente)** con respecto al testigo (3.66 mg kg⁻¹). Esto indica que las bacterias promotoras del crecimiento vegetal y los hongos entomopatógenos mejoraron la disponibilidad y absorción de estos macronutrientes, lo cual posiblemente se debió a la capacidad que poseen estos microorganismos para fijar nitrógeno atmosférico y solubilizar fósforo, tal como señalan Katsenios *et al.* (2021). En cambio, con la aplicación de BE solo y en combinación con hongos entomopatógenos se incrementó significativamente la concentración de calcio (205.40 y 205.50 mg kg⁻¹) foliar con relación al tratamiento BE + BPCV (187.10) y el testigo (161.60 mg kg⁻¹), esto puede estar relacionado con la mayor disponibilidad y capitación de estos nutrientes por la raíz al utilizar estos fertilizantes orgánicos y biológicos (Cabos-Sánchez *et al.*, 2019). El **magnesio** fue significativamente más alto en el tratamiento con BE solo (14.80 mg kg⁻¹) en comparación con el resto de los tratamientos, lo que sugiere que los microorganismos evaluados al combinarlos con el BE pueden afectar su dinámica de absorción nutrimental.

Cuadro 1. Concentración nutrimental foliar en función del biol enriquecido con microorganismos.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
	(mg kg ⁻¹)				
BE + BPCV	25.83a	4.08a	24.80a	187.10b	11.90b
BE+ HE	24.60b	4.06a	25.40a	205.50a	10.56c
BE	24.76b	3.73b	25.20a	205.40a	14.80a
Testigo	23.40c	3.66b	24.80a	161.60c	9.86d

BE= biol de estiércol de cabra; BPCV= bacterias promotoras del crecimiento vegetal; HE= Hongos entomopatógenos.

Cuadro 2. Crecimiento de planta en función del biol enriquecido con microorganismos.

Tratamiento	DT	LT	NH	BSR
	mm	cm	unidades	g
Biol + BPCV	13.30a	137.00a	193.00a	19.43a
Biol + HE	13.06a	146.33a	169.00a	13.23b
Biol	11.33ab	139.00a	115.67a	10.55b
Testigo	9.50b	129.00a	174.67a	11.33b

BE= biol de estiércol de cabra; BPCV= bacterias promotoras del crecimiento vegetal; HE= Hongos entomopatógenos; DT= diámetro de tallo; LT= longitud de tallo; NH= número de hojas; BSR= biomasa seca de raíz.

El BE enriquecido con microorganismos presentó un impacto positivo en el diámetro de tallo y la biomasa seca de raíz, mas no en la longitud de tallo y número de hojas. El diámetro de tallo fue significativamente mayor en los tratamientos con BE + BPCV (13.30 mm) y BE + hongos entomopatógenos (13.06 mm), en relación con el testigo (9.50 mm), lo que evidencia un mejor desarrollo estructural de las plantas. La biomasa seca de raíz (BSR) fue significativamente mayor en el tratamiento con BE + BPCV (19.43 g), mientras que los demás tratamientos, incluido el testigo, mostraron valores más bajos (cuadro 2). Esto destaca la capacidad de las BPCV para promover el desarrollo radicular, lo que está influenciado por la habilidad que poseen estas bacterias para producir fitohormonas (Katsenios *et al.*, 2021).

El cuadro 3 demuestra que el tratamiento **BE + BPCV** alcanzó una colonización de 80 % por bacterias promotoras del crecimiento vegetal, la cual fue disminuyendo en el resto de los tratamientos y el testigo (donde no se inocularon estas bacterias). En cambio, el tratamiento **BE + HE** presentó 30 % de colonización de hongos, mientras que resto de los tratamiento mostraron una colonización nula. El testigo mostró bajos niveles de colonización, lo que confirma la importancia de inocular directamente estos microorganismos para poder favorecer la interacción de la rizosfera con la planta, y a su vez la nutrición, crecimiento y producción de las mismas (González-Guzmán *et al.*, 2020). Además, el BE por sí solo mostró colonización de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (20 %), evidenciando que este fertilizante orgánico posiblemente contenga y aporte este tipo de bacterias al aplicarlo al suelo.

Cuadro 3. Porcentaje de colonización de microorganismos en la rizosfera de melón.

Tratamiento	BPCV	HE
Biol + BPCV	80	0
Biol + HE	20	30
Biol	20	0
Testigo	6	0

BE= biol de estiércol de cabra; BPCV= bacterias promotoras del crecimiento vegetal; HE= Hongos entomopatógenos.

Conclusiones

El biol enriquecido con microorganismos (BPCV y hongos entomopatógenos) fue eficaz para mejorar la translocación de nitrógeno, fósforo y calcio en las hojas, incrementar el diámetro de tallo y la biomasa seca de raíz, así como enriquecer la microbiología benéfica del suelo. Por esto, su aplicación en hortalizas como el melón puede minimizar el uso de fertilizantes sintéticos, reducir la degradación microbiológica de los suelos y promover una agricultura más ecológica.

Agradecimientos

El primer auto agradece a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el otorgamiento de una Beca Posdoctoral del programa de Estancias Posdoctorales por México.

Referencias bibliográficas

- Cabos-Sánchez, J., Bardales-Vásquez, C. B., León-Torres, C. A., & Gil-Ramírez, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*, 26(3), 1165-1176.
- Medranda-Vera, E., Cedeño-García, G., Cargua-Chávez, J., Soplin-Villacorta, H., & Lucas-Vidal, L. (2016). Efecto del biol bovino y avícola en la producción de pimiento dulce (*Capsicum annum* L.). *Revista ESPAMCIENCIA*, 7(1), 15-21.
- Katsenios, N., Andreou, V., Sparangis, P., Djordjevic, N., Giannoglou, M., Chanioti, S., Stergiou, P., Xanthou, M. Z., Kakabouki, I., Vlachakis, D., Djordjevic, S., Katsaros, G., & Efthimiadou, A. (2021). Evaluation of plant growth promoting bacteria strains on growth, yield and quality of industrial tomato. *Microorganisms*, 9(10), 2099.
- González-Guzmán, A., Sacristán, D., Quesada-Moraga, E., Torrent, J., Campillo, M.C., & Sánchez-Rodríguez, A. R. (2020). Effects of entomopathogenic fungi on growth and nutrition in wheat grown on two calcareous soils: Influence of the fungus application method. *Annals of Applied Biology*, 177(1), 26-40.

CAPACIDAD DE AMACOLLAR DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L) Y TRIGO CRISTALINO (*Triticum durum*) EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA

María Fernanda Flores-Bracamontes¹, Juan Manuel Cortés-Jiménez², Alma Angélica Ortiz-Ávalos²
¹Instituto Tecnológico de Sonora. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
*Autor para correspondencia: cortes.juanmanuel@inifap.gob.mx

Palabras clave. Macollo, trigo, *aestivum*, *durum*.

Introducción

El Valle del Yaqui, es una de las zonas más importantes para la producción de trigo en México. Según datos del SIAP, en el ciclo otoño-invierno 2022–2023 se sembraron aproximadamente 268 mil hectáreas de trigo, se cosecharon 2 millones de toneladas de grano y se obtuvo un rendimiento de 7.44 t ha⁻¹. De todo el trigo que se produce en el país, 55.6% es trigo cristalino y Sonora aporta más del 84% de esa producción (SIAP, 2024).

La formación de macollos en el cultivo de trigo es un proceso fisiológico que se relaciona de manera positiva con el rendimiento ya que cada macollo puede generar una espiga fértil. El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo cristalino (*Triticum durum*) tienen diferencias en su capacidad de amacollar. El trigo cristalino utiliza más su energía en el crecimiento del tallo principal y produce un menor número de macollos por planta en comparación con el trigo harinero, lo que favorece la eficiencia en el uso de recursos en ambientes áridos (Zapata *et al.*, 2004). El trigo harinero se distingue por su alta plasticidad en la producción de macollos, produce aproximadamente entre 3 a 6 hijuelos por planta en condiciones óptimas. Esto permite que la planta se adapte a condiciones desfavorables, como el estrés hídrico en etapas iniciales desarrollando estructuras secundarias fértiles siempre y cuando haya nutrientes y agua disponibles (Bautista, 2021). Ramos y Maluquis (2024), evaluaron 26 genotipos de trigo harinero y cristalino en condiciones de altitud elevada, y observaron que las variedades harineras tenían más macollos por planta y por metro cuadrado, pero esto no determinó un mayor rendimiento, porque también depende del espigamiento fértil y del peso del grano. Por otra parte, Ramírez (2022) comparó el trigo harinero y trigo cristalino bajo condiciones del noreste de México, encontró que el trigo harinero mostró mayor cantidad de macollos y mejor respuesta a la fertilización nitrogenada, mientras que el trigo cristalino mostró estabilidad en el rendimiento a pesar de su menor capacidad de generar hijuelos. Esta diferencia fisiológica afecta el número de espigas por metro cuadrado y también al rendimiento, ya que los trigos harineros producen más espigas visibles y los cristalinos dependen más del peso de grano y tamaño de espiga (Lizárraga, 2015).

Objetivo

Determinar la capacidad de amacollar del trigo harinero de la variedad Borlaug 100 y el trigo cristalino variedad CIRNO 2008, y su impacto en el número y peso de espigas y el peso de grano.

Materiales y Métodos

La evaluación se llevó a cabo durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024-2025, en el Campo Experimental Norman E. Borlaug, en el Valle del Yaqui, Sonora (27°22'4.9"N latitud y 109°55'36.86"W longitud, 40 msnm). Las variedades estudiadas fueron Borlaug 100 F2014 (*Triticum aestivum*) y CIRNO C2008 (*Triticum durum*), las cuales se obtuvieron del programa de reproducción de semillas del PIEAES, AC. La evaluación se estableció en un suelo arcilloso con manejo orgánico en rotación con trigo. Se reutilizó el surco del cultivo anterior el cual estaba a 80 cm de separación. Se dieron tres pasos de cultivadora para mantener libre de maleza el terreno. Se fertilizó con 10 ton ha⁻¹ de gallinaza, la cual se incorporó con otro paso de cultivadora. La siembra se realizó sobre humedad el 18 de diciembre de 2024 con 89 kg ha⁻¹ de semilla Borlaug 100 y 80 kg ha⁻¹ de CIRNO C2008. La sembradora fue marca Vázquez de fabricación local y tuvo la misma calibración para ambas variedades. El método de siembra fue en surcos con dos hileras de plantas separadas a 30 cm. Se aplicaron 4 riegos de auxilio y se utilizó control biológico de plagas. El peso de 1000 granos fue de 53.7 y 62.8 g para Borlaug y CIRNO respectivamente. Los granos por kg fueron 18,622 y 15,916 en el mismo orden, para una siembra de 1,657,358 semillas por hectárea en el caso de

Borlaug y 1,273,280 semillas en CIRNO. Lo anterior representan 206 semillas en 3.1 metros lineales (1.24 m²) en la variedad harinera y 158 semillas en la variedad cristalina.

Al momento de la cosecha, se obtuvo una muestra de 3.1 metros lineales de plantas en ambas variedades. Las plantas se sacaron completas incluída la raíz. Antes de separar las plantas, las raíces se colocaron en agua para desprender todo el suelo adherido a éstas. Después de separar cada planta, se expusieron al sol hasta que se secaron las raíces. Posteriormente se etiquetó y enumeró cada una de las plantas de las dos variedades (figura 1). Una vez etiquetadas, las plantas se separaron por número de macollos de 0 a 4 en el trigo duro y de 0 a 5 en el harinero. Se cuantificaron las plantas en cada categoría y se determinó el valor de la moda, la cual fue de dos macollos por planta en las dos variedades. Por lo anterior, se eligió este segmento de plantas para cuantificar el peso de espigas por planta. Esta determinación se realizó en 25 plantas con dos espigas de cada variedad. Se realizó una correlación entre el peso de la espiga y el peso del grano en 10 espigas de las dos variedades. Se determinó el valor máximo, mínimo, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación del peso de las espigas y del grano. Se utilizó Excel.



Figura 1. Limpieza de raíces, separación e identificación de cada planta por el número de macollos.

Resultados y Discusión

Se cuantificaron un total de 114 plantas en la variedad CIRNO y 140 en Borlaug en la muestra de 3.1 metros lineales. En la variedad CIRNO, la proporción de plantas con dos macollos fue de 53.51 por ciento y en Borlaug de 35.71 por ciento. Mientras que la proporción de plantas con tres tallos fue de 13.16 y 30.71 por ciento para CIRNO y Borlaug respectivamente. Se destaca la diferencia en la cantidad de plantas con 4 macollos que se observó en la variedad Borlaug con respecto a CIRNO. La cantidad total de espigas observadas en el trigo harinero, fue 55.5 por ciento superior al trigo duro (cuadro 1). La cantidad de semilla sembrada fue 30.38 por ciento mayor en la variedad harinera, lo cual incrementa la competencia intraespecífica y en general, reduce la emisión de macollos. Sin embargo, en esta evaluación se pudo observar que aún con una mayor densidad de población, el trigo harinero mostró una mayor capacidad de amacollar que el trigo duro o cristalino. Lo anterior se reflejó en una mayor cantidad de espigas fértiles. Se encontró una estrecha correlación entre el peso de la espiga y el peso del grano en ambas variedades. Con la ecuación de regresión correspondiente (figura 2), se determinó el peso del grano de cada una de las espigas sin necesidad de trillarlas, ya que dicha labor se realiza manualmente y se invierte mucho tiempo y recursos para obtener dicha información.

El peso promedio de las espigas de la variedad CIRNO fue menor al de la variedad Borlaug. El peso promedio de la espiga principal del trigo harinero superó en 10.34% al de la espiga principal del trigo duro. Mientras que el macollo del harinero superó al trigo duro en 45.93%. Destaca que el peso mínimo de la espiga del trigo duro, representó sólo el 17.28% del peso mínimo de la espiga de trigo harinero (cuadro 2).

Cuadro 1. Macollos y espigas por planta en dos variedades de trigo. Valle del Yaqui, Sonora. INIFAP.

Macollos por planta	Variedad CIRNO C2008			Variedad Borlaug 100		
	Número de plantas	Espigas por planta	Espigas por categoría %	Número de plantas	Espigas por planta	Espigas por categoría %
0 macollos	12	12	5.56	5	5	1.49
1 macollo	21	24	11.11	14	20	5.95
2 macollos	61	125	57.87	50	104	30.95
3 macollos	15	39	18.05	43	115	34.23
4 macollos	5	16	7.41	25	81	24.11
5 macollos	0	0	0.0	3	11	3.27
Total	114	216	100.0	140	336	100.0

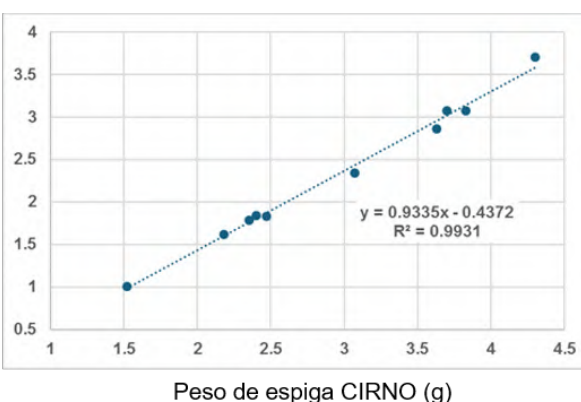
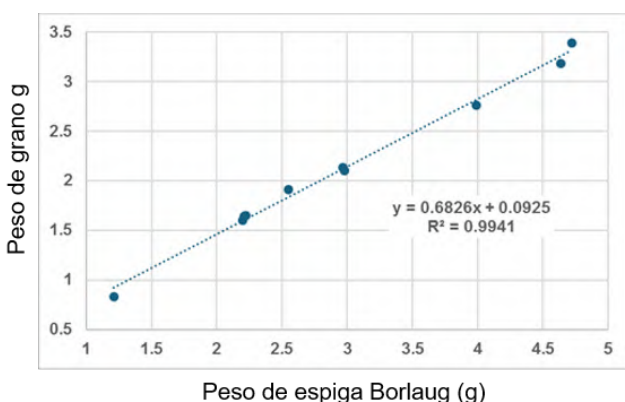


Figura 2. Correlación entre el peso de la espiga y el peso del grano en dos variedades de trigo. INIFAP.

Cuadro 2. Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el peso de la espiga. INIFAP 2025.

Variables	Variedad CIRNO C2008			Variedad Borlaug 100		
	Peso espiga principal g	Peso de macollo g	Peso por planta g	Peso espiga principal g	Peso de macollo g	Peso por planta g
Media	3.19	1.72	4.91	3.52	2.51	6.04
Máximo	3.74	3.01	6.39	4.26	3.68	7.70
Mínimo	2.53	0.14	3.39	2.15	0.81	4.34
Desv. Std.	0.26	0.85	0.87	0.49	0.69	1.02
C.V. %	8.00	49.29	17.68	14.04	27.53	16.96

El peso promedio, máximo y mínimo de grano en la espiga principal, fue mayor en el trigo duro. Lo contrario se observó en los mismos valores estadísticos, en el macollo y en la suma de los pesos de las dos espigas, donde la variedad de trigo harinero superó a la variedad de trigo duro (cuadro 2).

Cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables evaluadas en el peso de grano por espiga. INIFAP 2025.

Variables	Variedad CIRNO C2008			Variedad Borlaug 100		
	Peso espiga principal g	Peso de macollo g	Peso por planta g	Peso espiga principal g	Peso de macollo g	Peso por planta g
Media	2.54	1.22	3.76	2.50	1.81	4.30
Máximo	3.05	2.37	5.09	3.00	2.60	5.44
Mínimo	1.92	0.11	2.65	1.56	0.65	3.15
Desv. Std.	0.24	0.70	0.74	0.34	0.47	0.70
C.V. %	9.37	57.72	19.74	13.52	26.12	16.23

En el trigo harinero, la proporción de grano con relación al peso de la espiga fue de 70.89, 71.94 y 71.33 por ciento para la espiga principal, el macollo y la suma de ambas espigas. En el trigo duro las proporciones correspondientes fueron 79.66, 70.85 y 76.57 por ciento respectivamente. En promedio, el peso por grano es mayor en la variedad CIRNO, lo cual se pudo constatar en el peso de 1000 granos de semilla, donde el peso de CIRNO fue mayor 16.95 por ciento. De acuerdo con los datos de la regresión, en esta evaluación el peso por grano de la variedad CIRNO fue mayor 19.37 por ciento con relación a la variedad Borlaug. Este estudio confirmó que el trigo harinero tiene una mayor capacidad de amacollar que el trigo duro, aún con una mayor densidad de población. El estudio adicional en un segmento de la población donde cada planta tiene dos macollos, nos permitió observar que el trigo harinero tiende a distribuir la biomasa de los granos entre las espigas fértiles, lo cual no fue tan evidente en el trigo duro, donde una mayor proporción de peso del grano se acumula en la espiga principal.

Conclusiones

El trigo harinero de la variedad Borlaug 100 tiene una mayor capacidad de amacollar que el trigo duro de la variedad CIRNO, en las condiciones de clima, suelo y manejo en que se realizó esta evaluación.

Fuente financiadora

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP
Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora. PIEAES, A.C.

Referencias bibliográficas

- Cochachi Bautista, M. J. (2021). Comparativo del rendimiento y sus componentes asociados en líneas uniformes de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) resistentes a roya. Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8118/T010_72451337_T.pdf
- Lizárraga Crispín, I. V. (2015). Rendimiento y caracterización agronómica de líneas de trigo de primavera procedentes del CIMMYT-México. Universidad Nacional del Centro del Perú. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/973/LIZARAGA%20CRISPIN,%20IVAN%20VLADIMIR.pdf>
- Ramírez Cortez, N. C. (2022). Evaluación del comportamiento agronómico y calidad tecnológica de trigos (*T. aestivum* y *T. durum*) en La Ascensión, Aramberri. Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/25422/1/1080328799.pdf>
- Ramos Ortiz, J. y Maluquis Cieza, G. (2024). Evaluación del rendimiento y sus componentes de 26 genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el distrito de Chota, región Cajamarca. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Zapata, C., Silva, P. y Acevedo, E. (2004). Comportamiento de isolíneas de altura en relación con el rendimiento y distribución de asimilados en trigo. *Agricultura Técnica, 64*(2), 148–158. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072004000200003

EVALUACIÓN DE DOSIS DE COMPOSTA DE GALLINAZA Y GALLINAZA CRUDA EN TRIGO ORGÁNICO EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA

Alma Angélica Ortiz-Avalos^{1*}, Juan Manuel Cortés-Jiménez¹, Ivón Alejandra Rosas-Jauregui¹, José Luis Félix-Fuentes¹

¹INIFAP, CE Norman E. Borlaug

*Autor para correspondencia: ortiz.alma@inifap.gob.mx

Palabras clave. Agricultura orgánica, trigo, gallinaza.

Introducción

La agricultura orgánica es una práctica de agricultura sostenible, ya que es un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se basa fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales, sin usar insumos que tengan efectos adversos. La agricultura orgánica combina tradición innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente que compartimos y promueve relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los que participan en ella (IFOAM, 2008). Actualmente la agricultura orgánica se practica en 188 países, en más de 96 millones de hectáreas agrícolas y es practicada por al menos 4.5 millones de agricultores (Willer, 2024). Los países con mayor superficie de producción orgánica en 2022 son Australia, India y Argentina con 53, 4.7 y 4.1 millones de hectáreas, respectivamente, en este contexto México ocupa la posición 22 en superficie dedicada a la producción orgánica con 432,141 hectáreas, la cual practican 54,638 productores. Con respecto al 2021, México fue el quinto país en reportar incremento en superficie orgánica, ya que sumó 194,066 hectáreas. Además de la superficie orgánica certificada, en México, se cuenta con 270,026 hectáreas de recolección silvestre, 5,568 para apicultura, donde se tiene un total de 448,185 colmenas (Willer, 2024). Para el 2023, en México se producen 108 cultivos orgánicos, entre los que destaca por número de hectáreas el café, aguacate, plátano y mango (SIAP, 2023).

La agricultura orgánica, fue practicada por nuestros ancestros y mantenida por los pequeños productores, logrando un equilibrio con su medio a través del uso sostenible de los recursos. Con el pasar de los años, ocurre la explosión demográfica en el mundo, se hace necesario aumentar la producción de alimentos y aumentar la superficie cultivada. Hoy la tendencia es volver hacia un uso sostenible de los recursos y la aplicación de abonos orgánicos se considera como una alternativa para lograrlo (Ormeño y Ovalle, 2007). En el Valle del Yaqui, Sonora, se han realizado una serie de estudios para la producción orgánica de los cultivos de mayor importancia económica de la región, tales como el trigo, cártamo, canola, triticale, garbanzo, girasol, maíz y verdolaga como recolección silvestre (Cortés y Ortiz, 2018). Sin embargo, los estudios se han enfatizado más hacia el cultivo de trigo, ya que es el cultivo con más superficie de siembra en el sur de Sonora, en donde el promedio de los últimos cinco años reportó una superficie de siembra de 330 mil hectáreas, de las cuales en el 72% del área se sembró trigo (SIAP, 2023). En esta región, hasta el año 2000 la tecnología disponible para la producción de trigo sólo se centraba en el control químico de plagas y el uso de fertilizantes químicos. La producción orgánica de trigo es una innovación tecnológica desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias en la Estación Experimental Norman E. Borlaug (CENEB), con el apoyo financiero de la asociación de agricultores. Durante siete años, el trigo se produjo sin productos prohibidos y se logró obtener la primera certificación orgánica en junio de 2017 otorgada por Agricert, dicha certificación tiene validez para Europa, Estados Unidos y Canadá. Los primeros estudios se desarrollaron utilizando enmiendas orgánicas para la fertilización, con la finalidad de reducir o eliminar el uso de fertilizantes químicos, con excelentes resultados (Cortés y Ortiz, 2018), sin embargo, la agricultura orgánica certificada prohíbe el uso de enmiendas orgánicas sin compostear. Derivado de lo anterior, se plantea el siguiente:

Objetivo

Comparar el efecto de tres dosis de composta de gallinaza y tres dosis de gallinaza cruda en el rendimiento de trigo orgánico certificado, en el Valle del Yaqui, Sonora.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el cual se encuentra ubicado en el block 910 del Valle del Yaqui, Sonora, a 109°55'31.07" oeste y 27°22'06.41" norte a una altura de 38 msnm. La evaluación se desarrolló en un terreno que cuenta con certificación orgánica desde junio de 2017. Se preparó el terreno con dos pasos de rastra, nivelación y surcado a 80 centímetros de separación. Se aplicó un riego de presiembra el 8 de noviembre de 2023. Después del riego de presiembra, se aplicaron tres tratamientos de composta de gallinaza y gallinaza cruda 0, 7.5 y 15 t ha⁻¹, la aplicación se realizó al voleo y se incorporó al momento de revestir para la siembra. En el cuadro 1 se describe la composición química de la composta de gallinaza (Compost Plus), en cuanto a la gallinaza cruda, el laboratorio de suelos y nutrición vegetal del CENEB-INIFAP reportó un contenido de nitrógeno y fósforo total en la muestra de gallinaza de 2.25 y 1.85% respectivamente. Se estableció la variedad de trigo comercial Noroeste C2021 el 29 de noviembre de 2023, con una densidad de semilla de 65 kg ha⁻¹, se aplicaron cuatro riegos de auxilio en composta de gallinaza y tres riegos de auxilio en los tratamientos de gallinaza cruda. En el manejo fitosanitario del cultivo se llevó a cabo una aplicación contra pulgón, una cultivada con tractor y dos deshierbes manuales. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de ocho surcos de 115 metros de largo y 80 centímetros de separación y la parcela útil de dos surcos de tres metros de largo con una separación entre surcos de 80 centímetros. La cosecha se realizó de manera manual con hoz, las muestras recolectadas se desgranaron en trilladora estacionaria tipo Pullman. Se evaluó el efecto de 0, 7.5 y 10 t ha⁻¹ de composta de gallinaza y gallinaza cruda en el rendimiento de grano de trigo al 12% de humedad.

Cuadro 1. Composición mínima garantizada de elementos mayores, elementos menores, hongos y bacterias contenidos en el producto orgánico Compost Plus.

Garantía de composición	Contenido
Nitrógeno %	2-3
Fósforo %	2-3
Potasio %	2-3
Azufre %	0.5-1.5
Calcio %	6-8
Magnesio %	1-1.6
Fierro %	0.4-1
Zinc ppm	400-700
Cobre ppm	60-90
Manganeso ppm	450-800
Boro ppm	40-100
Materia orgánica %	40-45
Carbono orgánico %	21-28



Figura 1. Aspecto de trigo variedad Noroeste C2021 a los 112 días después de siembra, fertilizado con dosis variable de composta de gallinaza (izquierda) y dosis variable de gallinaza cruda (derecha).

Resultados y Discusión

El análisis estadístico de resultados, reportó diferencias significativas entre la dosis de 0 y 15 t ha⁻¹ de composta de gallinaza, en gallinaza cruda no se reportan diferencias estadísticas (cuadro 2) El valor promedio de rendimiento de grano según dosis de composta de gallinaza y dosis de gallinaza cruda empleada se reportan en el cuadro 3.

Cuadro 2. Análisis de varianza para la variable, rendimiento de grano de trigo con tres dosis de composta de gallinaza y gallinaza cruda. CENEB-INIFAP. Ciclo O-I 2023/2024.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio (CM)	Valor de F del CM	Probabilidad
Composta de Gallinaza					
Repetición	3	0.36	0.120	1.38	0.3355
Tratamiento	2	1.10	0.549	6.32	0.0334
Total	11	1.98			
CV 4.40%					
Gallinaza cruda					
Repetición	3	3.80	1.267	3.42	0.0933
Tratamiento	2	1.54	0.768	2.07	0.2068
Total	11	7.56			
CV 8.88%					

El rendimiento de trigo aumentó a mayor dosis utilizada; la diferencia entre 0 y 7.5 t ha⁻¹ fue de 437 y 300 t ha⁻¹ al comparar 7.5 y 15 t ha⁻¹. En la gallinaza cruda se observó el mismo comportamiento presentado por la composta, a mayor dosis del mejorador el rendimiento de trigo aumentó; dicho aumento fue de 309 t ha⁻¹ entre las dosis de 0 a 7.5 t ha⁻¹ y de 466 t ha⁻¹ entre las dosis de 7.5 a 15 t ha⁻¹ (cuadro 3). Los resultados fueron muy similares en ambos mejoradores, es importante mencionar que el contenido de nitrógeno total en la muestra de gallinaza fue de 2.25% y el de composta entre 2-3%, lo que indicó que fue muy similar la concentración de nitrógeno de ambos mejoradores, a lo que se atribuyó la similitud en los resultados.

Cuadro 3. Aplicación de composta de gallinaza, gallinaza cruda y el rendimiento de grano de trigo al 12% de humedad. CENEB-INIFAP. Ciclo O-I 2023/2024.

Dosis t ha ⁻¹	Rendimiento de trigo al 12 % humedad t ha ⁻¹	
	Composta de gallinaza	Gallinaza cruda
0	6.318 a	6.462 a
7.5	6.755 ab	6.771 a
15.0	7.055 b	7.327 a
DMS (0.05) = 0.510		

En la época de la revolución verde, se logró el aumento de la producción de cultivos, el éxito obtenido tuvo efectos adversos en lo social y lo económico, y sobre el medio ambiente y la salud humana (Mirafuentes y Salazar, 2022). Referente al medio ambiente, la fertilización excesiva provocó en el suelo: salinidad, acumulación de metales pesados, eutrofización del agua y acumulación de nitratos; en el aire: contaminación atmosférica al liberarse gases que contienen nitrógeno y azufre, ocasionando con esto gases de efecto de invernadero (Serpil, 2012), que contribuyen en gran medida al calentamiento global y al cambio climático (Wang *et al.*, 2018). En base a lo anterior, existe la necesidad de una práctica agrícola alternativa para conservar nuestro medio ambiente y al mismo tiempo sostener los recursos naturales (Sheoran *et al.*, 2019). En el sur de Sonora, la utilidad de los estiércoles como mejorador de suelo y fertilizante orgánico es muy conocida por los agricultores, los cuales adoptaron rápidamente esta

tecnología, al grado de aprovechar la totalidad del recurso disponible, tanto en forma directa desde las granjas o establos, como en forma de composta con registro OMRI y COFEPRIS.

Conclusiones

Para efecto de esta evaluación, se concluyó que a mayor dosis de composta de gallinaza y gallinaza cruda fue mayor el rendimiento de trigo. Se recomienda al agricultor realizar el balance costo-beneficio y utilizar aquella fuente de fertilizante que resulte más rentable para los fines que al agricultor convengan.

Referencias bibliográficas

- Cortés, J.J.M. y Ortiz, A.AA. (2018). Agricultura orgánica: resultados de investigación y transferencia de tecnología en el sur de Sonora. Libro Técnico No. 8. Centro de Investigación Regional del Noroeste-CENEB-INIFAP. Diciembre de 2018. Cd. Obregón, Sonora.180 p.
- Mirafuentes, de la R.C. y Salazar, S.M.N. (2022). La Revolución Verde y la soberanía alimentaria como contrapropuesta. Veredas. Revista de pensamiento sociológico. (42):104-131 Recuperado de <https://veredasojs.xoc.uam.mx/index.php/veredas/article/view/660/618>
- Serpil, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment, APCBEE Procedia, 1(1):287-292. <https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.03.047>.
- Sheoran, H., Kakar, R., Kumar, N, and Sheoran, S. (2019). Impact of organic and conventional farming practices on soil quality: A global review. Applied Ecology and Environmental Research. 17. 951-968. DOI:10.15666/aeer/1701_951968.
- Willer, H., Schlatter, B. and Trávníček, J. (Eds.) (2024). The worl organic agricultura. FiBL, IFOAM – Organics Internacional. Recuperado de [organic-world.net](https://www.organic-world.net) - 2024 edition of "The World of Organic Agriculture"



MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ CRIOLLO MEDIANTE BIOFORTIFICACIÓN CON SELENIO

Amelio Eli Morales-Morales^{1*}, David Hernández-Fuentes¹, César Márquez-Quiroz¹, Sayani Teresa López-Espinosa¹

¹División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

*Autor para correspondencia: aemm1403@gmail.com

Palabras clave. Mazorca, producción, selenio.

Introducción

El maíz (*Zea mays*), el tercer cereal más importante del mundo, se cultiva en una amplia variedad de suelos y condiciones climáticas y desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y la economía de muchos países. En México, centro de origen y domesticación del maíz, ocupa un lugar importante en la cultura, la historia y la gastronomía (Ibarrola-Rivas *et al.*, 2020). además, en 2022, la producción alcanzó los 26,62 millones de toneladas en 2022, lo que representa el 2,28% de la producción mundial de maíz.

El selenio (Se), un oligoelemento esencial para la salud humana, pero no se considera esencial para las plantas, sin embargo, el uso del selenio mediante prácticas agronómicas específicas puede ayudar a mejorar las condiciones productivas de los cultivos. La aplicación de selenio en la producción ha demostrado ser una estrategia útil no solo para mejorar el contenido nutricional del grano, sino también para aumentar su rendimiento bajo ciertas condiciones ambientales. Estudios recientes indican que el selenio puede mejorar la tolerancia del maíz al estrés térmico y la sequía, condiciones que afectan negativamente el desarrollo y rendimiento del cultivo. Por ejemplo, la aplicación foliar de selenio a una concentración de 20 mg L⁻¹ incrementó el rendimiento de grano hasta en un 69.2% al mejorar características como el número de granos por mazorca y la longitud de la espiga (Omairi y Al-Hilfi, 2021). Asimismo, niveles adecuados de fertilización con selenio (150–225 g ha⁻¹) han demostrado aumentar la biomasa, la calidad del grano y la resistencia al acame en condiciones de secano (Wang *et al.*, 2022). Por tanto, el selenio no solo actúa como un micronutriente esencial, sino también como un potenciador del rendimiento agronómico del maíz, especialmente bajo condiciones adversas.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de selenio en diferentes concentraciones sobre el rendimiento agronómico del maíz criollo, con el fin de determinar su influencia en parámetros productivos bajo condiciones de cultivo de temporal.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en el área de producción de la División Académica de Ciencias Agrícolas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. El sitio de estudio está geolocalizado a 17° 47' N, 92° 57' O, y a una altitud de 29 m.

Se utilizó semilla de maíz criollo de la raza "Mejen" del estado de Tabasco. El experimento se realizó mediante un diseño de bloques completos al azar. La siembra se realizó el 4 de julio de 2023. Para lograr una germinación uniforme, las semillas se sumergieron en agua durante una hora y luego se sembraron en surcos de 20 m de largo, a una distancia de 0.30 m entre plantas y 0.80 m entre surcos. Se utilizó suelo franco arcilloso, con una capacidad de retención de agua de 300 mL kg⁻¹ y un punto de marchitamiento permanente de 18.60 mL kg⁻¹. Las características químicas del suelo fueron las siguientes: pH = 5.36, conductividad eléctrica (CE) = 181 µS/cm y materia orgánica = 5.11%.

Para la aplicación de selenio, se utilizó selenato de sodio (Na₂SeO₄) de grado reactivo (≥ 98.0% de pureza). El experimento incluyó cinco tratamientos con diferentes concentraciones de selenio: 0 µM L⁻¹ (testigo), 25 µM L⁻¹, 50 µM L⁻¹, 75 µM L⁻¹ y 100 µM L⁻¹. La aplicación del selenio se realizó vía foliar en tres momentos del ciclo de cultivo: a los 45, 60 y 75 días después de la siembra (dds). Las soluciones fueron preparadas en agua destilada y aplicadas con un rociador manual de presión constante, asegurando una cobertura uniforme del follaje hasta el punto de goteo, evitando escurrimientos al suelo para minimizar interferencias por absorción radicular. Durante las aplicaciones se cuidó que las condiciones ambientales fueran favorables (temperatura moderada, baja radiación solar y sin presencia de viento fuerte), con el fin de asegurar la eficacia del tratamiento y evitar pérdidas por evaporación o deriva.

Durante el ciclo del cultivo se evaluaron diversas variables agronómicas, morfológicas y fenológicas con el objetivo de determinar el efecto del selenio en el crecimiento y rendimiento del maíz. Entre las variables medidas se incluyeron: la altura de planta, la longitud de la raíz y la altura de inserción de la mazorca, asimismo, se cuantificó el número de hojas por planta, junto con la longitud y el ancho de la hoja, días a floración masculina y días a floración femenina. Además, se evaluó el número de mazorcas por planta, la longitud de la mazorca, el número de hileras por mazorca, y el número de granos por hilera, las cuales permitieron estimar el rendimiento potencial. También se registró el peso de grano y rendimiento total.

Análisis de datos

Se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para analizar la varianza y comparar las medias de las variables a un nivel de probabilidad $\leq 0,05$. Además, se evaluaron las posibles correlaciones entre las variables mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r) mediante una prueba t. Estos análisis se realizaron utilizando Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc., USA).

Resultados y Discusión

Los resultados muestran que la aplicación de selenato de sodio tuvo un efecto variable sobre el crecimiento. A dosis de 25 y 75 $\mu\text{M L}^{-1}$ se observó un incremento en la longitud de raíz, número de hojas y longitud de hoja, mientras que la altura de planta y altura de mazorca se mantuvieron sin diferencias significativas entre tratamientos, con excepción de la dosis de 100 μM , que mostró valores inferiores (cuadro 1). Así mismo, el tratamiento con 100 $\mu\text{M L}^{-1}$ redujo significativamente la altura de planta, longitud de raíz y altura de mazorca. Estos resultados fueron similares a los reportados por Naseem *et al.* (2017), reportan que concentraciones elevadas de selenio inhiben el crecimiento vegetal por acumulación excesiva del elemento, interfiriendo con la síntesis de clorofila y la división celular. Lo que indica que a concentraciones elevadas el selenio puede inducir efectos tóxicos, posiblemente por generación de estrés oxidativo y disminución de la actividad fotosintética, como lo sugieren Gupta y Gupta, (2017). Asimismo, se observa una reducción en los días a floración femenina y masculina con el aumento de la concentración de Se, especialmente con 100 μM , lo cual podría atribuirse a un efecto acelerador en el desarrollo fenológico, posiblemente como mecanismo adaptativo al estrés.

Cuadro 1. Parámetros de crecimiento de maíz biofortificado con selenio.

Tratamiento ($\mu\text{M L}^{-1}$ Na_2SeO_3)	Longitud tallo	Longitud raíz	Altura mazorca	Número de hojas	Longitud hoja	Ancho de la hoja	Días a FF	Días a FM
0 (testigo)	229.60 ab	20.65 b	123.00 a	10.70 b	47.77 cd	4.88 c	68.30 a	74.40 a
25	231.30 ab	24.66 a	111.90 ab	11.90 a	53.02 b	5.40 ab	63.30 ab	70.40 a
50	209.20 ab	26.64 a	115.00 ab	11.70 a	45.14 d	5.11 bc	61.20 c	69.80 b
75	236.90 a	20.13 b	117.50 ab	11.60 a	51.38 bc	5.43 ab	65.70 ab	74.30 a
100	204.00 b	19.01 b	108.60 b	11.20 a	57.61 a	5.70 a	56.00 d	63.20 c

FF= floración femenina. FM= floración masculina; Letras diferentes dentro de la misma columna indican una diferencia significativa entre tratamientos al nivel $p < 0.05$ con la prueba de Duncan, $n = 10$.

Para el rendimiento, la dosis de 75 $\mu\text{M L}^{-1}$ de Se resultó ser la más efectiva, logrando el mayor rendimiento (274.11 g planta⁻¹), longitud de mazorca, número de hileras y granos por hilera (cuadro 2). Esta respuesta podría explicarse por una mejora en el metabolismo y la actividad antioxidante en concentraciones moderadas de Se, que favorecen la formación de estructuras reproductivas y el llenado de grano. En este sentido, Hawrylak-Nowak *et al.* (2015) mencionan que, a dosis moderadas, el selenio puede actuar como antioxidante, mejorando el crecimiento y rendimiento mediante la regulación del estrés oxidativo y la expresión de genes relacionados con el desarrollo. Por el contrario, el tratamiento con 100 μM redujo el rendimiento, posiblemente debido a efectos tóxicos acumulativos que afectan negativamente el llenado de grano y el desarrollo de estructuras reproductivas (Naseem *et al.*, 2021).

El análisis de correlación (figura 1) evidencia que variables como longitud de mazorca, número de hileras y granos por hilera están positivamente correlacionadas con el rendimiento, lo que confirma que el rendimiento está fuertemente influenciado por el desarrollo de la mazorca y la capacidad de llenado de grano.

Cuadro 2. Parámetros de rendimiento de maíz biofortificado con selenio.

Tratamiento ($\mu\text{M L}^{-1}$ Na_2SeO_3)	Número de mazorca	Longitud mazorca	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso grano	Rendimiento (g planta ⁻¹)
0	1.10 a	24.22 c	11.60 b	41.70 c	0.36 ab	171.42 c
25	1.10 a	23.62 c	12.20 ab	49.00 b	0.41 a	242.52 ab
50	1.30 a	25.83 b	12.90 a	54.80 a	0.35 b	243.58 ab
75	1.50 a	27.84 a	12.80 a	56.00 a	0.38 ab	274.11 a
100	1.30 a	24.16 c	12.00 b	46.00 b	0.40 ab	220.56 b

La correlación negativa de variables como días a floración con el rendimiento sugiere que una floración más temprana puede estar asociada con un mejor aprovechamiento del ciclo fenológico bajo condiciones óptimas de Se.

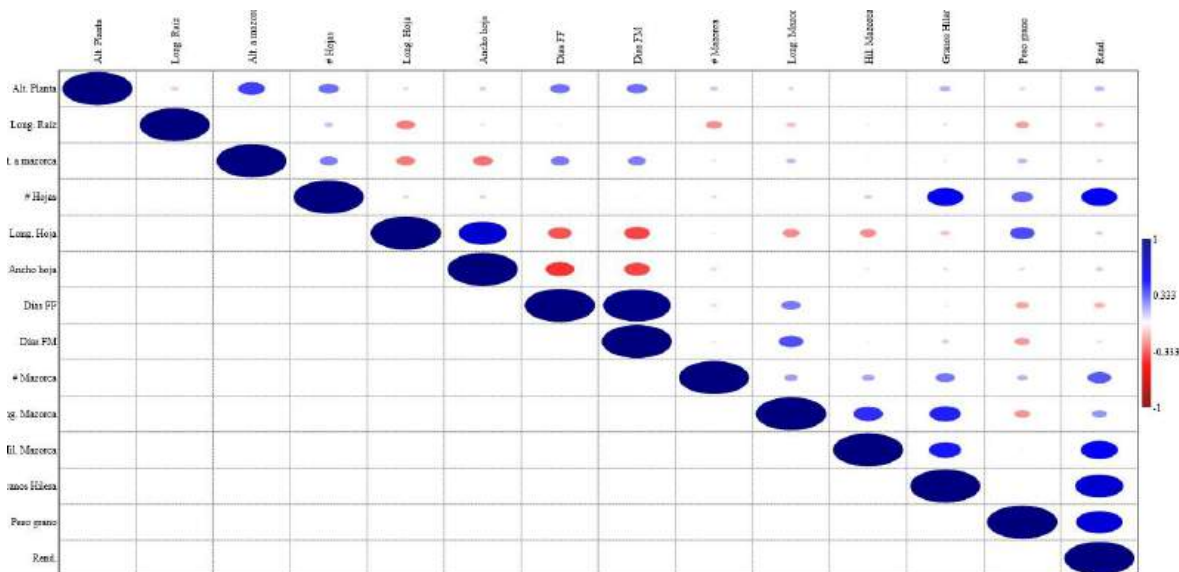


Figura 2. Análisis de correlación entre variables de crecimiento y producción. El mayor tamaño y el color azul del círculo indican una correlación positiva, mientras que los círculos rojos indican correlaciones negativas entre las variables.

Conclusiones

La biofortificación con selenato de sodio en maíz criollo tiene a dosis bajas y moderadas ($25\text{--}75 \mu\text{M L}^{-1}$), estimula el crecimiento y mejora significativamente el rendimiento, con mayor longitud de mazorca y número de granos, mientras que a dosis altas ($100 \mu\text{M L}^{-1}$), reduce el crecimiento y el rendimiento, probablemente por toxicidad inducida por el exceso de selenio. Estos resultados respaldan el potencial del Se como herramienta de biofortificación agronómica cuando se aplica en concentraciones controladas, contribuyendo tanto al rendimiento como al enriquecimiento nutricional del cultivo.

Referencias bibliográficas

- Ibarrola-Rivas MJ, Castillo G, & González J. (2020). Social, economic and production aspects of maize systems in Mexico. *Investigaciones geográficas* 102: e60009. <https://doi.org/10.14350/rig.60009>.
- Gupta M, & Gupta S. (2017). An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in plant science* 7: 2074. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02074>
- Hawrylak-Nowak B, Matraszek R, & Pogorzelec M. (2015). The dual effects of two inorganic selenium

forms on the growth, selected physiological parameters and macronutrients accumulation in cucumber plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 37: 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1788-9>.

Naseem M, Anwar-ul-Haq M, Wang X, Farooq N, Awais M, Sattar H, & El-Esawi MA. (2021). Influence of Selenium on Growth, Physiology, and Antioxidant Responses in Maize Varies in a Dose-Dependent Manner. *Journal of Food Quality*, 2021(1): 6642018. <https://doi.org/10.1155/2021/6642018>

Omairi A, & Al-Hilfi I. (2021). Effect of Selenium in Reducing Heat Stress in Spring Maize and its Reflects on Grain Yield. *Muthanna Journal for Agricultural Sciences* 8: 2. <https://doi.org/10.52113/mjas04/8.3/38d>

Wang L, Gao F, Zhang L, Zhao L, Deng Y, Guo H, Qin L, & Wang C. (2022). Effects of basal selenium fertilizer application on agronomic traits, yield, quality, and se content of dryland maize. *Plants* 11: 3099. <https://doi.org/10.3390/plants11223099>



Índice de autores

Autores	Pág
Abel Quevedo-Nolasco	2
Abigail Ríos-Flores	383
Adolfo Antenor Exebio-García	2
Adolfo López-Peréz	193, 452
Adrián Hernández-Livera	378
Adrián Raymundo Quero-Carrillo	315, 319
Adriana Gen-Jimenez	530
Agustín Gallegos-Rodríguez	514
Alan Alvarez-Holguin	309
Alba Rocio Ochoa-Meza	364
Alberta San Juan -Martínez	234
Alberto Borbon-Gracias	59
Alberto E Becerril- Román	66
Aldo Rafael Martínez-Sifuentes	25, 522
Alejandro García-Huante	490
Alejandro García-Ramírez	76
Alejandro Pérez-Rosales	222
Alejandro Téllez-Jurado	21
Alicia Melgoza-Castillo	309
Alma Angélica Ortiz-Avalos	562, 566
Alma Aurelia Ramos-García	400
Alma Delia Baez-Gonzalez	309
Alma Leticia Salas-Gómez	322
Alma Liz Vargas-de la Mora	452, 495
Álvaro Can-Chulim	559
Amelia López-Herrera	490
Amelio Eli Morales-Morales	570
América Denise Luna-López	176
Andrea Barajas-Montiel	430
Andrea Beciez-Ramírez	176
Andrea Marysenka Díaz-Marin	383
Andrés Adrián Urías-Salazar	76
Andrés López-Ovando	206
Andrés Mandujano-Bueno	7, 156
Ángel Ríos-Utrera	180, 185
Antonia Macedo-Cruz	2
Antonio Martínez-Ruiz	301
Antonio Villalobos-González	56

Aracely Mena-Echevarría	151, 329
Arleth Abigail Reyna-Ayala	354
Armando Gómez-Guerrero	475
Artemisa Barbara Abril Flores-de Villa	443
Arturo González-Orozco	338
Aurelio Báez-Pérez	164, 168
Baldomero H. Zárate-Nicolás	96, 104
Bárbara Camacho-Santana	465
Bayron Alexander Ruiz-Blandon	514
Beatriz Quiroz-González	96, 104
Benjamín Castillo-Morales	555
Bernardo Carranza-Hilario	274, 277
Bernardo Villar-Sánchez	206
Bertha Sofía Larque-Saavedra	438
Betsy Yareli Martínez-Salazar	293
Biaani Beeu Matínez-Valencia	120, 293, 297
Blanca Estela Santiago-Mejía	189, 193, 452
Blanca Moreno-Gómez	202
Brenda García-Cordova	84
Brenda Zulema Guerrero-Aguilar	410
Brian Adolfo Reyes-Cerritos	164
Cándido Mendoza-Pérez	301
Carlos Alberto Martínez-Márquez	420
Carlos Alberto Pérez-Cabrera	70
Carlos Alexis Urbina-Gaza	305
Carlos Fernando Gómez-Merino	490
Carlos Granados-Echegoyen	104
Carlos Iván Cruz-Cárdenas	243, 395, 468
Carlos Miguel Ramos-Cruz	151, 329
Carlos Ramírez-Ayala	301
Carlos Ramírez-Herrera	475
Carlos Roman Castillo-Martínez	472
Carlos Trejo	66
Carmen Zavaleta-Córdova	285, 358
Carolina Isabel Basto-Pool	226, 325, 375
Cassandra E. Vélez-Karmooch	543
Catarina Loredó-Osti	214
Cesar Alejandro Espinoza-Ahumada	322
César del Ángel Hernández-Galeno	354
Cesar Leobardo Aguirre-Mancilla	168
César Márquez-Quiroz	570

César Ortiz-Torres	475
Cinthia Valentina Soberanes Gutiérrez	351
Clara Ivette Rincón-Molina	160, 342, 530
Claudia Berenice Olazarán-Santibáñez	33
Claudia M. Melgoza-Villagómez	29
Claudia Pérez-Mendoza	338, 424
Claudia Tiscareño-Villa	73
Cleopatra Andrews-Cavanagh	383
Cristo Omar Puente Valenzuela	141, 517
Daniel Damián-López	210
Daniel Téllez-Bautista	485
Daniel Torres-Ríos	146
Daniela Gómez-Espinoza	465
Daniela Herrera-Castro	524
Daniela Pichardo-Torres	415
Dante Sumano-López	499, 509
David Estrada-Salinas	84
David Hernández-Fuentes	570
David Jaén- Contreras	66
David Trujillo-García	66
Demetrio Salvador Fernández-Reynoso	2, 193
Denise Moran-Giron	312
Diana Valentina Zapata-Casián	383
Dolores Briones-Reyes	198, 552
Ebandro Uscanga-Mortera	66
Edgar Adrian Olivares-Arreola	164, 168
Edgar Couttolenc-Brenis	334, 405
Edgar Enrique Sosa-Rubio	285, 358
Edgar Jesús Delgado-Núñez	274, 277
Edmar Meléndez-Jaramillo	33, 113
Eduardo Chimal-Sánchez	176
Eduardo Figueroa-Rodríguez	164
Eduardo Osorio-Hernández	113
Edwin Javier Barrios-Gómez	219, 222
Edwin Yoshimar Chávez-Pascual	80
Efraín Flores-Juárez	198
Efraín Neri-Ramírez	33, 305
Efraín Velasco-Bautista	472
Efrén Hernández-Alvarez	514
Eleodoro Hernández-Meneses	219
Elia Cruz-Crespo	559

Elias Asuncion-Cruz	21
Elías Hernández-Castro	354
Elías Hernández-Cruz	133
Eliel Martínez-Cruz	59
Eliud Hernández-Castillo	547
Elizabeth Herrera-Parra	226
Elizabeth Zavala-Martínez	485
Eloy Canales-Sosa	53
Emely Arisbeth Ramírez-Bustamante	53
Enrique Buendía-Rodríguez	552
Enrique González-Aguilar	535
Enrique González-Pérez	219, 258
Erica Muñoz-Reyes	447
Erick Fabián Sarmiento-Megchum	530
Erickson Basave-Villalobos	172
Erika Muñoz-Reyes	438
Erika Nava-Reyna	101, 172, 368, 410
Ernesto Castañeda-Hidalgo	80
Ernesto Preciado-Ortiz	338
Erwin San Juan-Martínez	70
Esmeralda Judith Cruz-Gutiérrez	395, 468
Esteban Salvador Osuna-Ceja	101
Estela Flores-Gómez	348
Eva Aurora Bautista Calderón	25, 141, 517
Fabiola Olvera-Rincón	499, 509
Faustino García-Pérez	222
Felipe Hernández-Hernández	383
Felipe Santamaría-Basulto	325, 375
Fernanda Valdez-Vivar	348
Fernando Arellano-Martín	285, 358
Fernando Barrios	234
Fernando Edgar Martínez-Silva	274, 277
Filiberto Anzures-Olvera	274, 277
FJ Morales-Flores	253
Flor Elena Ortiz-Chairez	17, 189
Florencia García-Alonso	234
Francisca O. Plascencia-Escalante	475
Francisco Alexander Rincón-Molina	342, 530
Francisco Fabián Calvillo-Aguilar	243, 395, 468
Francisco Guadalupe Bojórquez-Corral	364
Francisco J. Ugalde-Acosta	427

Francisco Paúl Gámez-Vázquez	156
Franklin Efraín Fernández-Diego	378
Gabino García-de los Santos	378
Gabriel Gutiérrez- Granados	543
Gabriela Chávez-Villalba	59
Gabriela Sandoval Cancino	243
Gabriela Vázquez-Ramírez	202
Gerardo Colín-García	2, 193, 452, 495
Gerardo Delgado Ramírez	25, 141, 517
Germán Fernando Gutiérrez-Hernández	348, 371
Gilberto Esquivel-Esquivel	285, 358
Griselda Chávez-Aguilar	137
Griselda Tomé-Hernández	129
Guillermo González Cervantes	141, 517
Guillermo Jesuita Pérez-Marroquín	2
Guillermo López-Guillen	116, 120, 293
Guillermo Orozco-de Rosas	400
Gustavo Omar Díaz-Zorrilla	80
Héctor Eduardo Villaseñor-Mir	59
Heriberto Méndez-Cortes	151, 329
Hermes Pérez Hernández	56, 386
Hilario Becerril-Hernández	504
Hilario Macías-Rodríguez	368
Hugo Cesar Bautista-Domínguez	84
Hugo Ernesto Flores-López	133, 535
Ignacio Gonzalez-Gutierrez	33
Irene Castillo-Chaires	146
Isaac Meneses-Márquez	427
Isabella Galante	383
Isidro Fernández-González	263
Ismaela Guzmán-Olea	289
Israel Casas-Flores	90
Israel Dionicio-y de Jesús	96, 104
Israel Rojas-Martínez	229, 238, 258, 266, 270, 371
Ivón Alejandra Rosas-Jauregui	566
J. Jesús García-Zavala	400
Jacques Ranger	141
Jaime Canul-Ku	219, 222
Jaime López-Martínez	206
Jaime Rangel-Quintos	180, 185, 552
Jair Vladimir Lovera-Rivas	485

Jared Joel Jaimes-Pérez	540
Javier Castillo-Cabrera	96
Javier Ireta-Moreno	535
Jerónimo Sepúlveda-Vázquez	281, 461
Jessica Camacho-Camacho	84
Jessica de Jesús Sosa-Quintero	108
Jesús Francisco Martínez-Blas	70
Jesús Manuel Ochoa-Rivero	309
Joaquín Alberto Rincón-Ramírez	504
Joel Pineda-Pineda	378
Jonás Alan Luna-Fletes	559
Jonathan Alfredo Fernandez-Mendiola	415
Jorge Alonso Alcalá-Jáuregui	73
Jorge Antonio Valdivia-Anistro	146, 176, 543
Jorge Eduardo Vieyra-Durán	485
Jorge Iván Alvarado-Padilla	59
José Alberto Urrieta-Velázquez	354, 368
José Ángel García-Sandoval	325
José Ángel Marroquín-Morales	59, 137
José Angel Sigala-Rodríguez	172
José Antonio Arias-Durón	137
José Antonio Hernández-Moreno	420
José Denis Osuna-Amador	29
José Eduardo Ponce-Gómez	395
José Filomeno Conrado-Parraguirre	430
José Francisco Díaz-Nájera	354
José Luis Aguirre-Noyola	133
José Luis Arellano-Vázquez	238, 266, 270, 348, 371, 424
José Luis Díaz-Núñez .	312
José Luis Félix-Fuentes	566
José Luis González Barrios	141, 517
José Luis Jolalpa-Barrera	552
José Luis Solís-Bonilla	293, 297, 410
José Luis Valenzuela-Lagarda	354
José Miguel Prieto-Rivero	309
José Navarro-Antonio	96, 104
José Pimentel-López	101
Josué Delgado-Balbuena	90
Juan Antonio Chamú-Baranda	53, 210
Juan Antonio Tecpa-Díaz	229
Juan Carlos Raya-Pérez	168

Juan Carlos Rodríguez-Ortiz	73
Juan Diego Santiago-Ríos	540
Juan Elías Sabino-Lopez	289
Juan Estrada-Ávalos	25
Juan Francisco Buenrostro-Rodríguez	156
Juan Gabriel Ramírez-Pimentel	168
Juan José Almaraz- Suárez	434
Juan José García-Rodríguez	156
Juan José Ramírez-Ramírez	7, 12
Juan Manuel Cortés-Jiménez	562, 566
Juan Manuel Palma-Palma	468
Juan Manuel Pichardo-González	243, 395, 468
Juan Martínez-Medina	151
Juan Samuel Guadalupe Jesús Alcalá-Rico	137
Juana Isidro-Cortes	258
Judith A. Sánchez-Ledesma	172
Julio Cesar Chacón-Hernández	305
Julio César Díaz-Solís	297
Julio César García Urías	364
Julio Cesar Ríos-Saucedo	281, 461
Julio Huerta-Espino	59
Karina Juliette Gallegos-Tovar	338
Kate D. Eguía-Cruz	348
Kenzy Iveth Peña Carrillo	151, 329
Keven Velázquez-De León	297
Laura Jiménez-Bautista	62
Laura Paloma González-Maldonado	485
Laura Rosa Margarita Sánchez-Castillo	33, 113
Leandro Schwertner-Charão	76
Leobardo Iracheta-Donjuan	297
Leodegario Osorio-Alcalá	524
Leonardo Castro-Suriano	383
Leonardo Hernández-Aragón	56
Leonor Miranda Jiménez	315, 319
Lessly Gabriela López-Velázquez	70
Leticia Tavitas-Fuentes	56
Libia Iris Trejo-Téllez	490
Lidia Velasco-Velasco	210, 540
Lilia Salas-Pérez	443
Lisset Cabrera-Martínez	383
Lizbet Fernández-Cruz	472

Lorena Casanova-Pérez	234
Lorena Cortés-Espinoza	438
Lorena Jacqueline Gómez-Godínez	133
Lorenzo Armando Aceves-Navarro	504
Lucina Ruiz-Pérez	62
Luis Alberto Manzano-Gómez	160, 342, 530
Luis Alberto Villarreal-Manzo	129
Luis Alfonso Aguilar Pérez	180, 185
Luis Ángel González-Espíndola	368
Luis Antonio Flores-Hernández	293, 297, 312
Luis Eduardo García-Mayoral	361
Luis Eduardo Tamayo-Ruiz	76
M Loreda-García	253
Ma. Cristina Irma Pérez-Pérez	465
Ma. del Rosario Tovar-Gómez	338, 424
Ma. Eugenia Cisneros-López	17, 480
Ma. Lorena Cassis-Nosthas	338
Ma. Magdalena Crosby-Galván	338
Ma. Magdalena Sánchez-Astello	43, 48
Ma. Teresa de Jesús Segura-Martínez	113
Madaí Sánchez-Galindo	84, 193, 452
Magali Ruiz-Rivas	133
Manuel Carrillo-Cárdenas	38
Manuel Grajales-Solís	116, 120, 293
Manuel Jesús Cach-Pérez	457
Manuel Jesús Castellanos-Vázquez	452, 495
Manuel Silva-Valenzuela	415
Marco A. Otero-Sánchez	66
Marco Antonio Otero-Sánchez	312
Marco Antonio Toral-Juárez	334, 405
Marco Aurelio Aragón-Magadán	243
Marco Polo Carballo-Sánchez	434
Marcos Casiano-Domínguez	214
Margarita Díaz-Valasis	438
María de los Ángeles Acevedo-Cortés	427
María del Pilar Herrera-Mendoza	113
María del Rosario Jacobo-Salcedo	368
María Fernanda Flores-Bracamontes	562
María Guadalupe Pérez-Reynoso	395, 468
María Guzmán-Martínez	198
María Janet Fuentes-Castillo	246

María Magdalena Ayala-Hernández	176
María Teresa Maldonado-Sada	33
Mariana Espinosa-Rodríguez	289
Maricela Arteaga-Mejía	146
Mariela Hada Fuentes-Ponce	301
Mario Humberto Royo-Márquez	309
Mario Rocandio-Rodríguez	305
Marivel Domínguez-Domínguez	457
Martha Hernández-Rodríguez	378, 400
Martha Patricia Jerez-Salas	80
Martín Aquino-Ramírez	281, 420, 461, 555
Martín Espinosa-Ramírez	17, 189, 480
Martín Filiberto García-Mendoza	348
Martín Quintana-Camargo	243, 395, 468
Martín Solís-Martínez	53, 210
Mary Carmen Pacheco-Esteva	96, 104
Marynor Elena Ortega-Ramírez	457
Mauricio Jesús Romero-Méndez	73, 214
Maurilio Mendoza-Mexicano	84
Mayra Isela Merlos-Brito	53
Mercedes Aurelia Jiménez-Velázquez	246
Miguel Ángel Martínez-Gamiño	101
Miguel Ángel Valdez-Hernandez	480
Miguel Ángel Vallejo- Reyna	472
Miguel Ángel Vital-Jácome	21
ML Guerrero-González	253
Moisés Alonso-Báez	116, 120
Moisés Ramírez-Meraz	322
Mónica Beatriz López-Hernández	56
Mónica Guadalupe Lozano-Contreras	249
Morfa Hilda Carrasco-Contreras	297
Natividad Delfina Herrera-Castro	354
Néstor Humberto López-de la Cruz	124
Noel Orlando Gómez-Montiel	354
Norma Ávila-Alistac	210
Nuria Aide López-Hernández	90, 517, 522
Odilón Gayosso-Barragán	137
Olivia Nabor-Romero	415
Omar Romero-Arenas	430
Oscar Arath Grageda-Cabrera	168
Oscar Francisco Mijangos-Ricárdez	62

Oscar Germán Martínez-Rodríguez	559
Oscar M. Antúnez-Ocampo	274, 277
Oscar Martín Antúnez-Ocampo	289, 293, 297, 410
Oscar Raúl Mancilla-Villa	559
P Delgado-Sánchez	253
Pablo Martínez-Zurimendi	457
Pablo Noé Núñez-Aragón	70, 312
Pablo Ulises Hernández-Lara	499, 509
Paola Carolina Gómez-Carreño	246
Paola Elizabeth Díaz-Flores	73
Patricia Cruz-Bautista	234
Patsy Jackeline Almazan-Castañeda	540
Pedro Cadena-Íñiguez	124
Perpetua García-Martínez	301
Petra Andrade-Hoyos	312, 354
Rafael Ariza-Flores	124
Rafael Delgado-Martínez	113
Rafael Iván Granados-Argüello	361
Ramiro Puc-Kauil	461
Ramón Aguilar-García	12
Ramón Trucíos-Caciano	25, 522
Raúl Ávalos-Castro	29
Raúl Plascencia-Jiménez	315, 319
Rausel Camas-Pereyra	124
Reiner Rincón-Rosales	160, 342, 530
René Hortelano-Santa Rosa	59
Reyna Ivonne Torres-Acosta	322
Reyna Patricia Hipólito-Piedras	151, 329
Reyna Roxana Guillen-Enríquez	443
Ricardo Escamilla-Rodríguez	202
Ricardo Irving Pérez-López	430
Ricardo Lobato-Ortiz	400
Ricardo Martínez-Martínez	559
Ricardo Rivera-Vazquez	338, 465
Rigoberto Zetina-Lezama	180, 185
Robertony Camas-Gómez	124
Rocío Ramírez-Vargas	21
Rodolfo Montes-Rentería	364
Rodolfo Vilchis-Ramos	160
Rogelio Carrillo-González	210
Rogelio Fernández-Sosa	229, 238, 258, 266, 270, 371

Rogelio Miranda-Marini	84
Rolando Misael Tlaxcala-Méndez	281, 420, 461, 55
Romeo Alejandro Sánchez-Zavalegui	358
Romeo Alejandro-Sánchez	285
Rosa Gabriela Coria-Mora	391
Rosa Mireya López-Ambrocio	434
Rosalba Lira-Ortiz	391
Rosalio López-Morgado	334, 361, 405
Rubén Darío Góngora-Pérez	325
Rubén Darío Guevara-Gutiérrez .	559
Rubén de la Piedra-Constantino	160
Rubén San Miguel-Chávez	434
Ruth Salome García-Fernando	238
Sabina I. Lara-Cabrera	400
Salvador Carranza-González	315, 319
Salvador Lozano-Trejo	80
Salvador Villalobos-Reyes	258
Samuel Córdova-Sánchez	499, 504, 509
Sandra Eloísa Rangel-Estrada	219, 222
Sandra Flor Cosmes-Guzmán	62
Sayani Teresa López-Espinosa	570
Sebastiao Pinheiro	96
Secundino Torres-Lamas	358, 457
Sergio Alberto Curti-Díaz	180, 185
Sergio Beltrán-López	214
Sergio Gómez-Rosales	164, 168
Sergio Salgado-Velázquez	499, 504, 509
Simón Fonteyne	160
Simón Leyva-Vela	427
Sol de Mayo A. Mejenes-López	555
Stephanie Solís-Zebadúa	530
Susana Elizabeth Ramírez-Sánchez	535
Teódulo Ramírez-Calvario	395
Uri O. García-Vázquez	543
Vania Rebeca Olmos-Lau	383
Venancio Cuevas-Reyes	552
Vicenta Constante-García	172
Victor Manuel Coria-Avalos	391
Víctor Manuel Rodríguez-Moreno	90, 522
Victor Manuel Toribio-Solis	305
Víctor Montero-Tavera	156

Víctor Velázquez-Castañeda	400
Vidal Alejandro Jiménez-García	84
Walter López-Báez	124, 495
Wiktor Halecki	522
Wilson Idelfonso Avilés-Baeza	249
Ximena Guadalupe Garza-Martínez	214
Ximena Jazmín Montiel-Tetzoyotl	420
Yadira Aguilar-Moya	108
Yamileth Robles-González	263
Yolanda del Rocio Moreno-Ramírez	305
Yolanda González-García	29



4to Congreso INTERAMERICANO DE AGUA SUELO Y AGROBIODIVERSIDAD

Cd. de México, México | 11-13 de agosto 2025



Gobierno de
México

Agricultura
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

Medio Ambiente
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

inifap
Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria



**Colegio de
Postgraduados**



CIMMYT



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura

Conferencias magistrales | Seminarios | Conversatorios | Trabajos libres

11-13 agosto, 2025 | Ciudad de México, México

<https://congresosuelo.inifap.gob.mx>