



Congreso  
**INTERAMERICANO  
DE AGUA SUELO Y  
AGROBIODIVERSIDAD**

# Memoria 2023

## COMPILADORES:

Ramón Trucíos Caciao, Juan Estrada Ávalos y Minerva Ramírez Carrillo

## ISSN

En trámite



**GOBIERNO DE  
MÉXICO**

**AGRICULTURA**  
SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

**inifap**  
Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias

**CP** Colegio de  
Postgraduados

**CIMMYT**  
International Maize and Wheat Improvement Center

**FAO** Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

**IICA**



# 2°. Congreso Interamericano de Agua Suelo y Agrobiodiversidad

# MEMORIA

COMPILADORES

**Ramón Trucíos Cacicano**

**Juan Estrada Ávalos**

**Minerva Ramírez Carrillo**

CIUDAD OBREGÓN, SONORA, 11 AL 13 DE OCTUBRE DE 2023

Congreso Interamericano de Agua Suelo y Agrobiodiversidad. Año 2. Núm. 1. Octubre de 2023. Es una publicación anual editada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Progreso No. 5, Col. Barrio Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, CP. 04010, Tel. 5538718700, <https://www.gob.mx/inifap>, Editor Responsable: Ramón Trucíos Caciano. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2023-100617124900-102. ISSN: En trámite. Responsable de la última actualización de este número: Juan Estrada Ávalos. Av. Progreso No. 5, Col. Barrio Santa Catarina, Alcaldía Coyoacán, CP. 04010, Tel. 5538718700, <https://congresosuelo.inifap.gob.mx/Sitio/Memoria.aspx>

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 tiene por objeto promover el intercambio de experiencias, desarrollos tecnológicos, la vinculación y la integración entre actores clave de las cadenas agroalimentarias, para contribuir al bienestar de la población y desafiar los retos del cambio climático en la seguridad alimentaria.

Para alcanzar este objetivo, el Congreso integra Conferencias Magistrales relacionadas con la temática general del evento: seminarios sobre tópicos actuales en agua, suelo y agrobiodiversidad de las Américas y agricultura del futuro; conversatorios con la participación de productores, innovadores, investigadores y tomadores de decisiones, así como la publicación de conocimientos y tecnologías a través de trabajos *in extenso* en la presente Memoria.

Sobre los tópicos que se abordan en la temática del Agua, destaca la huella hídrica, reconversión y calidad del agua, así como tecnificación de sistemas de riego; en la temática del Suelo se presentarán tecnologías para el monitoreo, prácticas de recuperación y diversidad microbiológica; en la temática de Agrobiodiversidad, se incluirá la seguridad alimentaria, transformación agroecológica y los recursos genéticos; y finalmente en temas Transversales, destacan los tópicos de agricultura y ganadería digital, mitigación del cambio climático y mercado de bonos de carbono, entre muchos otros.

El esfuerzo conjunto y la participación de especialistas en cada uno de estos tópicos, aporta conocimiento científico que sin duda coadyuvarán en la seguridad agroalimentaria en un contexto de Cambio Climático y conservación de nuestros recursos naturales de nuestro Continente.

**Dr. Luis Ángel Rodríguez del Bosque**  
Encargado del Despacho de los Asuntos de  
la Dirección General del INIFAP



# COMITÉ ORGANIZADOR NACIONAL

**Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula**

Secretario de Agricultura y Desarrollo Rural

**Dr. Luis Ángel Rodríguez del Bosque**

Encargado del Despacho de los Asuntos  
Correspondientes a la Dirección General del Instituto  
Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y  
Pecuarias

**Mtra. Lina Pohl Alfaro (FAO)**

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

**Dr. Bram Govaerts (CIMMYT)**

Director General del Centro Internacional de  
Mejoramiento de Maíz y Trigo

**Dr. Jaime Diego Montenegro Ernst (IICA)**

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

**Dr. Juan Antonio Villanueva Jiménez**

Director General del Colegio de  
Postgraduados

**Dra. Sol Ortiz García**

Directora General de Políticas, Prospección  
y Cambio Climático. Secretaria de  
Agricultura y Desarrollo Rural

**Dr. Alfredo Zamarripa Colmenero**

Coordinador de Investigación, Innovación y  
Vinculación del Instituto Nacional de  
Investigaciones Forestales, Agrícolas y  
Pecuarias

## **COORDINACIÓN DE LAS CONFERENCIAS MAGISTRALES, SEMINARIOS Y CONVERSATORIOS**

Dr. José Antonio Cueto Wong  
Dr. Juan Estrada Ávalos  
Dr. Víctor M. Rodríguez Moreno  
Dr. Ramón Trucíos Caciano  
Dr. Martín Espinosa Ramírez  
Dra. Aixchel Maya Martínez  
Dr. Arturo Pérez Vázquez  
Dra. Claudia Hidalgo Moreno  
M.A.P. Patricia Medina Álvarez  
M.G.P. Isabel de Jesús Urbán Hernández

## **COORDINACIÓN DE LAS EXPOSICIONES DE STANDS**

M.A. Marco Antonio Carreón Zuñiga  
M.A. Laura Nubia León Armenta

## **COORDINACIÓN DE PROMOCIÓN, DIFUSIÓN Y PRENSA**

Mtra. Sindy Laura Campero Vega  
Lic. Lucy Liliana Palacios Castellanos  
Lic. Nataly López López  
Lic. Mariana Narendra García Colín

## **PAGINA WEB Y PLATAFORMA VIRTUAL**

LSC. José Manuel Rivera Perusquia  
Lic. Laura Adriana Cordero Navarrete  
Ing. Carlos Daniel Castillo Mendoza  
C. Roberto Antonio Trejo Valle  
C. Humberto Velasco Pavia

## **OPERACIÓN Y LOGÍSTICA**

M.A. Marco Antonio Carreón Zuñiga

M.A. Laura Nubia León Armenta

M.A.P. Patricia Medina Álvarez

M.G.P. Isabel de Jesús Urbán Hernández

Ing. Ana Karen Álvarez Martínez



# COMITÉ CIENTÍFICO

## COORDINADORES DE REVISORES CIENTÍFICOS

Dr. José Antonio Cueto Wong  
Dr. Juan Estrada Ávalos  
Dr. Víctor M. Rodríguez Moreno  
Dr. Ramón Trucíos Caciano  
Dr. Martín Espinosa Ramírez  
Dra. Aixchel Maya Martínez  
Dr. Arturo Pérez Vázquez  
Dra. Claudia Hidalgo Moreno

## REVISORES CIENTÍFICOS

Aixchel Maya Martínez	Fernando Arellano Martin	Mario Marín Silva Serna
Aldo Rafael Martínez Sifuentes	Filiberto Herrera Cedano	Marisela Cristina Zamora Martínez
Alejandra Ramírez Martínez	Gabriela Ramírez Ojeda	Martín Alejandro Bolaños González
Alejandra Soto Estrada	Galdy Hernández Zárate	Martín Aquino Ramírez
Arturo García Saldaña	Guillermo Medina García	Micaela De la O Olán
Arturo Pérez Vázquez	Gustavo López Romero	Miguel Ángel Martínez Gamiño
Arturo Reyes González	Isamel Quiroz Guerrero	Nadia Carolina Garcia Álvarez
Arturo Saldaña García	Jazmín Lavin Castañeda	Nuria Aide López Hernández
Azucena Vargas Valero	Joel Velasco Velasco	Octavio Ruiz Rosado
Bertha Sofia Larqué Saavedra	Jorge A. Zegbe Domínguez	Ofelia Andrea Valdés Rodríguez
Biaani Beeu Martínez Valencia	Jorge D. Etchevers Barra	Ramón Gutiérrez Luna
Blanca Estela Santiago Mejía	Jorge Martínez Herrera	Ramón Trucíos Caciano
Blanca Isabel Sánchez Toledano	Jose Alfonso Aguirre Gómez	Rocío Toledo Aguilar
Catalino Jorge López Collado	José Israel Casas Flores	Rodolfo Velazquez Valle
Claudia Hidalgo Moreno	José López Collado	Rosa Isela Castillo Zamudio
Doris Arianna Leyva Trinidad	José Luis González Barrios	Rubén Medina Hernández
Edgar Couttolenc Brenis	Juan Patishtan Pérez	Salvador Montes Hernandez
Eliseo García Pérez	Julián Delgadillo Martínez	Salvador Partida Sedas
Elizabeth Arguello García	Luis Alan Galindo Segura	Víctor M. Rodríguez Moreno
Erica Muñiz Reyes	María Alma Rangel Fajardo	Yameli Guadalupe Aguilar Duarte
Ernesto González Gaona	María Antonia Pérez Olvera	Yolai Noda Leyva
Eusebio Ortega Jiménez	María de Lourdes Fernández Peña	
Eva Ávila Casillas	María Hilda Pérez Barraza	

## ÍNDICE DE TEMAS

TEMA	PÁGINAS
AGUA	1 – 78
SUELO	79 – 197
AGROBIODIVERSIDAD	198 – 300
TRANSVERSALES	301 – 366

# ÍNDICE DE TRABAJOS *in extenso*

<b>AGUA</b> .....	1
LA IMPORTANCIA DE REUSAR AGUAS RESIDUALES DE LA ACUICULTURA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA .....	2
COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE COSTOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	5
COMPARACIÓN DE CONSUMO DE AGUA PURIFICADA (EMBOTELLADA) EN DOS COMUNIDADES DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.....	10
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA UNA CUENCA EN EL NORTE DE MÉXICO.....	15
EFFECTO DEL AGUA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE <i>Scirpus americanus</i> .....	18
ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL MAÍZ FORRAJERO BAJO RIEGO POR GOTEO MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DEL SUELO .....	23
RESPUESTA DEL RENDIMIENTO DE GRANO DEL GIRASOL BAJO DIFERENTE RÉGIMEN HÍDRICO DEL SUELO .....	27
HIGUERA ( <i>Ficus carica</i> L.) CULTIVO EMERGENTE PARA LAS ZONAS ÁRIDAS DEL NORTE DE MEXICO.....	32
IDENTIFICACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO MEDIANTE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA.....	37
EVALUACIÓN DE NUEVAS VARIEDADES DE TRIGO DURO ( <i>Triticum turgidum</i> ssp. Durum.) EN EL VALLE DE MEXICALI.....	41
EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE TRIGO HARINERO ( <i>Triticum aestivum</i> ) EN EL VALLE DE MEXICALI .....	44
EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN EL CULTIVO AEROPÓNICO DE LECHUGA.....	47
DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES DEL RÍO NEXAPA EN LA ZONA DE SAN MARTÍN ALCHICHICA LOCALIZADA EN IZÚCAR DE MATAMOROS, PUEBLA.....	50
ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE TRIGO EN SONORA USANDO DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL RIEGO Y DATOS CLIMÁTICOS DE REANÁLISIS .....	55
MONITOREO DEL CULTIVO DEL TRIGO BASADO EN SENSORES REMOTOS.....	60
EFFECTO DEL RIEGO INYECTADO SOBRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA POR EL VIÑEDO EN VALLE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA .....	64
SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE GARBANZO ( <i>Cicer arietinum</i> L.) MEDIANTE ÍNDICES DE TOLERANCIA A ESTRÉS HÍDRICO .....	68
BALANCE HIDROLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL VALLE DE ETLA, OAXACA.....	72
ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE TRIGO BAJO DOS CALENDARIOS DE RIEGO .....	76



<b>SUELO</b> .....	79
<i>Lupinus campestris</i> Y <i>Lupinus elegans</i> COMO ABONO VERDE, UNA ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS .....	80
RENDIMIENTO DE LA SOYA BAJO EL RÉGIMEN HÍDRICO DE TEMPORAL EN TRES SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO .....	83
IMPACTO DEL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA POBLACION NATURAL DE MICORRIZAS EN ÁREA CITRÍCOLA DE LA HUASTECA, MÉXICO .....	86
PROPIEDADES ANTIMICÓTICAS DE MICROORGANISMOS PROVENIENTES DE LA RIZOSFERA DE <i>Moringa oleifera</i> .....	91
APROVECHAMIENTO DEL MEZQUITE ASOCIADO A CAMBIOS SOCIOAMBIENTALES EN EL ALBERTO, IXMIQUILPAN, HIDALGO .....	95
NIVELES DE SALINIDAD DEL SUELO, UTILIZANDO IMÁGENES DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS, REDES NEURONALES Y ÁRBOLES DE DECISIÓN .....	98
CONTROL BIOLÓGICO DE LA MARCHITEZ DEL CHILE JALAPEÑO POR BACTERIAS DEL GÉNERO <i>Bacillus</i> .....	103
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LA PRIMERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO .....	108
CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LAS MICROCUENCAS PRODUCTORAS DE FRIJOL EN EL MUNICIPIO DE LA TRINITARIA CHIAPAS .....	112
ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICA DE DOS MICROCUENCAS PRODUCTORAS DE MAÍZ DEL MUNICIPIO DE NICOLÁS RUIZ, CHIAPAS .....	117
MANEJO AGRÍCOLA EN <i>Agave angustifolia</i> HAW. BAJO DOS SISTEMAS DE CULTIVO EN ZIMATLÁN, OAXACA .....	122
EFFECTIVIDAD DE UN CONSORCIO MICORRÍCO ARBUSCULAR EN INTERACCIÓN CON FÓSFORO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni EN CONDICIONES DE CIELO ABIERTO .....	126
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE RESIDUOS DE COSECHA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN UN CAMBISOL DE LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS .....	130
ALTERNATIVAS AGROECOLÓGICAS SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DEL FRUTO SECO DE COCOTERO ( <i>Cocos nucifera</i> L.) .....	134
ARREGLO TOPOLÓGICO PARA VARIETADES MEJORADAS DE MAÍZ EN SUELOS MECANIZABLES DEL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO .....	138
DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE CONTROL DE LA TRISTEZA DEL AGUACATERO ( <i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands.) EN TETELA DEL VOLCÁN, MORELOS .....	142
VARIACIÓN EN LA LABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO POR LA RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN BOSQUES TEMPLADOS DEL NORTE DE MÉXICO .....	147
IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES PATÓGENOS FÚNGICOS DEL TRIGO EN EL VALLE DEL YAQUI .....	150
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS CALCÁREOS Y YESÍFEROS CON DIFERENTE EXTRACTANTE – ION SATURANTE .....	155
CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOSÓLIDOS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU POTENCIAL USO AGRONÓMICO .....	160
MANEJO DE RESIDUOS DE COSECHA EN CAMAS ANCHAS EN UN VERTISOL PARA PRODUCCIÓN DE CEREALES .....	163

PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN EL BAJÍO .....	167
EFFECTO DE FERTILIZACIÓN CON COMPOSTA Y BIOL EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE FRIJOL DE TEMPORAL EN EL BAJÍO, MÉXICO .....	170
CUANTIFICACIÓN DE RESERVAS DEL CARBONO EN SUELO DE UN CULTIVO DE MAÍZ Y TRITICALE ABONADOS CON LODOS DE UN BIODIGESTOR .....	174
LEGUMINOSAS COMO ALTERNATIVA PARA EL APORTE DE BIOMASA Y NUTRIENTES EN SUELOS CALCÁREOS DE QUINTANA ROO .....	179
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS DE USO PECUARIO EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA HIDROELÉCTRICA ÁNGEL ALBINO CORZO .....	183
ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN CON IMÁGENES DIGITALES Y SATELITALES EN UNA ZONA FORESTAL.....	187
COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN TIERRAS MARGINALES CON USO AGRÍCOLA Y FORESTAL.....	191
DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE AVENA FORRAJERA EN CANATLÁN, DURANGO .....	194

<b>AGROBIODIVERSIDAD</b> .....	198
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE DE CARBONO PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y BIORREMEDIACIÓN CON MICROALGAS NATIVAS DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN .....	199
CARACTERÍSTICAS ELOTERAS DE VARIEDADES DE MAÍZ DE LA RAZA OLOTILLO COLECTADAS EN EL TRÓPICO DE MÉXICO .....	205
CALIDAD DEL GRANO DE MAICES CULTIVADOS EN CUETZALA DEL PROGRESO, GUERRERO, MÉXICO.....	209
CONTENIDO MINERAL DE SEMILLAS DE AJONJOLÍ CULTIVADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO .....	213
CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE CHILES NATIVOS DE LA REGIÓN MONTAÑA, GUERRERO .....	217
CARACTERIZACIÓN DE FRIJOLES CULTIVADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO.....	220
RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE AJONJOLÍ EN TEMPORAL DEL TRÓPICO SECO .....	225
LA FERIA DEL CHILE EN NOGADA COMO PARTE DE LA DIVERSIDAD BIOCULTURAL EN EL MUNICIPIO DE CALPAN, PUEBLA.....	229
DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CHILE APAXTLECO .....	232
DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN EN LAS CUENCAS APORTADORAS A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PEÑITAS.....	236
IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA IDONEIDAD DE HABITAT DEL CULTIVO DE HIGO ( <i>Ficus carica L.</i> ) EN MEXICO.....	242
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y POBLACIONES DE <i>Rhysomatus nigerrimus</i> (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN LA REGIÓN SOYERA DE CHIAPAS.....	246
ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE RPAS COMERCIAL COMO ALTERNATIVA AL MONITOREO DE SALUD DE LOS CULTIVOS .....	249
PROSPECCIÓN DE HIPERPARÁSITOS ASOCIADOS A CENICILLA POLVOSA ( <i>Oidiopsis sicula Scal.</i> ) EN CULTIVO DE CHILE ( <i>Capsicum annum L.</i> ).....	254
DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE CONTROL DE MOHO GRIS ( <i>Botrytis cinerea Pers.</i> ) EN FRESA. 259	
CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DE ESPECIES DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE 264	
EFFECTO DEL SUSTRATO EN LA SOBREVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE ORQUÍDEAS SILVESTRES ENCONTRADAS EN CAFETALES DEL S.E TEOCELO.....	268
RECONOCIMIENTO PARTICIPATIVO DE LA BIODIVERSIDAD ASOCIADA A SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS CAFETALEROS Y SU POTENCIAL AGROFORESTAL EN RICÓN TONINGO VERACRUZ.....	272
MARCELA F2023: NUEVA VARIEDAD DE TRIGO HARINERO DEL GLUTEN FUERTE PARA EL NOROESTE DE MÉXICO .....	276
CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE FRIJOL EN RELEVO AL CULTIVO MAÍZ EN SIETE LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE MONTECRISTO DE GUERRERO, CHIAPAS.....	279
AGROBIODIVERSIDAD VEGETAL EN DOS ECOSISTEMAS KÁRSTICOS DE LA REGIÓN CALAKMUL, CAMPECHE. MÉXICO .....	283
EVALUACION DE VARIEDADES Y LINEAS DE LINAZA ( <i>Linum usitatissimum</i> ) EN EL SUR DE SONORA .....	289
DESARROLLO DE MATERIALES GENÉTICOS DE SOYA PARA CONDICIONES DE DIAS CORTOS EN EL TRÓPICO DE MÉXICO.....	292
EFFECTO DE LA LONGITUD DE ONDA DEL ESPECTRO VISIBLE EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FRIJOL COMÚN.....	296



<b>TRANSVERSALES</b> .....	301
EFFECTO DE MEZCLAS MINERALES EN LAS PROPIEDADES DE LIXIVIADOS DE COMPOSTA .....	302
HIDROLOGÍA Y EROSIÓN PARA PEQUEÑAS CUENCAS NO INSTRUMENTADAS .....	305
PRONÓSTICO DE PRECIPITACIÓN PARA EL CICLO AGRÍCOLA PRIMAVERA-VERANO 2023 EN CHIAPAS .....	310
EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN DOS EJIDOS DE VILLAFLORES Y UN EJIDO EN JIQUIPILAS MUNICIPIOS DE CHIAPAS, MÉXICO, PARA ESTABLECER UNA LÍNEA BASE Y REALIZAR UNA TRANSICIÓN A LA SUSTENTABILIDAD .....	315
BACTERIAS TOLERANTES AL ESTRÉS ABIÓTICO ASOCIADAS AL CULTIVO DE MAÍZ ( <i>Zea mays</i> ) EN EL VALLE DEL YAQUI, MÉXICO .....	320
RESPUESTA NUTRICIONAL DEL CLON CUBANO CT-169 ( <i>Pennisetum purpureum</i> ) CON ABONOS ORGÁNICOS.....	325
RESPUESTA DE LA ALIMENTACIÓN ESTRATÉGICA CON ENSILAJE DE MAÍZ ( <i>Zea mays</i> ) EN BOVINOS CON DESTETE PRECOZ .....	328
ABORDANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA DEL VALLE DEL YAQUI: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y ACCIONES INNOVADORAS.....	331
EVALUACIÓN DE FECHAS DE SIEMBRA DE SORGO DE RIEGO EN EL NORTE DE TAMAULIPAS	335
ÍNDICE DE VERDOR NORMALIZADO EN MAÍZ Y SU ASOCIACIÓN A LA SUFICIENCIA NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO, MAGNESIO, ZINC, HIERRO Y COBRE .....	340
TELEDETECCIÓN Y MONITOREO REMOTO EN LA PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE BROCOLÍ ( <i>Brassica oleracea</i> var <i>Italica</i> ) EN EL VALLE DE MEXICALI .....	345
EVALUACIÓN REGIONAL Y NACIONAL DE UN PRONÓSTICO HÍBRIDO ESTACIONAL DE LLUVIA SOBRE ZONAS AGRÍCOLAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA.....	349
PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	354
MODELOS PARA PREDECIR LA FENOLOGÍA EN EL CULTIVO DE SORGO EN EL VALLE DEL GUADIANA, DURANGO .....	359
Efectos del incremento de temperatura en la fenología y producción de frijol de temporal en Ojuelos de Jalisco, México .....	363



Agua

## LA IMPORTANCIA DE REUSAR AGUAS RESIDUALES DE LA ACUICULTURA PARA LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA

Aldo Iram Leal-Mendoza<sup>1\*</sup>, Elizabeth García-Gallegos<sup>2</sup>, Nilo Espinosa-Flores<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura en Biología-UATx, <sup>2</sup>Centro de Investigación en Genética y Ambiente-UATx, <sup>3</sup>Productor acuícola, granja Sector Acuícola.

\*Autor para correspondencia: [aldoiram.lealmendoza@uatx.mx](mailto:aldoiram.lealmendoza@uatx.mx)

**Palabras clave.** Agricultura, Uso del agua, Producción acuícola.

### Introducción

Las actividades acuícolas cumplen una función importante en el suministro de alimentos dentro del sector primario. En el estado de Tlaxcala la acuicultura ha ido tomando importancia, la especie que más se cultiva es la tilapia, producción que genera grandes volúmenes de aguas residuales, las cuales son continuas y por lo tanto, se ocasiona un desperdicio innecesario de este recurso, que puede ser menor si se lleva a cabo su reúso para la producción de cultivos, lo que permitiría satisfacer la demanda social dentro del sector agrícola, el cual demanda grandes cantidades de agua, por lo que reusar este tipo de agua beneficiaría en forma directa a la fertilidad del suelo, debido principalmente a sus altas concentraciones de nitrógeno y fósforo, lo que podría sustituir el empleo de fertilizantes inorgánicos y por consiguiente significaría un ahorro económico para el productor (Feng *et al.*, 2016). En México, existen diversos reportes sobre la importancia de utilizar aguas residuales tratadas y no tratadas, pero en particular de las de origen acuícola es escasa la información, por lo que el reúso de las aguas residuales de esta actividad pudiera constituir una alternativa importante para riego agrícola por su contenido de nutrientes, que sin duda favorecería el incremento de las cosechas y un mejoramiento de los suelos.

### Objetivo

Determinar el efecto del reúso del agua residual de la acuicultura sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa*, L.) var. Black Seeded y su contenido mineral.

### Materiales y métodos

En las instalaciones de la granja semi-intensiva denominada "Sector Acuícola", la cual se localiza en las coordenadas geográficas 19°19' 52.89" LN y 98° 21' 56.83" LO a 2 241 m.s.n.m., en el municipio de Ixtacuixtla, Tlaxcala, se produce principalmente tilapia (*Oreochromis spp.*) en tres estanques circulares y un Jagüey, en donde se tiene una siembra en promedio por estanque de 1 500 individuos de 400 g en su etapa de finalización (engorda) en dos ciclos al año. La dieta consiste en alimento comercial con un porcentaje de proteína en su etapa de cría del 50%, grasa 16%, fibra 1.2%, cenizas 11% y 10% de humedad, disminuyendo el porcentaje de proteína en la etapa juvenil y de finalización. Se realiza un análisis químico de la fuente de abastecimiento (agua de pozo) y del agua residual que se descarga al realizar los recambios, lo que depende de la biomasa. Los parámetros determinados son pH a través de un potenciómetro ECO®, alcalinidad, dureza y nitritos se miden con un kit de acuicultura (La Motte® modelo: PLN, USA), amonio y fósforo por un fotómetro HANNA®. En donde se estableció el experimento se determinaron algunos parámetros edáficos de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, tal como pH (relación suelo:agua 1:2 (p/v), conductividad eléctrica (CE) en una suspensión suelo:agua (1:5 p/v), materia orgánica por el método de oxidación en húmedo de Walkley y Balck, N total por el método Kjeldahl, fósforo disponible por el procedimiento de Bray y Kurtz 1 y textura por el hidrómetro de Bouyoucos. El experimento se estableció bajo un diseño completamente aleatorizado, en donde los tratamientos fueron, 1. Fertilización química + agua de pozo, los fertilizantes utilizados fueron urea (46-00-00) y cloruro de potasio (00-00-60), 2. Agua residual del cultivo de la producción de tilapia, 3. Sin fertilización química + agua de pozo, cada tratamiento con 3 repeticiones, lo cuales se colocaron en parcelas de 15 m<sup>2</sup>, la planta de lechuga fue de la var. Black Seeded, se trasplantaron a los 29 días después de la germinación. El rendimiento fue determinado a los 45 días por tratamiento y a 40 plantas de lechuga se les determinó el número de hojas, estas mismas se llevaron a deshidratación bajo condiciones de invernadero y posteriormente a secado en horno a 65 °C por 48 h, al término las hojas se molieron y tamizaron por malla 600 µm para obtener un



tamaño de partícula homogéneo y determinar en 100 g de muestra seca el contenido de Ca, K, P, N total y Na por Alcántar y Sandoval (1999). A los datos de las diferentes variables se les aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wills y después un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) bajo un modelo estadístico lineal de una vía  $Y_{ij} = \mu + T_j + \varepsilon_{ij}$ ; donde,  $Y_{ij}$  = Variable de respuesta,  $\mu$  = media,  $T_j$  = Tratamiento,  $\varepsilon_{ij}$  = error, todo lo anterior a través del programa estadístico Info Stat versión libre 2020.

## Resultados y discusión

Los parámetros del agua de pozo y residual evaluados durante el tiempo del experimento se encontraron dentro de los límites de tolerancia para la producción de tilapia, de acuerdo a los CE-CCA-001/89 (Cuadro 1), lo que indica un manejo adecuado en cuanto a la calidad del agua para la producción de tilapia en esta granja.

**Cuadro 1.** Parámetros de calidad del agua y límites de tolerancia para la producción de tilapia.

Parámetro	Agua de pozo	Agua residual acuícola	Límite de tolerancia <sup>†</sup>
pH	7.0	7.5	7-8
Alcalinidad (mg L <sup>-1</sup> )	240	230	54-200
Dureza (mg L <sup>-1</sup> )	220	240	240
Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	0	0.3	0.4
Nitritos (mg L <sup>-1</sup> )	0.1	0.2	0.1-0.5
Fósforo (mg L <sup>-1</sup> )	0.7	0.3	0.8

<sup>†</sup>CECA=Criterios Ecológicos de Calidad del Agua para la acuicultura CE-CCA-001/89

Respecto al suelo, predomina la partícula arena > 70%, lo que le da al suelo una clase textural franco arenoso, el pH fue de 6.71, neutro; una CE de 0.059 dS m<sup>-1</sup>, que no indica problemas de salinidad, el contenido de materia orgánica es bajo de 1.32%, al igual que el N total de 0.06%, pero en cuanto a la concentración de fósforo el valor de 18.87 mg kg<sup>-1</sup> le da una clasificación de medio, lo anterior con base a lo que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000, por lo con base a estas determinaciones las condiciones edáficas de este suelo indican una baja fertilidad, dada principalmente por el bajo contenido de materia orgánica y N total.

En cuanto a la producción de lechuga en el tratamiento al que se le aplicó fertilizante químico e irrigado con agua de pozo se tuvo un rendimiento de 23.61 ton ha<sup>-1</sup>, seguido del 19.27 ton ha<sup>-1</sup> que se obtuvo solo con la irrigación de aguas residuales de la producción de tilapia, finalmente en el tratamiento sin fertilizante y agua de pozo se presentó un rendimiento de 16.05 ton ha<sup>-1</sup>. Respecto al número de hojas y al contenido de calcio, potasio, fósforo, y N total en las hojas los valores fueron significativos ( $p < 0.05$ ) en las plantas irrigadas con aguas residuales de la producción acuícola (Cuadro 2). Yang y Kim (2019) mencionan que hortalizas de hoja de ciclo corto de producción irrigadas con aguas residuales de la producción acuícola, proporcionan a la planta un contenido importante de vitaminas, fósforo, hierro, calcio, potasio, antioxidantes y aminoácidos, importantes para que lleven a cabo sus funciones metabólicas. García *et al.* (2021), reportan que en un sistema acuapónico se obtiene un mayor rendimiento agronómico de lechuga, así como un incremento en altura, peso fresco y número de hojas, por lo que la producción de peces y hortalizas en conjunto son actividades sustentables que apoyan a la seguridad alimentaria.

**Cuadro 2.** Número de hojas en lechuga y elementos minerales.

Variable	Tratamientos		
	Fertilización química + agua de pozo	Agua residual del cultivo de tilapia	Sin fertilización química + agua de pozo
Número de hojas	22 b*	28 a	23 b
Calcio (mg kg <sup>-1</sup> )	33.67 b	42.67 a	10.33 c
Potasio (mg kg <sup>-1</sup> )	691.67 ab	707.00 a	627.67 b
Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	46.00 b	75.00 a	33.33 c
N total (%)	5.27 b	6.67 a	2.93 c
Sodio (mg kg <sup>-1</sup> )	8.53 a	6.27 b	5.27 b

\*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Por otra parte, Valdivia y Almanza (2016) reportan que el irrigar solo con agua potable el contenido de calcio y fósforo fue de 6, 671 y 45 mg100 g<sup>-1</sup> muestra seca, respectivamente, valor del calcio mayor respecto a lo obtenido en los tratamientos probados y en cuanto a fósforo menor al obtenido en este trabajo. Los efectos nutricionales dependen de la influencia que ejerce cada nutriente en particular sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta; sin embargo, evaluar el efecto de los diferentes nutrientes resulta complejo, debido a que el metabolismo celular es regulado por la totalidad de los nutrientes absorbidos y por la intensidad de la asimilación fotosintética.

### **Conclusiones**

El uso productivo de las aguas residuales de la acuicultura es una alternativa importante para riego agrícola por sus contenidos nutrimentales, lo que favorecería el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos. En el caso del cultivo de lechuga si bien el rendimiento fue menor con respecto a la aplicación de fertilizante químico se obtuvo la mayor concentración de minerales en las hojas, aspecto importante de su calidad que está relacionado con la salud del consumidor.

### **Agradecimientos**

Se hace un extenso agradecimiento al productor de la granja “Sector Acuícola” por las facilidades otorgadas para poder llevar a cabo este trabajo.

### **Referencias bibliográficas**

- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. M. (1999). Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.
- Feng, J., Li, F., Zhou, X., Xu, C., Fang, F. (2016). Nutrient removal ability and economical benefit of a rice-fish co-culture system in aquaculture pond. *Ecological Engineering*, 94, 315-319.
- García Z., M. F., Sandoval R., A., Robledo T., V., Benavides M., A., Robledo O., A., Cabrera de la F., M. (2021). Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 26, 119-130.
- Valdivia Z., H. B., y Almanza V., G. (2016). Evaluation of the effect of macronutrients from human urine as fertilizer in the growth of *Lactuca sativa*. *Revista Boliviana de Química*, 33, 1, 20-26.
- Yang, T. and Kim, H. J. (2019). Nutrient management regime effects of water quality crop growth and nitrogen use efficiency of aquaponics systems. *Science Horticulture* 256: 108619.

## COMPARACIÓN DE DOS MÉTODOS DE COSTOS DE EXTRACCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA

Ma. Magdalena Sánchez-Astello  
Profesor Investigador del Departamento de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo  
[mastello83@hotmail.com](mailto:mastello83@hotmail.com), [msancheza@chapingo.mx](mailto:msancheza@chapingo.mx)

### Introducción

En México, las aguas subterráneas desempeñan un papel de creciente importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechadas de manera versátil, funcionan como presas de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto de la superficie del acuífero. El uso del agua subterránea se debe regular, considerando un lente de sustentabilidad ambiental y en un futuro muy cercano será necesario también tener en mente los límites físicos y económicos al consumo de agua que impone un modelo de utilización de agua de primer uso. El límite económico del agua subterránea se alcanza cuando la profundidad de bombeo (costo de extracción) no es redituable, financieramente hablando. Esto se define en función del tipo de acuífero, los costos de electricidad, la capacidad de bombeo y los precios de los cultivos que se siembran. Adicionalmente, podemos anticipar que este límite económico será variable en función del tamaño del productor y de la región climática (pequeño productor vs. agroindustria), sin dejar de señalar que productores más grandes (con mayor poder económico) podrán pagar pozos más profundos a costa de la sobreexplotación del acuífero, afectando al resto de los usuarios (Pedrozo, 2021). Este trabajo pretende hacer una comparación entre el método de análisis de precios unitarios y el de recuperación de capital para calcular el costo fijo de extracción de agua subterránea, encontrando las ecuaciones de costo total y a partir de esto recomendar una metodología que permita calcularlo en función del número de horas de operación de un pozo.

### Objetivos

Determinar de los costos de extracción de agua subterránea considerando los costos fijos y variables para establecer ecuaciones de costo total utilizando las metodologías de análisis de precios unitarios y recuperación de capital.

### Materiales y métodos

Los datos usados para realizar este trabajo se obtuvieron de la información y resultados de la investigación de Villanueva (2018), quien realizó un trabajo de determinación de costos de agua subterránea en una Sociedad de Producción Rural del Municipio de Villagrán, Guanajuato.

Para obtener el costo de extracción del agua subterránea en la zona de estudio se utilizó la fórmula citada en Sánchez (2012) de:

$$\text{Costo Total} = \text{Costo fijo} + (\text{Costo variable} * y) \quad (1)$$

Donde:  $y$  = número de horas de operación del pozo.

Para la determinación del costo de extracción unitario, se divide el costo total entre el volumen de explotación o el tiempo de operación anual, con la finalidad de obtener un costo por metro cúbico y costo horario de extracción:

$$\text{Costo del agua subterránea} \left( \frac{\$}{m^3} \right) = \frac{\text{Costo Total} (\$)}{\text{Volumen de explotación} (m^3)} \quad (2)$$

$$\text{Costo horario} \left( \frac{\$}{h} \right) = \frac{\text{Costo total} (\$)}{\text{Tiempo de operación anual} (horas)} \quad (3)$$

De acuerdo con la ecuación 1, los métodos que se van a comparar se aplican para determinar los costos fijos, pues el costo variable se calcula de la misma manera en las dos metodologías.

Método de análisis de precios unitarios (APU). Para la metodología de análisis de precios unitarios se utiliza la establecida en el Reglamento de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (RLOPSRM, 2015) para determinar el costo por  $m^3$  de agua. En esta metodología se contempla en los costos fijos la

consideración de los costos de inversión, de depreciación y de mantenimiento de la perforación y equipamiento del pozo.

$$\text{Costos por depreciación } D = \frac{V_m - V_r}{V_e} \quad (4)$$

$$\text{Costo por inversión } I_m = \frac{(V_m + V_r)i}{2Hea} \quad (5)$$

Donde:

D = Costo horario por depreciación de la maquinaria o equipo de construcción.

V<sub>m</sub> = Valor de la máquina o equipo considerado como nuevo, descontando el precio de las llantas y de los equipamientos, accesorios o piezas especiales, en su caso.

V<sub>r</sub> = Valor de rescate de la máquina o equipo, al término de su vida económica.

V<sub>e</sub> = Vida económica de la máquina o equipo estimada en horas efectivas de trabajo.

I<sub>m</sub> = Costo horario por la inversión de la maquinaria o equipo de construcción, considerado como nuevo.

Hea = Número de horas efectivas que la máquina o el equipo trabaja durante el año.

i = Representa la tasa de interés anual expresada en fracción decimal.

$$\text{Costo horario por mantenimiento } M_n = K_o * D \quad (6)$$

Donde:

M<sub>n</sub> = Representa el costo horario por mantenimiento mayor y menor de la maquinaria o equipo de construcción.

K<sub>o</sub> = Representa un coeficiente que considera tanto el mantenimiento mayor como el menor. varía según el tipo de máquina o equipo y las características del trabajo y se fija con base en la experiencia estadística que se tenga.

D = Representa la depreciación de la máquina o equipo.

Método de recuperación de capital (RC). Para esta metodología se utilizará la fórmula de recuperación de capital de un activo en tiempo presente, considerando el valor del dinero en el tiempo y la actualización de su valor de rescate o salvamento en el tiempo 0, esta fórmula establece un monto amortización de la inversión erogada en la perforación del pozo y su equipamiento, la cual puede ser equivalente a los costos fijos.

$$RC = (P - V_s) \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + iV_s \quad (7)$$

Donde:

RC = Recuperación de Capital, P = Valor del activo como nuevo, V<sub>s</sub> = Valor de salvamento, i = Tasa de interés anual y n = No. de años de vida del activo

Costos variables. Los costos variables son iguales a los consumos, estos son los consumos por energía eléctrica, mano de obra, mantenimiento y consumo de aceite y estarán en función del número de horas de operación del pozo.

a) Costo por consumo de energía eléctrica.

$$CE = P_c * y * CPE \quad (8)$$

Donde: CE: Costo de la energía eléctrica en pesos, P<sub>c</sub>: Potencia consumida kw, y = número de horas de operación del pozo y CPE: Cargo por consumo de energía eléctrica \$/kwh.

b) Costo por operación por mano de obra. En este concepto se contempló un operador quien trabaja una hora diaria en la operación del equipo.

c) Costo por mantenimiento del equipo. Son todas las actividades realizadas como: mantenimiento de la subestación eléctrica, maniobra de cuchillas, cambio de fusibles y mantenimiento al tablero, todas ellas realizadas cada 6 meses.

d) Costo por consumo de aceite. Este costo se debe al consumo de aceite necesario para mantener lubricada la flecha que conduce la energía mecánica, para después ser transformada por los impulsores de la bomba en energía hidráulica. El consumo de aceite se tomó constante, la ecuación (6) normalmente es utilizada para conocer la factibilidad de los proyectos que implican estos consumos (FIRA, 1985). Dado que el cálculo anterior es un costo horario, es necesario multiplicarlo por el tiempo de operación anual y el precio del aceite:

$$CA = (0.0004 * HP) * y * Pa \quad (9)$$



Donde: CA = Costo de aceite, HP = Potencia nominal del motor que forma parte del equipo de bombeo, HP, y = Número de horas de operación del pozo y Pa = Precio del aceite, \$/L.

## Resultados y discusión

La información de los pozos se puede observar en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Información básica de los pozos de agua para riego.

Nombre del Pozo	Profundidad	Gasto	Motor	Potencia consumida	Costo de perforación	Costo de equipamiento	Volumen de extracción	Tiempo de operación
	m	lps	HP	Kwh	\$	\$	m <sup>3</sup> año <sup>-1</sup>	h año <sup>-1</sup>
Praderas	127	49	150	74	\$ 536,564	\$ 804,085	258,360	1,465
Zeferino	200	34	300	130	\$ 955,794	\$ 966,437	166,000	1,356
Regino	300	30	150	64	\$ 1,844,340	\$ 746,874	100,000	926
Juan Salinas	120	8	30	14	\$ 387,352	\$ 411,630	120,000	4,167
Manuel Subías	150	12	75	31	\$ 711,960	\$ 454,975	180,000	4,167
Lupe	200	31	150	71	\$ 963,322	\$ 870,736	148,462	1,330
El Chica	250	28	153	108	\$ 1,290,147	\$ 767,596	96,000	952

Fuente: elaboración propia con información de Villanueva (2018).

Costos fijos por la metodología de APU. Para calcular los costos fijos de esta metodología se hacen las siguientes consideraciones: para el costo de depreciación se considera para la perforación una vida económica de 25 años, para el equipamiento una vida de 10 años, el valor de rescate en la perforación es 0 y en equipamiento es el 5% de valor como nuevo. En el costo de la inversión se contempla una tasa de interés igual a la suma de la inflación anual de mayo 2022 (7.62%) más la tasa de los bonos gubernamentales CETES del 30 de junio 2022 (7.56%) dando una tasa anual de 15.18%, se aplica las ecuaciones 4, 5 y 6; ver cuadro 2.

Costos fijos por la metodología de RC. Para esta metodología se utilizan los mismos datos que para el otro método, se toma una vida económica de 25 años para la perforación y de 10 para el equipamiento, la tasa de interés es del 15.18%. Se sustituyen valores en la ecuación 7, esta recuperación de capital es anual, por lo que se divide entre el tiempo de operación para que arroje un valor en horas, ver cuadro 2.

**Cuadro 2.** Costos fijos de los pozos por el método del APU y RC.

Nombre del Pozo	Costo por depreciación		Costo por inversión		Costo por mantenimiento	Recuperación de capital		Costo de mantenimiento
	Perforación	Equipamiento	Perforación	Equipamiento		Perforación	Equipamiento	
	\$ año <sup>-1</sup>	\$ año <sup>-1</sup>	\$ año <sup>-1</sup>	\$ año <sup>-1</sup>		\$ año <sup>-1</sup>	\$ año <sup>-1</sup>	
Praderas	\$21,463	\$76,388	\$40,725	\$57,979	\$4,893	\$48,389	\$114,631	\$67,032
Zeferino	\$38,232	\$91,812	\$72,545	\$69,685	\$6,502	\$86,197	\$137,776	\$96,112
Regino	\$73,774	\$70,953	\$139,985	\$53,853	\$7,236	\$166,329	\$106,475	\$129,561
Juan Salinas	\$15,494	\$39,105	\$29,400	\$29,681	\$2,730	\$34,933	\$58,682	\$39,949
Manuel Subías	\$28,478	\$43,223	\$54,038	\$32,806	\$3,585	\$64,207	\$64,862	\$58,347
Lupe	\$38,533	\$82,720	\$73,116	\$62,784	\$6,063	\$86,876	\$124,133	\$91,703
El Chica	\$51,606	\$72,922	\$97,922	\$55,348	\$6,226	\$116,350	\$109,429	\$102,887

Fuente: elaboración propia.

Costos variables. El número de horas de operación del pozo en un año es la variable y, para el cálculo del costo por energía eléctrica, se tomó en cuenta la tarifa 6 Cargo único (CU), con un costo de \$0.68 por kilowatt-hora de energía consumida (tarifa para el año 2022), sustituyendo en la ecuación 8. En mano de obra, el costo del operador fue considerándolo como ayudante general y su correspondiente salario nominal

de la zona de estudio es \$282 por jornal de 8 horas. Para el costo por consumo de aceite. Se aplica la ecuación 9 y se utiliza un precio de aceite de \$141 por litro. Con la suma de estos tres rubros obtiene el coeficiente de y, ver cuadro 3.

Costos totales. Los costos totales se obtienen sustituyendo los valores en la ecuación 1, para la determinación del costo de extracción unitario, por m<sup>3</sup> se aplica la ecuación 2 y para el costo horario se utiliza la ecuación 3, en el cuadro 3 se muestran estos costos y su ecuación por método. En el cuadro 4 se observan los costos unitarios, por m<sup>3</sup> y por hora.

**Cuadro 3.** Ecuaciones de costo total por método.

Nombre del Pozo	Costos fijos APU	Costos fijos RC	Coefficiente de costos variables	Ecuación de CT con APU	Ecuación de CT con RC
Praderas	\$ 201,447	\$ 230,053	94.03	201,447 + 94.03 y	239,053 + 94.03 y
Zeferino	\$ 278,775	\$ 320,084	140.57	278,775 + 140.57 y	320,084 + 140.57 y
Regino	\$ 345,802	\$ 402,365	87.23	345,802 + 87.23 y	402,365 + 87.23 y
Juan Salinas	\$ 116,409	\$ 133,564	46.46	116,409 + 46.46 y	133,564 + 46.46 y
Manuel Subías	\$ 162,130	\$ 187,415	60.56	162,130 + 60.56 y	187,415 + 60.56 y
Lupe	\$ 263,216	\$ 302,712	91.99	263,216 + 91.99 y	302,712 + 91.99 y
El Chica	\$ 284,024	\$ 328,666	117.32	284,024 + 117.32 y	328,666 + 117.32 y

Fuente: elaboración propia.

Análisis. Al comparar los costos fijos por los dos métodos, se puede observar las siguientes similitudes de las dos metodologías:

- Concordancia de los valores de costos fijos con respecto a los montos de la inversión, mayores montos de inversión mayor costo fijo.
- Consideran el valor del dinero en el tiempo a través de una tasa de interés vigente, en el método de APU a través del costo de inversión y en el otro en la fórmula de recuperación de capital.
- Contemplan la vida económica y valor residual de los activos.
- Pueden determinar el costo por unidad de tiempo, se calculó en un año, pero puede hacerse por mes o por hora.

La diferencia entre ambos métodos sería la facilidad de aplicación de cada uno, es más sencillo y práctico el de RC. En cuanto a los resultados se puede observar que los costos fijos de ambos métodos son muy similares, los costos fijos determinados por el método de RC son más altos en una variación que va del 14 al 16%, en donde se presenta la mayor variación (16%) es en los pozos que tienen una mayor cantidad de inversión, ver cuadro 4.

**Cuadro 4.** Costos totales y unitarios por método de APU y RC.

Nombre del Pozo	Costos totales con método APU	Costos totales con método RC	Costo por m <sup>3</sup>		Costo por hora		Variación de los costos fijos por los 2 métodos
			Método APU	Método RC	Método APU	Método RC	
	\$	\$	\$ m <sup>-3</sup>	\$ m <sup>-3</sup>	\$ h <sup>-1</sup>	\$ h <sup>-1</sup>	
Praderas	\$ 339,201	\$ 367,807	1.31	1.42	231.54	251.06	14%
Zeferino	\$ 469,388	\$ 510,697	2.83	3.08	346.16	376.62	15%
Regino	\$ 426,577	\$ 483,140	4.27	4.83	460.67	521.75	16%
Juan Salinas	\$ 310,017	\$ 327,171	2.58	2.73	74.40	78.51	15%
Manuel Subías	\$ 414,483	\$ 439,769	2.30	2.44	99.47	105.54	16%
Lupe	\$ 385,563	\$ 425,058	2.60	2.86	289.90	319.59	15%
El Chica	\$ 395,711	\$ 440,354	4.12	4.59	415.66	462.56	16%

Fuente: elaboración propia.

Ambos métodos pueden aplicarse sin problema para la determinación de costos totales de los pozos y al llegar a la ecuación como esta en función del número de horas de operación del pozo, y este a su vez está determinado por el tipo de cultivo o cultivos que se van a regar, por lo cual, al encontrar esta ecuación puede servir como un indicador de costo dentro de los costos de producción de los cultivos.

### **Conclusiones**

Las ecuaciones de costo total se pueden obtener por los dos métodos y diferenciar el costo fijo del costo variable en la operación de un pozo de agua para riego agrícola.

Los costos fijos son mayores en el método de Recuperación de Capital, esta variación está en función de monto de la inversión de la perforación y el equipamiento.

Las similitudes de los dos métodos son: hay una concordancia de los valores de costos fijos con respecto a los montos de la inversión, mayores montos de inversión mayor costo fijo, consideran el valor del dinero en el tiempo a través de una tasa de interés vigente y contemplan la vida económica y el valor residual de los activos.

Las dos metodologías pueden usarse y sus valores son acertados solo el método de Recuperación de Capital es más sencillo de utilizar, pueden determinar el costo por unidad de tiempo, se calculó en un año, pero puede hacerse por mes o por hora.

La ecuación de costo total de agua para riego agrícola puede utilizarse en la determinación de los costos de producción de un cultivo para conocer los montos acertados del consumo de agua.

### **Agradecimientos**

Este trabajo se realiza de acuerdo con el financiamiento de los proyectos de investigación de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo en su convocatoria 2022.

### **Referencias bibliográficas**

FIRA. (1985). Instructivos técnicos de apoyo para la formulación de proyectos de financiamiento y asistencia técnica. México D.F.

Pedrozo A., A. (2021). Uso sustentable del agua subterránea: llave de acceso a la conservación de ríos. PERSPECTIVAS IMTA 26, DOI: doi.org/10.24850/b-imta-perspectivas-2021-26.

Sánchez A., M. M. (2012). Manual de análisis de precios unitarios. Editado por la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

RLOPSRM. (2015). Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma. Publicado en el Diario Oficial de la Federación. México.

Villanueva M., Z. (2018). Costo del agua subterránea en la SPR de RI Villagrán produce. Tesis profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. México.

## COMPARACIÓN DE CONSUMO DE AGUA PURIFICADA (EMBOTELLADA) EN DOS COMUNIDADES DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

Ma. Magdalena Sánchez-Astello  
Profesor Investigador del Departamento de Irrigación Universidad Autónoma Chapingo  
[mastello83@hotmail.com](mailto:mastello83@hotmail.com), [msancheza@chapingo.mx](mailto:msancheza@chapingo.mx)

### Introducción

En México, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), en relación con el derecho humano al agua, establece el cumplimiento de cinco características esenciales: suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible. El artículo 4° reconoce que toda persona tiene derecho al acceso, la disposición y el saneamiento de agua para consumo personal y doméstico. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios.

Por lo anterior, el agua potable que llega a las casas debe de cumplir con lo que marca la CPEUM y que tendrá siempre las características de calidad que la definen como tal, Pero, las fuentes de abastecimiento del agua pueden contaminarse así como los sistemas de distribución, de manera que los usuarios utilizan esta agua para todas sus actividades domésticas, excepto para beber, cocinar y preparar alimentos, para este fin se utiliza generalmente agua embotellada; debido principalmente a que no se tiene la certeza de que el agua potable que consume esté libre de contaminantes, de tal manera que puedan utilizarla para todos los usos. Esta incertidumbre ha llevado a un desarrollo exponencial de mercado de agua embotellada. Por lo que, el agua embotellada es adquirida como sustituto del agua potable para beber, cocinar y preparar alimentos (López, 2018).

Con base a la información del Módulo de Hogares y Medio Ambiente del Instituto Nacional de Estadística y Geografía revela que el porcentaje de hogares que beben agua proveniente de la compra de agua de garrafón o botella aumentó poco más de 5 puntos porcentuales en los últimos años, al pasar de 70.8% en 2015 a 76.3% en 2017. Contra lo que pudiera pensarse el consumo de agua embotellada no es sólo un fenómeno urbano, sino que también ha ido ganando presencia en el ámbito rural, alcanzando en 2017 a casi la mitad de los hogares (Senado de la República, 2021).

Este trabajo compara los consumos y costos del agua embotellada en las localidades de San Diego y Unidad Emiliano Zapata del municipio de Texcoco, Estado de México para identificar similitudes y variaciones, de acuerdo con los aspectos socioeconómicos reportado por los consumidores en las encuestas realizadas. Además, se obtiene la erogación promedio que asignan a este consumo y cuanto representa en comparación con el ingreso de las familias encuestadas. Además, se realizaron análisis de calidad del agua potable para revisar si cumple con las normas sanitarias del país y compararlos con la percepción del usuario.

### Objetivo

Comparar el consumos y costo del agua embotellada en las localidades de San Diego y Unidad Emiliano Zapata del municipio de Texcoco, Estado de México e identificar las similitudes y variaciones de acuerdo al nivel de escolaridad e ingreso de los habitantes.

### Materiales y métodos

Este trabajo compara algunos de los resultados arrojados por los trabajos realizados de López (2018) en su tesis profesional en la localidad Emiliano Zapata (Unidad ISSSTE) y de Bravo (2019) en su tesis profesional en la comunidad de San Diego, ambas en el Municipio de Texcoco, Estado de México, en cuanto al consumo de agua embotellada en estas comunidades.

Lugares de estudio. Las localidades de Emiliano Zapata -Unidad habitacional ISSSTE- y la de San Diego, están ubicadas al Oriente del Estado de México, en el municipio Texcoco, ver figura 1. En la localidad de Emiliano Zapata se tienen 920 viviendas con agua entubada, INEGI (2010), la población de esta comunidad consta de 3,481 personas y un total de 1,070 viviendas. La comunidad de San Diego cuenta con 5,676

habitantes, del total de viviendas habitadas 1,381, se tienen 1,242 con agua entubada y 1,280 con drenaje (INEGI, 2010).

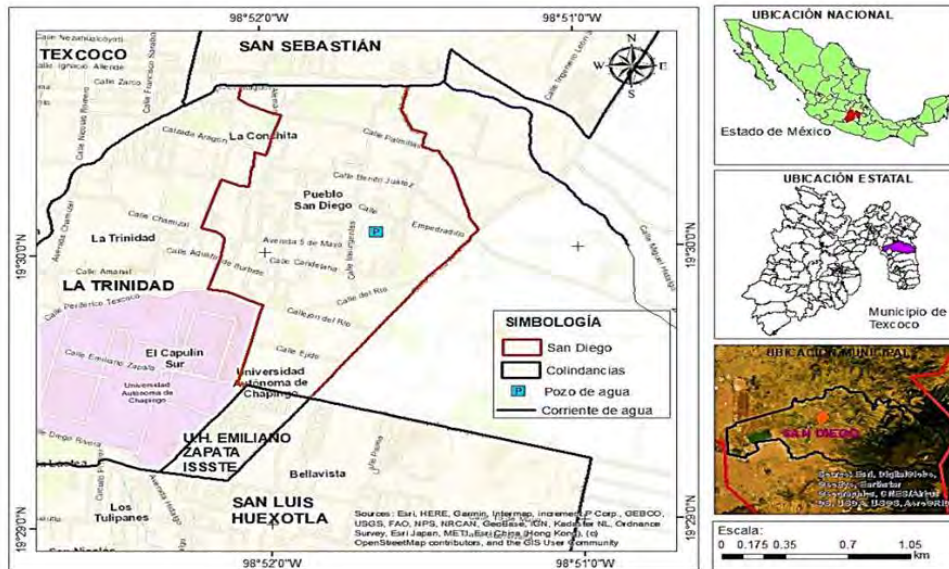


Figura 1. Ubicación de las localidades de estudio. Fuente: Bravo (2018).

Diseño de la encuesta. Se diseñó una encuesta a partir de una pregunta filtro: ¿Consumen agua embotellada?, a partir de la respuesta, la encuesta se divide en tres secciones: sección 1: son las preguntas correspondientes a la respuesta positiva, se solicita información sobre la los consumidores y sobre la cantidad, precio y marcas que consumen, sección 2: está enfocada a las personas que respondan negativamente, sobre sus razones de consumir agua potable proveniente del sistema de abastecimiento municipal o local y la sección 3: es referente al servicio de agua potable.

Para el cálculo del tamaño de la muestra se utilizó la siguiente fórmula (Pérez, 2005):

$$n = \frac{\lambda_{\alpha}^2 NPQ}{e^2(N - 1) + \lambda_{\alpha}^2 PQ} \quad (1)$$

Dónde:  $\lambda_{\alpha}$  = es el valor crítico de la normal unitaria al nivel alfa, en este caso 1.96, N = es el tamaño de la población, P = es la probabilidad de que ocurra el evento, Q = es la probabilidad de que no ocurra, Q = P - 1 y e = el error esperado, para este caso se consideró del 5%

Selección de los hogares encuestados. Los puntos de muestreo se seleccionaron aleatoriamente mediante el método de números aleatorios en Excel. Se creó una base de datos en la que a cada hogar se le asignó un número del 1 al 1 049 (número de hogares), una clave de identificación que incluye un número de manzana, nombre de la calle y número de casa. Se agregó un número de asignación aleatorio con nueve decimales. De esta manera se tienen las claves de identificación de las casas elegidas aleatoriamente para el levantamiento de encuestas donde la distribución resultó uniforme.

Análisis de calidad de agua. Muestreo. El objetivo del muestreo es determinar la calidad del agua que llega al grifo del usuario. Se analizaron las muestras de agua de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano en México. Las muestras se tomaron en casas seleccionadas al azar y se analizaron en el Laboratorio General de Análisis del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo.



## Resultados y discusión

Aspectos socioeconómicos de los encuestados. En la localidad de Emiliano Zapata se encuestaron 67 hogares y en la de San Diego 92. En relación con el nivel educativo de los jefes de los hogares encuestados, en la localidad de Emiliano Zapata, predomina el nivel de estudios medio superior y superior con un 67%. En la localidad de San Diego prevalece el nivel básico con un 51%. En cuanto a la ocupación, en la localidad Emiliano Zapata imperan los jubilados con los trabajadores públicos y las amas de casa con un 52%. En la localidad de San Diego son preponderantes los trabajadores independientes y las amas de casa con un 69%. De acuerdo con su nivel de ingresos, en la localidad de Emiliano Zapata, el 16% de los hogares encuestados perciben un ingreso medio mensual de 0 a \$4,999, el 42% de \$5,000 a \$9,999; el 21 % de \$10,000 a \$14,999; el 12% mayor a \$15,000 y el 9% no respondió. En la localidad de San Diego, el 57.6 % de los hogares encuestados reportaron un ingreso de entre 0-\$4,999, un 21.7 % mencionaron percibir entre \$5,000-\$9,999, el 7.6 % reportó un ingreso \$10,000 y \$14,999, el 1.1 % reportó un ingreso mayor a \$15,000 y el restante 12 % no respondieron.

Consumo de agua embotellada. De la muestra analizada en la localidad de Emiliano Zapata el 72% de la población afirma consumir agua embotellada, el restante 28% ocupan agua proveniente del sistema de abastecimiento de agua potable para todas sus actividades, incluyendo las de consumo y domésticas. De las personas que consumen agua embotellada, el 61% menciona que lo hace porque no tienen confianza en el sistema de agua potable y un 30% porque no le agrada el sabor a cloro del agua potable. En la localidad de San Diego, el 35.9% afirma consumir agua embotellada y el 64.1% no lo hace. De las personas que consumen agua embotellada, el 62.5% lo hace porque considera que el agua potable del grifo no tiene la calidad para consumirla, el 18.8% ha consumido agua del grifo y ha tenido problemas de salud, el 6.2% menciona que ha presentado alguna característica que no le da confianza y el 12.5% la higiene del sistema de distribución no le da confianza.

En la localidad de Emiliano Zapata, de los hogares que consumen agua embotellada, el 56% la ocupa sólo para beber y para cocinar ocupan el agua que provee el municipio, el 44% restante la ocupa para beber y cocinar. En la localidad de San Diego, el 33.3% solo la utiliza para beber y el 66.7% la consume para beber y cocinar. En la primera localidad las marcas que prefieren consumir son Bonafont (48%), Aqua Clyva (19%) es una pequeña purificadora localizada dentro de la comunidad, Epura (8%), Electropura (8%) y el 17% restante son otras marcas. En la segunda localidad Bonafont se consume en primer lugar con un 68.8%, le sigue Electropura con un 12.5% y luego E-pura con un 8.4% y el 10.3% restante es de otras marcas.

Con relación a las marcas, en la localidad de Emiliana Zapata las razones más importantes para elegir una en lugar de otra son el sabor (33%), es la más importante, el precio (25%), la accesibilidad (21%), debido a que esa marca en particular tiene servicio a domicilio y la calidad (19%), porque consideran que la calidad de esa marca es mejor que las demás. En la comunidad de San Diego ubican a la calidad en primer lugar con el 51.5%, después el sabor con el 34.9%, luego por precio con un 9.1% y el restante 6% por preferencias particulares.

Erogación monetaria por el consumo de agua embotellada. La presentación de agua embotellada que se consume es el garrafón de 19 litros, su precio depende de la marca y del lugar donde se compre. Electropura y Epura se encuentran en un rango de \$20.00 a \$30.00 mientras que la marca Bonafont se puede comprar desde los \$30.00 hasta los \$40.00, en función de la entrega directamente al domicilio por un distribuidor o en un punto de venta. La cantidad de garrafones consumido por mes es de 8 garrafones por mes con un 47.92% (2 por semana en promedio), le sigue el consumo de 1 a 4 con el 29.17%, después 12 garrafones por mes con un 14.58% y por último más de 12 con un 8.33%. De acuerdo con los precios y el número de garrafones comprados por semana se obtuvo el gasto mensual promedio de consumo de agua embotellada por hogar, tomando el precio del garrafón de la marca de Bonafont de \$37 obteniéndose un gasto mensual de \$148 en el consumo de 4 garrafones/mes, de \$296 en el consumo de 8 garrafones por mes, de \$444 en 12 garrafones por mes. Si se toma el consumo predominante (8 garrafones por mes) y el ingreso de la mayoría de la población encuestada, que es de \$0 a \$4,999, este consumo representa el 5.9% del ingreso.

Calidad del agua. La Comisión de Aguas del Estado de México (CAEM) es el organismo que opera el sistema de distribución de la red de agua potable de la localidad de Emiliano Zapata y en la comunidad de San Diego se realiza a través de un organismo operador de la misma localidad, y estas entidades son las que se encargan de revisar y cuidar la calidad del agua para fines de agua potable. El análisis de calidad de agua se realizó en la comunidad Emiliano Zapata a 4 puntos del sistema de agua potable y a 3 puntos



del sistema de agua potable de San Diego, en ambas localidades se analizó el agua Bonafont, por ser la predominante. En todas las muestras analizadas se encontró que cumplen con la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano en México.

El INEGI en su Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA) (INEGI, 2018) menciona en sus tabulados que en México se eroga en los hogares \$163 en promedio en el servicio de agua de la red pública y que en el 76.3% de los hogares se consume agua de garrafón o de botella para beber. Los motivos para hacer este consumo son porque no les gusta el sabor o color del agua en la red pública (19.6%), es más saludable (69.4%), la mayoría de las personas toman agua embotellada (3.0%), es la única forma de tener agua para beber (4.8%) y otro motivo ((3.2%). El gasto semanal en agua embotellada de los hogares es de \$46.27 para localidades con menos de 2,500 habitantes y de \$52.65 en poblaciones con más de 2,500 personas.

En la localidad de Emiliano Zapata, el 72% de la población encuestada consume agua embotellada, lo cual se acerca a lo encontrado por el INEGI, en este lugar el 67% cuenta con estudios de nivel medio superior y superior, en su composición de ocupación predominan los jubilados, personas que se dedican al hogar y trabajadores de la educación, debido a que esta unidad habitacional fue construida para trabajadores administrativos y académicos de la Universidad Autónoma Chapingo. Su nivel de ingreso preponderante va de \$5,000 a \$9,999. En la comunidad de San Diego, el 35.9% de los entrevistados consumen agua embotellada, cifra que está abajo a lo mencionado por el INEGI. El 58.7% de esta población cuenta con estudios de hasta nivel medio superior; en ocupación predominan los trabajadores independientes y las amas de casa, y su nivel de ingreso preponderante va de 0 a \$4,999. En las dos localidades estudiadas, se observa una relación entre el consumo de agua, el nivel educativo y el nivel de ingreso. A mayor nivel educativo y de ingreso, mayor consumo de agua embotellada.

De las personas que consumen agua embotellada, en ambas localidades, se observa una composición similar en cuanto a porque lo hacen, en una el 61% y en otra el 62.5% mencionan que lo hacen porque no tienen confianza en el sistema de agua potable y consideran que el agua del grifo no posee la calidad para consumirla (creen que no es potable) lo que coincide con lo revisado en Ortega (2016). Esto se confronta con los resultados de los análisis de las diferentes muestras de agua para determinar si esta es potable, donde se encontró que el agua cumple con los requerimientos para ser potable. En la encuesta realizada no se preguntó si el organismo operador da información rutinaria de la calidad del agua.

En cuanto a las marcas que se consumen en ambas localidades el número uno es la de Bonafont y las razones son por el sabor y la calidad, aunque en ninguna de las poblaciones conocen la calidad de las aguas embotelladas que consumen; coincidiendo con lo comentado en Ortega (2016) que las empresas venden sabor.

El consumo de agua embotellada en ambas localidades es en garrafones de 19 litros, el predominante es de 2 garrafones por semana, 8 por mes, este consumo representa un gasto de \$295.8 por mes, mayor al consumo reportado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en su encuesta de hogares de \$210.25 por mes (INEGI, 2018).

## **Conclusiones**

De acuerdo con los dos estudios hay una relación entre el consumo de agua, el nivel educativo y el nivel de ingreso. A mayor nivel educativo y de ingreso, mayor consumo de agua embotellada.

El 61% en una comunidad y el 62.5% de otra determinan el consumo de agua embotellada para beber porque creen que el sistema de agua potable que llega a su domicilio no cumple con la calidad del agua para ser consumida, aunque no conozcan la calidad del agua embotellada que compran.

El agua proveniente del sistema de agua potable de las dos localidades cumple con la norma 127 de la Secretaría de Salud, por lo que esta agua es apta para consumirse por el ser humano.

El consumo de agua embotellada en ambas localidades es en garrafones de 19 litros, el predominante es de 2 garrafones por semana, 8 por mes, este consumo representa un gasto de \$295.8 por mes, mayor al consumo reportado por el INEGI (2018) de \$210.25 por mes.

Se puede deducir que hay una falta de comunicación entre los organismos operadores de agua potable con los usuarios en cuanto a la calidad del agua del sistema.

## **Agradecimientos**

Este trabajo se realiza de acuerdo con el financiamiento de los proyectos de investigación de la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo en su convocatoria 2021 y 2022.

## **Referencias bibliográficas**

- Bravo A., L. A. (2019). Determinación Del costo de extracción y precio de venta del agua para uso potable en San Diego, Texcoco. Tesis Profesional. Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. México.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda.
- INEGI. (2018). Resultados tabulados de la Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA) 2017
- López R., X. (2018). Análisis de costo de oportunidad de la Localidad Emiliano Zapata-ISSSTE, Texcoco. Tesis profesional del Departamento de Irrigación. UACH. Texcoco, México.
- Ortega C., A. de J. (2016). Los factores determinantes del aumento del consumo de agua embotellada en México, Análisis desde el enfoque de políticas públicas. Tesis de maestría. CIDE. Ciudad de México. México.
- Pérez L., C. (2005). Muestreo estadístico. Concepto y problemas resueltos. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Senado de la República. (2021). Punto de acuerdo por el que se exhorta a la Comisión Federal para la Protección de Riesgos Sanitarios a fortalecer, inspeccionar y vigilar la calidad del agua en establecimientos que se dediquen a la purificación, embotellamiento y comercialización de agua, a fin de eliminar los riesgos potenciales en el consumo para la salud de las mexicanas y los mexicanos.

## IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA UNA CUENCA EN EL NORTE DE MÉXICO

Aldo Rafael Martínez-Sifuentes<sup>1\*</sup>, Ramón Trucíos-Caciano<sup>1</sup>, Nuria Aide López-Hernández<sup>1</sup>, Víctor Manuel Rodríguez-Moreno<sup>2</sup>, José Villanueva-Díaz<sup>1</sup>, Juan Estrada-Ávalos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INIFAP CENID-RASPA; <sup>2</sup>INIFAP Campo Experimental Pabellón

\*Autor para correspondencia: [martinez.aldo@inifap.gob.mx](mailto:martinez.aldo@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Cuenca Sextín, datos asimilados, Hargreaves.

### Introducción

El clima define el ciclo hidrológico de cada región particular de la Tierra y no hay duda de que el cambio climático afectará los procesos de recarga de los mantos freáticos del mundo y los recursos hídricos actualmente disponibles a escala de cuenca y microcuenca. En México, los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico se reflejarán en la disminución del volumen de agua superficial y del nivel y calidad de las aguas subterráneas.

Estos impactos serán más evidentes en aquellas regiones donde exista una mayor demanda de recursos hídricos (superficiales y subterráneos) y en acuíferos sobreexplotados. Ante esta situación, es importante establecer el impacto que el cambio climático tendrá sobre las variables y factores que definen el ciclo hidrológico y desarrollar estrategias para la gestión de los recursos hídricos. Por ello, es necesario conocer el funcionamiento del recurso en las cuencas productoras de agua.

Los modelos climáticos globales han sido una herramienta primordial para examinar el clima pasado y futuro; recientemente, se ha desarrollado la nueva generación de modelos climáticos globales en el marco operativo de la Fase 6 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (proyecto CMIP6) (Eyring *et al.*, 2016). La clave del éxito del CMIP6 en la representación de simulaciones (por ejemplo, el ciclo del carbono) es que reduce la duplicación de esfuerzos, minimiza la carga operativa y computacional y delinea prácticas comunes en la generación y análisis de las grandes bases de datos resultantes. Los modelos climáticos globales más recientes presentan un mayor grado de complejidad en los procesos físicos y una mayor resolución espacial. Los modelos climáticos CMIP6 se utilizan sobre todo para evaluar los cambios en el clima en periodos pasados o futuros, con el fin de obtener una comprensión más detallada de los aspectos físicos y los procesos del cambio climático. A la vista de los nuevos y mejorados modelos climáticos globales, se han calculado algunos escenarios de cambio climático (es decir, las Vías Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) (Nature Climate Change, 2017). Junto con un conjunto de mitigaciones (por ejemplo, el desarrollo de la sociedad, el marco normativo, la migración a los centros urbanos, las actividades económicas y el uso sostenible del capital natural), estas SSP permitirán a investigadores y gobiernos examinar cómo pueden evitarse en el futuro posibles escenarios catastróficos.

### Objetivo

Evaluar la tendencia de la evapotranspiración para los horizontes climáticos de 2030, 2050, 2070 y 2090 en los escenarios SSP 126, 245, 370 y 585 de la cuenca del río Sextín en el estado de Durango.

### Materiales y métodos

La cuenca del río Sextín se localiza en la parte alta de la Cuenca del Río Nazas, al norte de la Región Hidrológica No. 36, en las coordenadas extremas 25°34' a 26°30' de latitud Norte y 104°57' a 106°20' de longitud Oeste en el estado de Durango, México.

Se descargó información climática del modelo climático global CNRM-CM6-1 en formato GeoTiff de las siguientes variables: temperatura media máxima (°C), temperatura media mínima (°C) de la plataforma WorldClim ver 2.0. Se evaluaron cuatro escenarios de SSP para los periodos 2021-2040 (horizonte 2030), 2041-2060 (horizonte 2050), 2061-2080 (horizonte 2070) y 2081-2100 (horizonte 2090), con una resolución espacial de 2.5' x 2.5' (~19,87 km<sup>2</sup>) (Voltaire, 2019).

La evapotranspiración potencial mensual se estimó utilizando el modelo empírico de Hargreaves y Samani, que se basa en variables ambientales como la temperatura del aire y la radiación solar extraterrestre. La

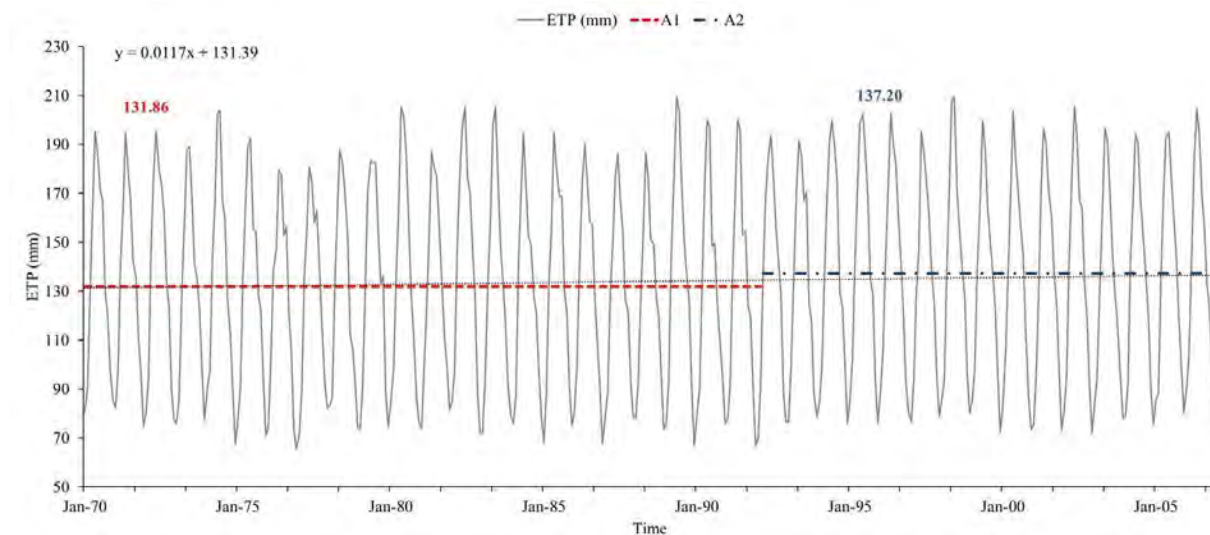
temperatura máxima, mínima y media mensual del aire y la precipitación acumulada media mensual, dichas variables se obtuvieron de la base de datos ClimateNA, de la Unidad de Investigación Climática (CRU TSA TS4.04), con una resolución espacial de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  que cubre el periodo de 1970 a 2006.

La prueba de Pettitt ( $p < 0,05$ ) permitió examinar un punto de ruptura en una serie temporal derivada de una prueba de Mann-Whitney y se basa en el cálculo de  $U_t$

Se utilizó la prueba de Mann-Kendall ( $p = 0,05$ ) para detectar la presencia o ausencia de tendencia lineal monótona en una serie temporal.

## Resultados y discusión

La evapotranspiración potencial estimada por Hargreaves y Samani con datos de temperatura de re-análisis del período 1970-2006, presentó una media histórica de 134.00 mm, con una evapotranspiración máxima de 209.38 mm para mayo de 1989, y una evapotranspiración mínima de 65.37 mm para diciembre de 1976. El análisis de Mann-Kendall mostró una tendencia ascendente a lo largo de los 37 años con una pendiente de 0.02 mm/año, tendencia corroborada mediante la prueba de Pettitt, que muestra una ruptura en la serie en febrero de 1992, con una media antes y después de esa fecha de 131.86 y 137.20 mm, respectivamente (Figura 1), lo que representa un incremento del 4.04%.



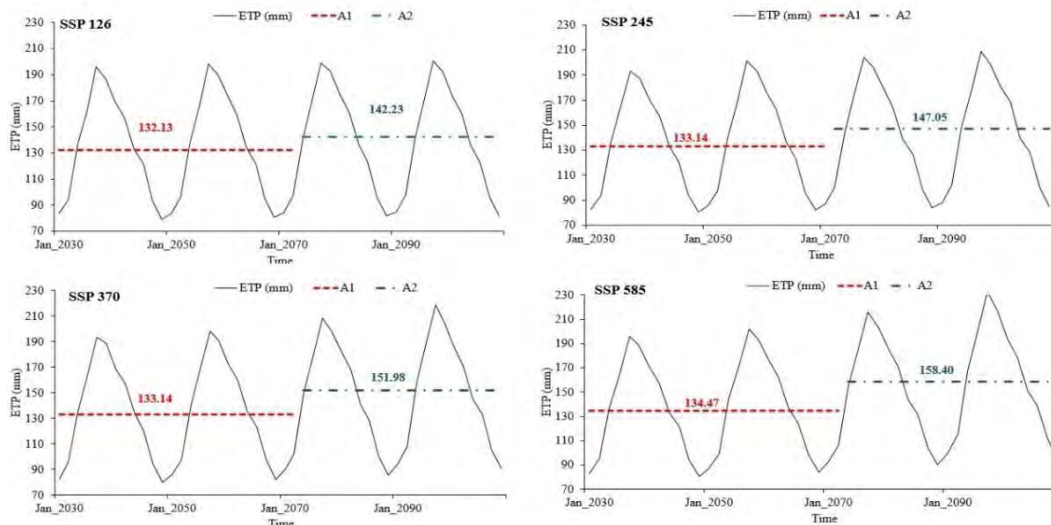
**Figura 1.** Evapotranspiración potencial histórica para la cuenca del río Sextín utilizando la prueba de Pettitt.

Este aumento de la evapotranspiración potencial se debió a la tendencia de aumento de las temperaturas en el norte de México, condición que se mantiene en la Sierra Madre Occidental; es una región con alta variabilidad climática e incrementos históricos de las temperaturas. Diferentes fenómenos océano-atmosféricos, impactan esta región. Los estudios sugieren que los cambios en las condiciones climáticas (por ejemplo, el calentamiento, el enfriamiento del viento y los cambios en las precipitaciones y el déficit relativo de humedad/presión de vapor) impulsan las variaciones de la evapotranspiración en algunas regiones mediante la regulación de las condiciones hídricas y energéticas. En cambio, en otras regiones predominan los factores relacionados con las propiedades de la superficie terrestre [45, 47]. Además, se cree que la forestación y la deforestación tienen las funciones de aumentar y disminuir la evapotranspiración, respectivamente. Algunos estudios encontraron que la reforestación podría reducir el rendimiento hídrico o la escorrentía, generalmente a través del aumento de la evaporación de la interceptación del dosel, la transpiración y la evapotranspiración (Cavalcante *et al.*, 2019).

Bajo los escenarios climáticos SSP 126, 245, 370 y 585, y la aplicación del test estadístico de Mann-Kendall sobre la serie de evapotranspiración futura, se mostró una tendencia ascendente con una pendiente igual a 0.00, 0.05, 0.06 y 0.09 mm/año, respectivamente. Esta tendencia se ve corroborada por la prueba de Pettitt (Figura 2), que muestra una ruptura en la serie de evapotranspiración hacia adelante en febrero de 2070 para los cuatro escenarios de cambio climático en el periodo de estudio (2021-2100). La

evapotranspiración mensual media antes y después de la fecha de ruptura en el escenario SSP 126 fue de 132.131 mm y 142.236 mm, respectivamente, con un exceso del 7.64%. Para la SSP 245, la media antes y después de la ruptura fue de 131.148 mm y 147.055 mm, respectivamente, con un exceso del 12.12%, para la SSP 370 fue de 131.141 mm y 151.981 mm, respectivamente, con un exceso del 14.15%, y para la SSP 585 fue de 134.472 mm y 158.407 mm, respectivamente, con un exceso del 17.79%.

Dado que la evapotranspiración potencial está relacionada con la temperatura del aire, los cambios que se esperan en el futuro (aumentos o disminuciones), se deberán a los cambios de temperatura en condiciones de cambio climático, así como a las tendencias a la sequía, o a la variabilidad del clima interno (Miralles et al., 2013).



**Figura 2.** Variación de la evapotranspiración potencial para los escenarios SSP 126, 245, 370 y 585 para el periodo 2021-2100. A1 = media antes del quiebre, y A2 = media después del quiebre.

## Conclusiones

El norte de México es una región que actualmente experimenta cambios en la variabilidad climática, ya sea por efectos antropogénicos o naturales, los cuales provocan cambios en el régimen hidrológico de las cuencas. Dado este cambio climático, la presente investigación se ha desarrollado para evaluar el impacto del clima sobre la hidrología de la cuenca del río Sextín, ubicada en el norte de México, para el periodo 2021-2100. La serie de evapotranspiración potencial para el periodo 1970-2006 muestra un incremento de 4.04%. Bajo los escenarios de cambio climático SSP 126, 245, 370 y 585, se muestra un incremento de 7.64%, 12.12%, 14.15% y 17.79%, respectivamente. Esta información es importante porque la evapotranspiración potencial es un componente del ciclo hidrológico, que está vinculado a la cubierta vegetal de la región, donde altas tasas de evapotranspiración afectan a los cultivos agrícolas y requieren una mayor demanda de agua.

## Referencias bibliográficas

- Cavalcante, B.L., Pontes, R.M., Souza, W.M., de Souza, E.B. (2019). Opposite effects of climate and land use changes on the annual water balance in the Amazon arc of deforestation. *Water Resour. Res.* 2019, 55,3092–3106. <https://doi.org/10.1029/2019WR025083>
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E. (2016). Overview of the coupled model Intercomparison project phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Mod. Develop.* 2016, 9, 1937-1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Nature Climate Change. (2017) The CMIP6 landscape 2017, 9, 727-727. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0599-1>
- Voldoire, A. (2019.) CNRM-CERFACS CNRM-CM6-1 model output prepared for CMIP6 HighResMIP highres- future. Earth Sys. Grid Fed. 2019. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4025>



## EFFECTO DEL AGUA DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL DESARROLLO DE PLANTAS DE *Scirpus americanus*

Sarahí Josefina Estrada-Loredo<sup>1\*</sup>, María del Socorro Carmen Santos-Díaz<sup>1</sup> y Rodolfo Cisneros-Almazán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí

\*Autor para correspondencia: [A222512@alumnos.uaslp.mx](mailto:A222512@alumnos.uaslp.mx)

**Palabras clave.** fitorremediación, hidroponía, aguas negras

### Introducción

En el estado de San Luis Potosí aproximadamente el 67% del agua de primer uso se utiliza para el riego de cultivos, lo que representa un considerable gasto económico. Por ello, se han instalado diferentes plantas tratadoras a fin de contar con agua tratada para fines agrícolas y disponer de mayor cantidad de agua de primer uso para la población (Carreras y Tovías, 2017). En el municipio de Salinas, S.L.P. se instaló una planta de tratamiento de agua con base en los parámetros de la NOM-001- SEMARNAT-1996. Sin embargo, la calidad del agua de la planta no cumple con la nueva NOM-001- SEMARNAT-2021, dado que presenta un valor de DQO de 936 ppm y valores de conductividad eléctrica mayores a 10,000  $\mu\text{S}$  (agua salobre). Por ello, es importante buscar alternativas biotecnológicas para mejorar la calidad del agua, como la fitorremediación. Este proceso se define como el uso de plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. Una planta con gran potencial para procesos de fitorremediación es *Scirpus americanus* conocida comúnmente como tule. En condiciones de laboratorio esta especie es capaz de absorber metales pesados como plomo y cromo (Esquivel, 2020) y tolerar altas concentraciones de sal (Janousek *et al.*, 2020). Sin embargo, no se han realizado estudios para saber si *S. americanus* podría usarse para mejorar la calidad de aguas residuales. Por lo tanto, en este trabajo se analizó si las plantas son capaces de crecer en agua residual al ser expuestas de forma directa o después de un proceso progresivo de adaptación (exposición seriada).

### Objetivos

Evaluar el efecto del agua de la laguna de estabilización de Salinas S.L.P., por exposición directa y por exposición seriada en el desarrollo de las plantas de *S. americanus*.

### Materiales y métodos

Establecimiento de cultivos *ex vitro*. Las plantas de *S. americanus* se obtuvieron a partir de plantas regeneradas *in vitro* en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales de la Facultad de Ciencias Químicas para contar con plantas sanas y vigorosas. Las plantas se cultivaron en medio MS sólido, pH 5.7 y al alcanzar 8 cm se transfirieron a medio MS líquido con agitación constante. Las plantas de 15 cm se colocaron en botes de plástico de 1 L con 400 mL de medio hidropónico comercial Hydroenvironment, pH 6.7, y se cubrieron con bolsas de plástico transparente para su adaptación a condiciones *ex vitro*. Cuando las plantas alcanzaron 50 cm se transfirieron a palanganas con 10 L de medio hidropónico.

Exposición directa. Para analizar el efecto del agua de la laguna de estabilización en el desarrollo de las plantas, se colocaron cuatro plantas podadas a 50 cm, por palangana, conteniendo 10 L de agua de la laguna de estabilización sin diluir (100 %), diluida 1:1 (50 %), 1:3 (25%) y 1:7 (12.5%). La superficie del agua se cubrió con una tapa de unicel y las plantas se mantuvieron 20 días en condiciones de invernadero. El agua perdida por evapotranspiración se repuso con agua desionizada. Como control se usaron plantas mantenidas en medio hidropónico comercial Hydroenvironment.

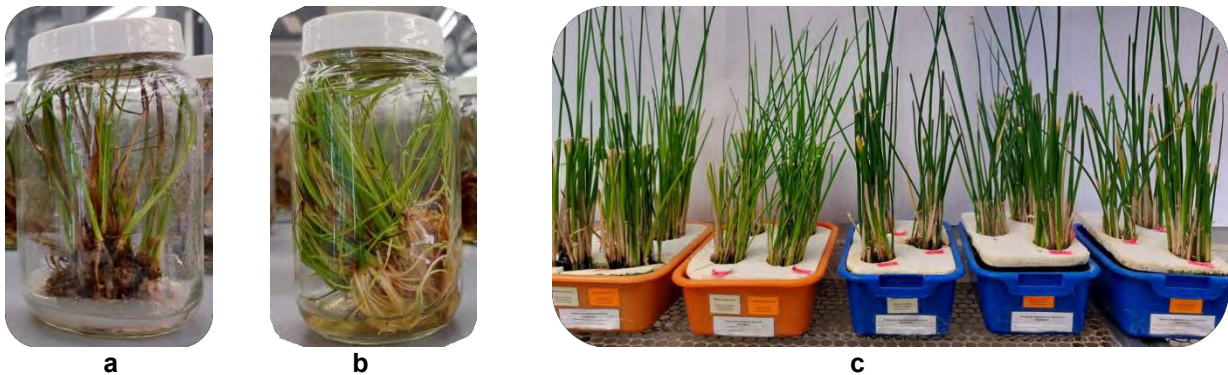
Exposición seriada. Para este experimento se colocaron doce plantas podadas a 50 cm (tres por palangana) conteniendo 10 L de agua de la laguna de estabilización diluida al 12.5% y cubiertas por una tapa de unicel. Después de 20 días, las plantas se colocaron en agua diluida al 25% y después de 20 días, se colocaron en agua residual diluida al 50%, y finalmente en agua sin diluir. El agua perdida por evapotranspiración se repuso con agua desionizada. Cada 4 días se midió el incremento en la longitud de tallo ( $\Delta$ ) y el número de brotes, y el  $\Delta$  de la longitud de la raíz al inicio y final de los experimentos de dilución directa y dilución seriada.



Una vez adaptadas las plantas se comparó su desarrollo contra las no adaptadas en el agua residual. Se colocaron doce plantas adaptadas y no adaptadas (tres por palangana) podadas a 50 cm en 10 L de agua tratada no diluida. Se mantuvieron en las mismas condiciones descritas anteriormente. Como control se usaron plantas sin adaptar, mantenidas en medio hidropónico Hydroenvironment. Cada 4 días se midió el incremento en la longitud de tallo y número de brotes, y la longitud de la raíz al inicio y final del experimento. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó un diseño independiente no pareado, aleatorio y subdividido por bloques con un nivel de significancia de 0.05 (ANOVA).

## Resultados y discusión

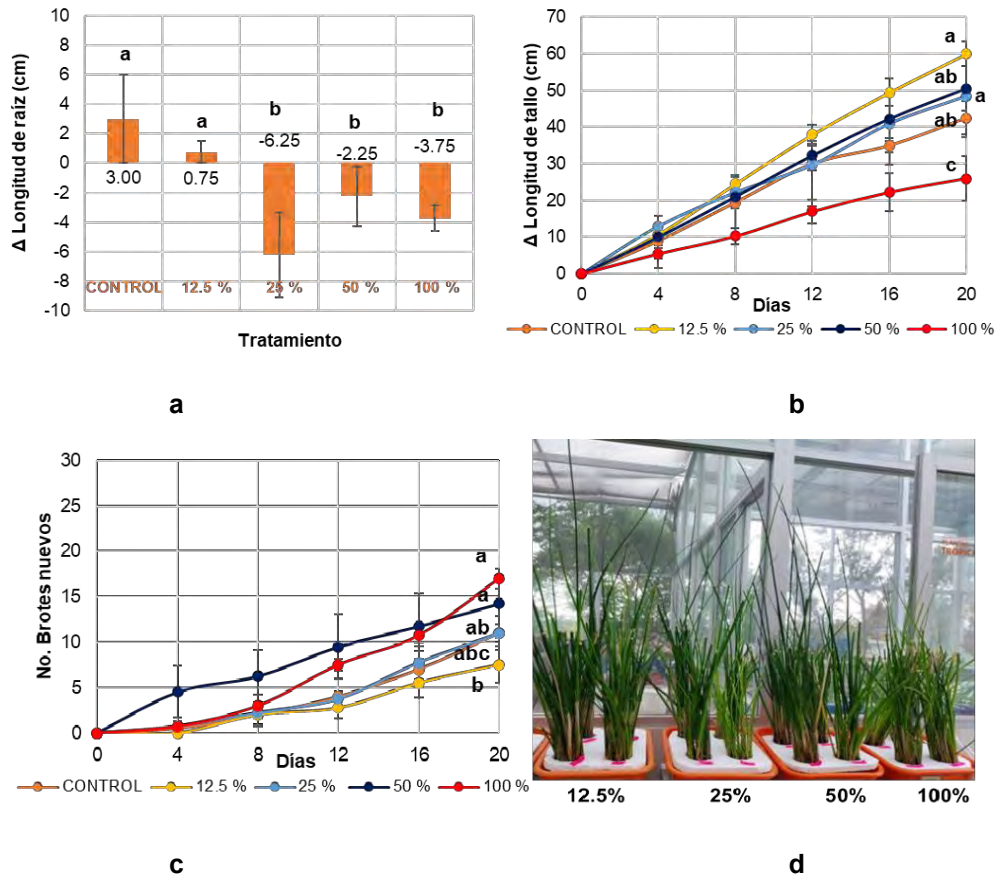
A partir de los cultivos *in vitro* se obtuvieron más de 30 plantas de *S. americanus* con altura mayor a 50 cm, sanas, con raíz abundante y buen aspecto a los 6 meses (Figura 1).



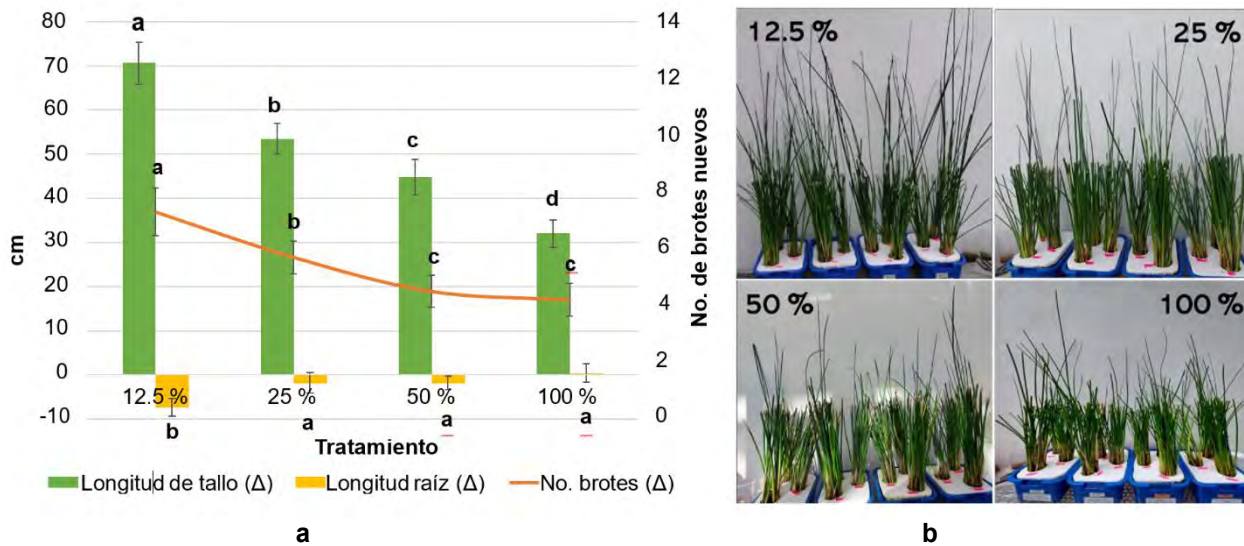
**Figura 1.** a) Cultivo *in vitro* de plantas de *S. americanus* en medio sólido, b) Cultivo *in vitro* en medio líquido, c) Cultivos *ex vitro* en medio hidropónico

Exposición directa. En el medio hidropónico (control) y en la dilución al 12.5 % se observó crecimiento de raíz de 3 cm y 0.75 cm respectivamente sin diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) (Figura 2a). Con relación al número de brotes se observó un incremento al aumentar la concentración de agua residual (sin diluir, dilución 50% y 25%) y en medio hidropónico (Figura 2c). Ya que el agua residual tiene un DQO alto, el aumento en el número de brotes podría deberse a la presencia de materia orgánica que sirve como fuente de carbono para el desarrollo de nuevo tejido aéreo. Igualmente, la mayor formación de brotes permitiría a la planta una mayor dispersión de las sales, disminuyendo así el efecto tóxico de éstas. En la Figura 2d se muestra el aspecto de las plantas al día 20. Se aprecia la disminución en la altura y el mayor número de brotes en las plantas mantenidas en el agua residual sin diluir. Cabe mencionar que no se observó mortandad de las plantas al final del experimento.

Exposición seriada. Conforme aumentó la concentración de sales en el agua se redujo el  $\Delta$  en la longitud de tallo y el número de brotes nuevos en las plantas, así como la longitud de raíz (Figura 3a). Sin embargo, ya no se observó pérdida de la raíz aun en el agua residual sin diluir, indicando que las plantas de *S. americanus* desarrollaron un proceso de adaptación y/o activaron mecanismos de tolerancia. La figura 3b muestra la disminución en el crecimiento y el ligero aumento de brotes al aumentar la concentración de sales.

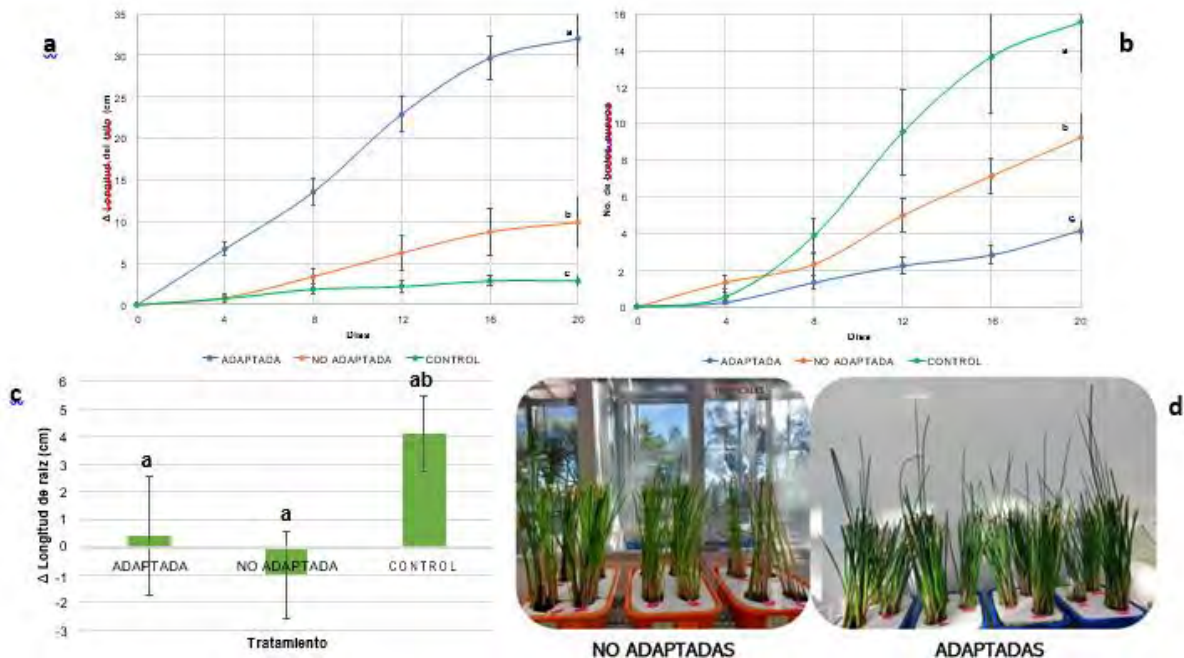


**Figura 2.** Efecto de la exposición directa al agua de la laguna de estabilización en el desarrollo de las plantas de *S. americanus*. a) crecimiento de la raíz, b) longitud del tallo, c) número de brotes nuevos y d) aspecto de las plantas al día 20. El control corresponde a medio hidropónico comercial (n=18). Las barras corresponden a  $\pm$  DS (ANOVA).



**Figura 3.** Efecto de la exposición seriada al agua de la laguna de estabilización en el desarrollo de las plantas de *S. americanus*. a) crecimiento de la raíz, longitud del tallo y número de brotes nuevos, y b) aspecto de las plantas al día 20 de cada tratamiento (n=12). Las barras corresponden a  $\pm$  DS. ANOVA.

Posteriormente, se comparó el crecimiento entre plantas adaptadas y no adaptadas, observando que las primeras presentaron más del triple en el  $\Delta$  longitud de tallo ( $32.0 \pm 3.1$  cm) en comparación con las no adaptadas ( $9.9 \pm 3.0$  cm) (Figura 4a). Ambos grupos presentaron mayor crecimiento que las plantas control. Por otro lado, las plantas no adaptadas presentaron más del doble de brotes (9.25  $\pm$  1.3) que las plantas adaptadas (4.17  $\pm$  0.6) pero formaron menos brotes que el grupo control (15.56  $\pm$  2.7) (Figura 4b). Nuevamente las plantas no adaptadas presentaron pérdida de raíz, en tanto que las adaptadas mostraron ligero crecimiento radicular (Figura 4c). Al final del experimento las plantas no adaptadas presentaron ligera clorosis (Figura 4d). Los datos sugieren que la exposición progresiva de las plantas de *S. americanus* les permitió adaptarse a las condiciones de salinidad presentes en el agua residual permitiendo su desarrollo prácticamente sin presentar efectos tóxicos. Es posible que hayan desarrollado mecanismos de tolerancia como el ajuste osmótico, la acumulación de osmoprotectores como prolina y betaína, y/o la activación de enzimas antioxidantes, tal como se ha descrito para otras macrofitas. Se requerirán estudios adicionales para conocer los mecanismos de tolerancia de *S. americanus* inducidos por la exposición al agua residual.



**Figura 4.** Desarrollo de plantas adaptadas y no adaptadas expuestas al agua de la laguna de estabilización sin diluir. a) longitud del tallo, b) número de brotes nuevos, c) crecimiento de la raíz, d) aspecto de las plantas al día 20 (n=12). Las barras corresponden a  $\pm$  DS (ANOVA).

## Conclusiones

Las plantas de *S. americanus* fueron capaces de desarrollarse en aguas residuales después de un proceso de adaptación. Estos datos sugieren que poseen mecanismos de tolerancia para enfrentar altos valores de DQO y altas concentraciones de sal. Por lo tanto, podrían usarse para mejorar la calidad del agua de la planta de tratamiento de Salinas y/o de otras plantas que no cumplan con la NOM-001-SEMARNAT-2021.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Al CONACYT por la beca otorgada a SJEL (beca no. 181306).

## Referencias bibliográficas

Carreras L., J. M., and Leal T., A. (2017). Ley de cuotas y tarifas para la prestación de servicios públicos del organismo operador intermunicipal metropolitano de agua potable, alcantarillado, saneamiento y

servicios conexos de los municipios de Cerro de San Pedro, San Luis Potosí y Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. Plan de San Luis, Periódico Oficial del Gobierno, C (1), 1–8.

Esquivel R., E. (2020). Remoción de plomo (Pb) por plantas normales y transgénicas de *Scirpus americanus* (tule) y estudio de los mecanismos bioquímicos involucrados en la tolerancia [Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Janousek, C. N., Dugger, B. D., Drucker, B. M., Thorne, K. M. (2020). Salinity and inundation effects on productivity of brackish tidal marsh plants in the San Francisco Bay-Delta Estuary. *Hydrobiologia*, 847, 4311–4323. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04419-3>.



## ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL DEL MAÍZ FORRAJERO BAJO RIEGO POR GOTEO MEDIANTE UN BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

Nuria Aide López-Hernández<sup>1</sup>, Ramón Trucíos-Caciano<sup>1\*</sup>, Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>1</sup>, Marco Antonio Inzunza-Ibarra<sup>1</sup>, Iván Franco-Gaytán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CENID RASPA, INIFAP, <sup>2</sup>CAMPO EXPERIMENTAL LA LAGUNA, INIFAP

\*Autor para correspondencia: [trucios.ramon@inifap.gob.mx](mailto:trucios.ramon@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** requerimiento hídrico, eficiencia del riego, consumo de agua de riego

### Introducción

La evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) en un periodo de tiempo corto se puede estimar con base en el cambio del contenido de agua de un suelo, mismo que se entiende como la diferencia entre el contenido de agua del suelo en un día particular ( $\theta_f$ ) y el contenido de agua en el suelo en una fecha previa ( $\theta_i$ ). Dicha estimación es posible realizarla mediante la ecuación del balance de agua en el suelo (Servín *et al.*, 2017). El modelo de balance hídrico del suelo requiere de parámetros como humedad disponible en el suelo, precipitación, evapotranspiración, escurrimiento y drenaje de la zona donde crecen las raíces. A partir de este modelo es posible cuantificar el agua consumida por la planta.

### Objetivo

Estimar la evapotranspiración del maíz forrajero bajo un sistema de riego por goteo a partir del balance hídrico del suelo.

### Materiales y métodos

El sitio experimental se localiza entre las coordenadas 25° 37' 56.64" latitud N y 103° 20' 29.7594" longitud O, a una altitud de 1,118 m sobre el nivel del mar (INEGI, 2023), dentro de los límites de la Comarca Lagunera, en el municipio de Francisco I. Madero, al suroeste del estado de Coahuila de Zaragoza, México. El área de estudio consta de una superficie de 54 ha cultivadas con maíz forrajero variedad N83N5 de Syngenta®. El diseño de siembra constó de 8 plantas por metro lineal y 75 cm entre hileras. El sistema de riego utilizado fue goteo subterráneo mediante cintilla TORO, calibre 8000, diámetro interno de 16 mm (7/8"), gasto de 0.5 L h<sup>-1</sup> a 15 PSI, con goteros a cada 10 cm, enterrada a 30 cm de profundidad. La textura del suelo es franco-arcillosa, con una capacidad de campo (CC) de 36 %, un punto de marchitamiento permanente (PMP) de 22 % y una densidad aparente de 1.34 g cm<sup>-3</sup>. La siembra se realizó en seco, el primer riego para germinar se realizó el 11 de abril del 2023 y la germinación se observó una semana después. La ecuación del balance hídrico queda expresada en la ecuación 1.

$$Pe+R-D-E-ET_c+(\theta_i-\theta_f)=0 \quad (1)$$

Dónde: Pe es la precipitación efectiva (mm), R es el riego (mm), D es la percolación más allá de la zona de raíces (mm), E es el escurrimiento superficial (mm), ET<sub>c</sub> es la evapotranspiración del cultivo (mm),  $\theta_i$  es el contenido de humedad del suelo, dentro del rango de la humedad aprovechable por el cultivo, medido inmediatamente después de un riego y  $\theta_f$  es el contenido de agua del suelo antes de efectuarse el riego. La precipitación efectiva se obtuvo mediante el método Blaney y Criddle (1962). En un sistema de riego por goteo tanto las pérdidas por percolación (D) como las pérdidas por escurrimiento (E) se consideran igual a 0. De tal manera que la ecuación de balance para calcular la evapotranspiración del cultivo queda expresada de la siguiente manera:

$$ET_c = \sum_{i=1}^n Pe_i + R_i + (\theta_i - \theta_f) \quad (2)$$

El contenido de humedad del suelo ( $\theta$ ) se determinó por gravimetría a través del método AS-05 (NOM-021-SEMARNAT-2000). Las muestras de suelo se obtuvieron a 30, 60 y 90 cm, con 9 repeticiones para obtener



la media aritmética. El método del balance hídrico se comparó con la ET<sub>c</sub> obtenida mediante el método propuesto en el Boletín 056 de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

### Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los parámetros empleados en el cálculo del balance hídrico del suelo. El resultado mostrado corresponde al consumo de agua del maíz forrajero en un periodo de 96 días durante el ciclo agrícola de primavera 2023. El consumo de agua fue determinado entre los eventos de riego y representa la evapotranspiración real del cultivo. La lámina de riego inicial correspondió a la máxima capacidad de almacenamiento de agua dentro de los primeros 30 cm del suelo. Para calcular las siguientes láminas de riego se consideró una profundidad de 60 cm hasta los 11 DDS y, posteriormente hasta los 90 cm de profundidad, debido al crecimiento radicular. La lámina de riego empleada en este estudio toma en cuenta únicamente la humedad disponible para el cultivo, por lo que, queda representada por el contenido de humedad del suelo después del riego ( $\theta_i$ ).

También se muestra la precipitación acumulada entre cada evento de riego, y se observa que la lluvia aportó poca humedad al suelo (6.8%), es decir, en su gran mayoría el agua fue proporcionada por el riego, como es común en la región de la Comarca Lagunera en el ciclo de primavera.

**Cuadro 1.** Estimación del consumo de agua del cultivo mediante el método del Balance Hídrico del Suelo.

Fecha de riego	DDS	$\theta_i$ (mm)	$\theta_f$ (mm)	Precipitación (mm)	Pe	Consumo de agua (mm)
17/04/2023	6	144.7	-	-	-	23
22/04/2023	11	289.4	132.1	-	-	13
25/04/2023	13	415.8	260.9	-	-	29
20/05/2023	38	413.5	251.7	19.4	18.4	182
09/06/2023	58	431.2	267.3	21.8	20.7	167
18/07/2023	96		224.2	3.2	3.0	210

DDS: días después de la siembra,  $\theta_i$ : contenido de humedad del suelo después del riego,  $\theta_f$ : contenido de humedad del suelo antes de riego, Pe: precipitación efectiva.

En el Cuadro 2 se observan los valores de la evapotranspiración de cultivo estimada con el método empírico propuesto por la FAO (ET<sub>c</sub> FAO-056), y la evapotranspiración calculada mediante un balance hídrico del suelo (ET<sub>c</sub> balance) que está en función de los valores de humedad disponible en el suelo.

**Cuadro 2.** Determinación de la evapotranspiración del maíz forrajero mediante un balance hídrico del suelo y el método FAO-056 (1998).

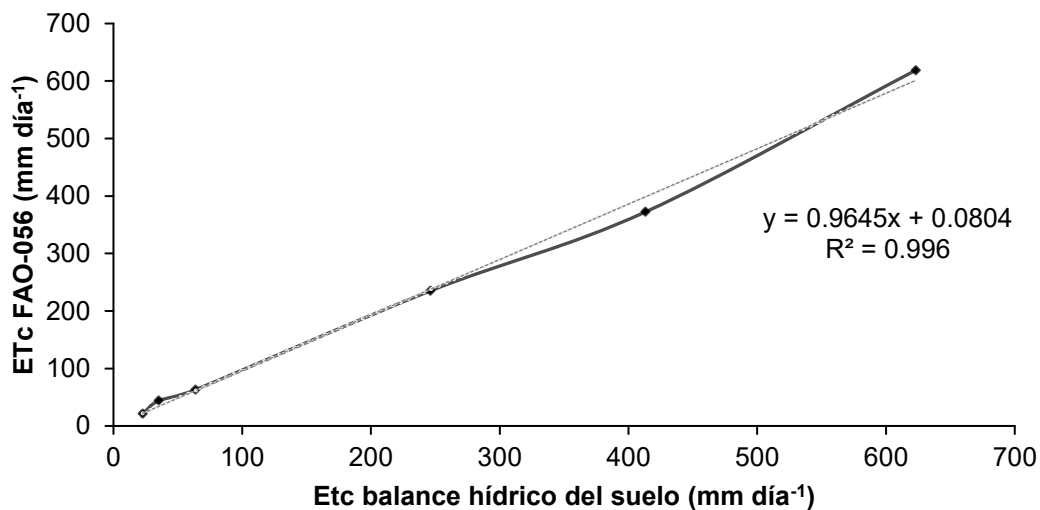
DDS	ET <sub>o</sub>	K <sub>c</sub>	ET <sub>c</sub> FAO-056	ET <sub>c</sub> balance	ET <sub>c</sub> acumulada FAO-056	ET <sub>c</sub> acumulada balance	Diferencia
6	42.5	0.50	21.2	23	21.2	23	1.385
11	32.9	0.70	23.0	13	44.3	35	-9.039
13	18.9	1.00	18.9	29	63.1	64	0.651
38	149.6	1.15	172.0	182	235.1	246	11.147
58	137.1	1.00	137.1	167	372.3	413	40.887
96	254.2	0.97	246.6	210	618.8	623	4.323
						RMSE	17.789

ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia, K<sub>c</sub>: coeficiente de cultivo, ET<sub>c</sub> FAO-056: evapotranspiración de cultivo estimada con el método de la FAO (1998), RMSE: raíz del cuadrado medio del error.

Los resultados muestran que al inicio del ciclo de cultivo la evapotranspiración real fue en promedio de 2.06 mm día<sup>-1</sup>, y al alcanzar la madurez comercial para forraje fue de 5.5 mm día<sup>-1</sup>, considerando el método del balance hídrico del suelo; mientras que fue de 2.61 mm día<sup>-1</sup> al inicio del ciclo agrícola y de 6.49 mm día<sup>-1</sup> cuando el maíz alcanzó la madurez comercial, de acuerdo al método de la FAO-056.

Se observa que el valor total de ET<sub>c</sub> es 4.2 mm mayor cuando se calcula con el balance hídrico, aunque en general, los resultados de ambos métodos de evapotranspiración son muy semejantes. De acuerdo a los resultados, el método del balance hídrico sobreestima en la mayoría de las veces, lo que se hace también evidente en el valor de la raíz del cuadrado medio del error, esto puede deberse a que para el cálculo se consideró una profundidad radical de 90 cm, lo cual puede llevar a sobreestimaciones, dado que la mayor parte de la absorción de agua por parte de las raíces se da entre los 30 y los 60 cm de profundidad. Aunque también se observa una subestimación en el periodo entre el primer y segundo riego. El riesgo de la subestimación es que el cultivo puede llegar a presentar estrés hídrico, perjudicando tanto su rendimiento como la calidad del forraje.

En la Figura 1 se muestra la relación la evapotranspiración real del maíz forrajero determinada con el método del balance hídrico y la ET<sub>c</sub> estimada con el método del boletín 056 de la FAO. La correlación de ET<sub>c</sub> muestra una alta relación entre los valores estimados y los valores medidos directamente en campo ( $R^2 = 0.996$ ), lo que indica que el método del balance hídrico propuesto para determinar el consumo de agua del maíz forrajero bajo un sistema de riego por goteo es eficiente y se sugiere que puede resultar de gran utilidad en la programación del riego, permitiendo aportar al cultivo el agua perdida en un lapso de tiempo para mantener el suelo con la cantidad de agua fácilmente disponible para el cultivo, y así evitar tanto excesos como deficiencias, y por ende, optimizando el uso del agua de riego sin comprometer la calidad del cultivo.



**Figura 1.** Relación entre la ET<sub>c</sub> determinada con el método del balance hídrico y la ET<sub>c</sub> estimada con el método FAO Penman-Monteith, del maíz forrajero en el ciclo primavera 2023.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que la ET<sub>c</sub> del maíz forrajero bajo un sistema de riego por goteo, puede ser estimada eficientemente usando el método del balance hídrico del suelo. Los valores más bajos de ET<sub>c</sub> (2.06 mm día<sup>-1</sup>) se obtuvieron al inicio del ciclo y los más altos cuando éste alcanza la madurez (5.5 mm día<sup>-1</sup>), sabiendo esto, se sugiere que el método del balance de agua en el suelo puede ser útil en la programación del riego permitiendo hacer un uso más óptimo y eficiente del agua de riego.

### Referencias bibliográficas

- Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith. (1998). Evapotranspiración de cultivo - Guía para calcular el requerimiento hídrico – FAO Riego y drenaje No. 56. FAO. Roma, Italia. ISBN 92-5-104219-5
- Blaney, H. F. y Criddle, W. D. (1962). Determinación de los requisitos de agua de riego y uso consuntivo. Boletín técnico USDA 1275, Departamento de Agricultura de EE. UU., Beltsville.
- INEGI. (2023). México en cifras. Consultado el 14 de agosto de 2023 en <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen>
- NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. Fecha de publicación 31 de diciembre de 2002.
- Servín, P.M., Tijerina, C.L., Medina, G.G., Palacios, V.O., Flores, M.H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 8(2), 423-430.

## RESPUESTA DEL RENDIMIENTO DE GRANO DEL GIRASOL BAJO DIFERENTE RÉGIMEN HÍDRICO DEL SUELO

Marco Antonio Inzunza-Ibarra<sup>1\*</sup>, Ignacio Sánchez-Cohen<sup>1</sup>, Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CENID RASPA INIFAP

\*Autor para correspondencia: [inzunza.marco@inifap.gob.mx](mailto:inzunza.marco@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** *Helianthus annuus*, evapotranspiración, productividad del agua

### Introducción

La optimización en el uso del agua de riego es estratégica para disminuir el gran problema de escasez para uso agrícola en la Comarca Lagunera y en más del 50 % del territorio nacional. Por lo que, en los últimos años, se ha procurado alcanzar rendimientos máximos por unidad de volumen de agua aplicado en lugar de por superficie, lo cual permitirá mejorar la productividad del agua de los cultivos en la agricultura. Esto ha traído como consecuencia que se estudien tecnologías de manejo del riego, como el riego deficitario, en el que el suministro de agua es inferior a las necesidades de agua del cultivo y permite una leve escasez durante las etapas de desarrollo, en las que el cultivo es menos sensible a una deficiencia hídrica (Galindo *et al.*, 2018). Similarmente, la técnica del secado parcial de raíces, o simplemente someter el cultivo a cierto estrés mediante diferentes niveles de potencial hídrico. Estas estrategias han tenido éxito en cultivos como el girasol (Mila *et al.*, 2017), por ser tolerante al estrés hídrico que se genera con el riego deficitario o bajo insumos de riego. La plasticidad del girasol es reconocida, en términos de la adaptación del desarrollo del área foliar a la disponibilidad de agua. Ren *et al.* (2018) afirman que el girasol tiene potencial de reducir su consumo hídrico hasta 20 % sin afectar significativamente su rendimiento. Sin embargo, el girasol es sensible a estrés hídrico en etapas críticas como la floración temprana y el llenado de semillas. Ebrahimian *et al.* (2019) indican que la limitación de riego en la floración temprana y la floración media debe evitarse, mientras que puede ser aceptable en la formación de semillas. Encontraron que el riego deficitario en floración temprana (IF) y floración media (MF) reduce el rendimiento de grano en 25 % y 14 % con respecto a un testigo sin restricciones de humedad. Además, deducen que el riego deficitario al inicio de llenado de grano (ILG), incrementa el rendimiento a 5.50 t ha<sup>-1</sup>. En forma similar, Khaleghi *et al.* (2020), concluyen con tres años de estudio, que el girasol mantiene su producción máxima, al ser irrigada con el 60 al 80 % del volumen de agua óptima. Así, para el 2012 obtuvo 2.6 t ha<sup>-1</sup> de producción de grano al aplicar 589.7 mm, para el 2013 reportaron 3.3 t ha<sup>-1</sup> de grano al aplicar 1,019 mm y para el 2014 obtuvieron 2.9 t ha<sup>-1</sup> con 652.4 mm de lámina aplicada.

### Objetivo

El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta del rendimiento de grano del girasol a diferentes niveles de agotamiento de la humedad aprovechable del suelo, con el fin de generar modelos que representen dicha relación y buscar alternativas que permitan maximizar el rendimiento de grano del girasol por m<sup>3</sup> de agua consumida.

### Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el campo experimental del INIFAP CENID-RASPA, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 31' 57" LN y 103° 25' 57" LO, a una altura de 1,139 msnm, en el ejido Las Huertas en Gómez Palacio, Durango. El clima se clasifica como BW(h') h w(e), que corresponde a muy árido, cálido con temperatura media anual de 22 °C y temperatura media del mes más frío de 18 °C según clasificación Climática de Köppen modificado por Enriqueta García. Se utilizó la variedad Madero 91 de girasol, se efectuó la siembra el 1 de julio con una densidad de siembra de 62,000 plantas ha<sup>-1</sup> y se cosechó el 4 de octubre para un periodo experimental de 106 días. Con base en el muestreo inicial de suelos, se fertilizó con la fórmula 120-60-0, donde se aplicó la mitad del fertilizante al momento de la siembra y el resto en el primer riego de auxilio, 15 días después de la siembra.

Se analizaron siete combinaciones de abatimiento de la humedad aprovechable consumida en el suelo (HAC), resultantes de la matriz de tratamientos San Cristóbal para dos factores 4x4. Tales combinaciones de HAC se aplicaron en dos periodos: de emergencia a inicio de floración (etapa vegetativa) y de inicio de floración a madurez fisiológica (etapa reproductiva). En este sentido, los niveles seleccionados de cada factor fueron 40, 60, 80 y 100 % de la HAC en cada una de las etapas fenológicas citadas. De esta manera, los siete tratamientos: 40-40, 40-80, 60-60, 60-100, 80-40, 80-80 y 100-60 que, de acuerdo al diseño de tratamientos, realiza un muestreo uniforme y eficiente del total de los niveles de estudio y con esto economiza el estudio, se distribuyeron en forma aleatoria bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, con unidades experimentales de 4 m de ancho y 5 m de largo para formar un área de 20 m<sup>2</sup> por parcela.

Para determinar el abatimiento de la humedad del suelo en cada tratamiento, se utilizó el método de reflectometría en el dominio temporal (TDR, por sus siglas en inglés). Modelo Trime-Pico T3/IPH44 de IMKO con el sensor en una sonda que se introduce en tubos de acceso a diferentes profundidades del suelo. Puede alcanzar una precisión del 0.3% de la humedad volumétrica. El equipo se calibró previamente en el suelo experimental y se empleó el gravimétrico como método patrón, con barrenas tipo vehimeyer.

Se hicieron muestreos de humedad del suelo en forma continua durante todo el desarrollo del cultivo. El primer muestreo fue para medir la humedad inicial antes del riego de presiembra, y los muestreos posteriores se realizaron durante el transcurso del experimento para monitorear los abatimientos de humedad del suelo para cada tratamiento. Se realizaron muestreos de tres lecturas por estrato y se registró el promedio; después se hizo lo mismo para el resto de las profundidades del suelo hasta 90 cm si la altura del cultivo era mayor a 80 cm. Al alcanzar el nivel de humedad aprovechable consumida por el cultivo prefijada para cada tratamiento, se aplicó el riego de auxilio para reponer la humedad del suelo hasta alcanzar la capacidad de campo en el perfil de suelo de 90 cm. Las variables evaluadas fueron, rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>), lámina de agua consumida (cm), eficiencia de uso del agua (que relaciona el rendimiento de grano con la cantidad de agua consumida (kg m<sup>-3</sup>)) y la evapotranspiración máxima del girasol (mm). El análisis estadístico de la información, se realizó con base a un análisis de varianza y la comparación de medias (Tukey 5 %). Además, se realizó un análisis de regresión y la optimización de variables en base a la teoría de máximos y mínimos del cálculo diferencial, se utilizó la técnica stepwise.

## Resultados y discusión

Se registró valores cercanos de HAC en el campo con respecto a los planeados en los tratamientos, donde las diferencias en lo proyectado y lo logrado en campo fue insignificante (ejemplo: planeado 40-40 y logrado 43.3-41.9). En el Cuadro 1 se presentan los valores de HAC planeados y logrados a los que fueron sometidos los diferentes tratamientos del cultivo de girasol. La HAC fluctuó entre 41.9 y 100 % en todo el ciclo, hasta 41.9 % en los tratamientos 40-40 de condiciones de humedad no restrictivas, y 100 % de la HAC en los tratamientos 100-60 y 60-100 que se sometieron a condiciones hídricas muy restrictivas.

Para el caso de la lámina consumida (LC), el mayor consumo en el primer y segundo periodo se presentó en el tratamiento 40-40 de condiciones más húmedas que el resto y de mayor consumo en todo el ciclo del cultivo con 68.7 cm, el menor consumo en la etapa vegetativa se mostró en el tratamiento 100-60 (24.36 cm) de bajo contenido de humedad en dicha etapa, por consiguiente, el menor consumo en la etapa reproductiva se mostró en el tratamiento 60-100 (22.16 cm), este último tratamiento, además, mostró un menor consumo de agua en todo el ciclo vegetativo del girasol con 53.3 cm de LC.

**Cuadro 1.** Contenidos de humedad, rendimientos(R) y láminas consumidas del girasol.

Tratamiento	HAC <sub>1</sub> (%)	HAC <sub>2</sub> (%)	LC <sub>1</sub> (cm)	LC <sub>2</sub> (cm)	LC <sub>T</sub> (cm)	R (t ha <sup>-1</sup> )
<b>40-40</b>	43.3	41.9	35.10	33.60	68.7	4.42b
<b>40-80</b>	43.3	82.1	35.10	25.19	60.29	3.80b
<b>60-60</b>	58.8	60.5	31.14	28.12	59.26	5.46a
<b>60-100</b>	57.7	100	31.14	22.16	53.3	2.40c
<b>80-40</b>	79.8	44.4	28.16	32.09	60.25	3.94b
<b>80-80</b>	83.3	81.4	28.16	26.21	54.37	4.09b
<b>100-60</b>	99.6	60.7	24.36	33.45	57.81	2.78c

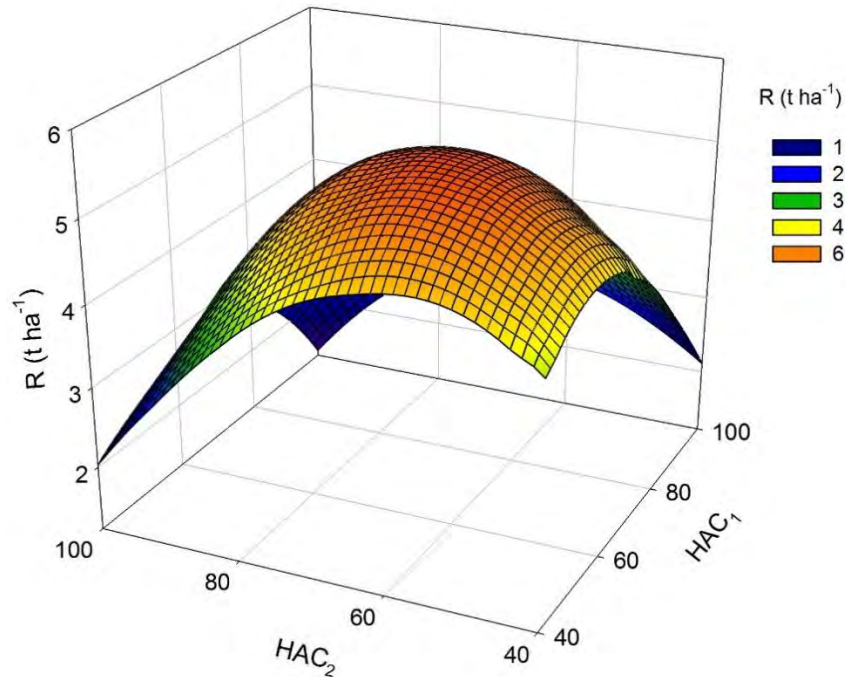
HAC<sub>1</sub> y HAC<sub>2</sub> = Humedad aprovechable consumida en las dos etapas del girasol; LC<sub>1</sub>, LC<sub>2</sub> y LC<sub>T</sub>= Lámina consumida en las dos etapas estudiadas y total; R = Rendimiento de grano.



Se deduce que el cultivo respondió en forma diferente a los tratamientos de acuerdo a la oportunidad y la cantidad de agua aplicada en el riego, donde las tasas de transpiración diaria del cultivo respondieron al secado progresivo del suelo, estas tasas decrecen a mayor HAC. La reducción de la tasa de transpiración, y por tanto la minimización de la pérdida de agua, en respuesta al déficit hídrico del girasol es un aspecto de la tolerancia a la sequía. Esto se logra mediante la reducción de la tasa de expansión del área de la hoja o la transpiración por unidad de área foliar (conductancia estomática) (Khaleghi *et al.*, 2020).

#### Rendimiento de grano del girasol en los diferentes tratamientos

Los rendimientos de grano ( $t\ ha^{-1}$ ) como respuesta a las diferentes condiciones de humedad del suelo en cada tratamiento, ensayado en el campo se muestran en el Cuadro 1 y en la Figura 1. El análisis de varianza para las variables, mostraron diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $\alpha = 0.01$ ). El tratamiento de combinación 60-60 tuvo el Rendimiento ( $5.46\ t\ ha^{-1}$ ) promedio más alto. Estos valores de R, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de Tukey (Cuadro 1), resultaron estadísticamente superiores que el resto de los tratamientos ensayados ( $\alpha = 0.05$ ). Lo anterior se atribuye al aplicar el riego al 50.8 y el 60.5 % de la humedad aprovechable consumida del suelo, esto es, aplicar el riego cuando el suelo presente una tensión de  $-0.48$  y  $-0.461$  MPa para extraer la humedad en el primer y segundo periodo. Similar a lo reportado por Khaleghi *et al.* (2020) en tratamientos controlados con girasol, que los valores umbrales por debajo de los cuales la tasa de expansión de las hojas (LE) y transpiración (TR) comienzan a disminuir, está cerca de 60 % HAC para la expansión foliar y 40 % HAC para la transpiración diaria. Por otro lado, el valor más alto de WUE encontrado es superior a los reportados por Ren *et al.* (2018), ( $0.83\ kg\ m^{-3}$ ) y con la técnica de riego deficitario, Ebrahimian *et al.* (2019) ( $0.75\ kg\ m^{-3}$ ) que usa el ácido ascórbico para aliviar los efectos adversos del déficit hídrico en las plantas de girasol. En general, se encontró que los valores de WUE son mayores en tratamientos estresados que en los bienes irrigados (Khaleghi *et al.* (2020). Se deduce, que someter el cultivo de girasol a estrés y dejar que la HAC llegue al 60 % puede ser una alternativa para incrementar la eficiencia en el uso del agua, además de ser una práctica ideal en zonas que sufren periodos frecuentes de déficit hídrico. Los valores más bajos de R se obtuvieron en los tratamientos 60-100 y 100-60, que alcanzaron un rendimiento de  $2.4$  y  $2.8\ t\ ha^{-1}$  respectivamente. Estas combinaciones tuvieron en común crecer bajo condiciones de estrés hídrico cercanas al punto de marchitez permanente en alguna de sus etapas estudiadas. El análisis de Tukey de comparación de medias indicó que estos tratamientos resultaron ser estadísticamente inferiores en rendimiento de grano, con respecto al resto de los tratamientos, pero iguales entre sí (Cuadro 1). Lo anterior indica una respuesta no lineal del rendimiento de grano del girasol por condiciones de diferentes regímenes de humedad del suelo al momento del riego. Es decir, un efecto creciente y decreciente sobre la producción de grano, debido a los diferentes niveles de abatimiento de humedad estudiados (Figura 1). La oportunidad o el cuándo realizar la aplicación del riego al girasol, es más contundente que la cantidad del agua en la respuesta de definir el rendimiento de grano. Esto se muestra más claro al comparar el tratamiento de mayor rendimiento fue 60-60 con  $5.46\ t\ ha^{-1}$  y mayor eficiencia de uso de agua (WUE) con  $0.922\ kg\ m^{-3}$  con el tratamiento (60-100) con menor rendimiento de  $2.46\ t\ ha^{-1}$  y más baja eficiencia de uso de agua de  $0.452\ kg\ m^{-3}$ .



**Figura 1.** Respuesta en rendimiento de grano (R) del girasol a los tratamientos de riego (% humedad aprovechable consumida del suelo en la etapa vegetativa ( $HAC_1$ ) y reproductiva ( $HAC_2$ )).

Modelo de producción del rendimiento de grano al régimen de humedad del suelo

Por medio del análisis de regresión, se ajustaron los datos observados del rendimiento de grano (R) y la humedad aprovechable consumida al momento del riego (HAC) (variable independiente), en dos periodos fenológicos del girasol. La función encontrada se presenta en la ecuación 1.

$$R = -5.6044 + 0.1619 * HAC_1 + 0.1999 * HAC_2 - 0.0017 * HAC_1^2 - 0.002 * HAC_2^2 + 0.0008 * HAC_1HAC_2$$

$$R^2 = 0.93 \quad CV = 7.5 \% \quad (1)$$

Donde R = rendimiento de grano  $t \text{ ha}^{-1}$ ;  $HAC_1$  y  $HAC_2$  = Es la humedad aprovechable consumida en el suelo (%) para la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente. Los coeficientes de la regresión de cada uno de los efectos lineal, cuadrático y de la interacción, fueron altamente significativos por lo que contribuyen en el modelo a explicar la respuesta del cultivo a los tratamientos.

De acuerdo a los parámetros estadísticos, del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y del coeficiente de variación (CV), el modelo obtenido explica en forma satisfactoria el fenómeno representado (Figura 1). Se determinaron los niveles óptimos de la HAC. Se encontró que el mayor rendimiento de grano del girasol de  $5.5 \text{ t ha}^{-1}$  se obtuvo al desarrollarse bajo un régimen de humedad en el suelo de 60.5 y 61.6 % de HAC en la etapa vegetativa y reproductiva del cultivo respectivamente. Al analizar las cercanías de la máxima productividad marginal del modelo, se estima que al someter las plantas a un déficit hídrico en el suelo de 70 y 70 % de la HAC, el rendimiento de grano solo disminuye 2.4 % que resulta no significativa con respecto al rendimiento máximo arriba referido.

Modelo del rendimiento de grano y la lámina de agua consumida (LC, cm)

Al relacionar estas variables para cada tratamiento ensayado en campo, se encontró que entre ellas existió una relación de tipo cuadrática. Dicha función obtenida, después de realizar el análisis de regresión entre ambas variables resultó la ecuación (2).

$$R = -50.5588 + 0.9236 * LC_1 + 2.7244 * LC_2 - 0.0188 * LC_1^2 - 0.0519 * LC_2^2 + 0.0109 * LC_1LC_2$$

$$R^2 = 0.87 \quad CV = 10.3 \% \quad (2)$$

Donde R = rendimiento de grano  $t \text{ ha}^{-1}$ ;  $LC_1$  = Lámina de agua consumida en la etapa vegetativa del girasol (cm);  $LC_2$  = Lámina consumida en la etapa reproductiva del cultivo, (cm).

El modelo ajustado anterior tiene una capacidad de predicción que resulta satisfactoria para este tipo de relaciones biológicas complejas donde intervienen diversos factores de la planta, del suelo y ambientales.

Se realizó la optimización del modelo de acuerdo al cálculo diferencial y resultó que se maximiza la producción de grano de 5.5 t ha<sup>-1</sup> al consumir el girasol 33.1 y 29.7 cm en la fase vegetativa y reproductiva, respectivamente. Sin embargo, al aplicar el criterio del déficit de riego, se analizó las vecindades al óptimo y se deduce que, si el girasol consume 29 y 29 cm en las etapas mencionadas, el R tiene una reducción no significativa de 6.1 %, lo cual permitiría un ahorro de 500 m<sup>3</sup> por ha.

## Conclusiones

El modelo generado que relaciona el rendimiento de grano y los niveles de humedad del suelo, maximiza su producción a 5.5 t ha<sup>-1</sup> al crecer el girasol a un estrés hídrico en el suelo de 60.5 y 61.6 % de la humedad aprovechable consumida para la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente. Sin embargo, esta función estima que es posible aplicar un déficit hídrico de hasta un 70 y 70 % de la HAC en las etapas citadas, con una disminución no significativa del rendimiento de grano de apenas un 2.4 %.

La optimización de la función que relacionó la producción de grano de la planta con la cantidad de agua consumida, resultó que el máximo rendimiento se presentó al consumir el cultivo 33.1 y 29.7 cm de agua durante la etapa vegetativa y reproductiva, respectivamente. En forma similar, este modelo estimó que al aplicar un déficit de riego de 29 y 29 cm en las etapas bajo estudio, mostró una disminución insignificante del 6 % en rendimiento de grano. La mayor eficiencia de uso del agua del girasol de 0.922 kg m<sup>-3</sup>, se obtuvo cuando se repusieron láminas de riego de 31.4 y 28.12 cm, con niveles hídricos del suelo de 58.8 y 60.5 % de la humedad aprovechable consumida en la etapa vegetativa y reproductiva.

De acuerdo a la información generada por las diferentes condiciones hídricas del suelo, el rendimiento de grano y la productividad del agua presentan una respuesta no lineal tanto al estrés hídrico como al consumo de agua.

## Referencias bibliográficas

- Ebrahimian, E., Seyyedi, S. M., Bybordi A. & Damalas, C. A. (2019). Seed yield and oil quality of sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability. *Agricultural Water Management*, 218, 149-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031>
- Galindo, A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., Girón, I. F., Rodríguez, P., Cruz, Z.N., Memmi, H., Carbonell-Barrachina, A.A., Hernández, F., Torrecillas, A., Moriana, A. & López-Pérez D. (2018). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural Water Management*, 202, 311-324. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015>
- Khaleghi, M., Hassanpour, F., Karandish, F. & Shahnazari, A. (2020). Integrating partial root-zone drying and saline water irrigation to sustain sunflower production in freshwater-scarce regions. *Agricultural Water Management*, 234, 106094. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106094>
- Mila, A. J., Ali, M. H., Akanda, A. R., Rashid, M. H. O., & Rahman, M. A. (2017). Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic return of sunflower. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1287619. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1287619>
- Ren D., Xu, X., B. Engel, B. & Huang, G. (2018). Growth responses of crops and natural vegetation to irrigation and water table changes in an agro-ecosystem of Hetao, upper Yellow river basin: Scenario analysis on maize, sunflower, watermelon and tamarisk. *Agricultural Water Management*, 199, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.021>

## HIGUERA (*Ficus carica* L.) CULTIVO EMERGENTE PARA LAS ZONAS ÁRIDAS DEL NORTE DE MEXICO

Hilario Macías-Rodríguez<sup>1\*</sup>, José Alberto Urrieta-Velázquez<sup>1</sup>, Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera (CENID-RASPA-INIFAP)

\*Autor para correspondencia: [macias.hilario@inifap.gob.mx](mailto:macias.hilario@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** higuera, podas, densidades

### Introducción

En la actualidad a nivel mundial las megatendencias sociales en el consumo de alimentos hortofrutícolas están enfocadas primordialmente a su capacidad nutritiva y nutracéutica, el higo, fruto naturalizado en México desde su introducción por los Jesuitas desde hace 400 años, de acuerdo a estudios recientes, tiene alta capacidad nutritiva en términos de vitaminas, minerales, carbohidratos, proteínas y fibra dietética, y su calidad nutracéutica está fundamentada en su alto contenido de fenoles, antocianinas y benzaldehído que mejoran la calidad de vida y previenen enfermedades crónico degenerativas como el cáncer. En esta perspectiva, el cultivo de higuera se está formalizando e incrementando gracias a que también es una buena alternativa económica para el sector rural y su mercado tiene alta demanda a nivel nacional y de exportación, tanto en higo fresco como en pasta y sus derivados. Concretamente, los mercados norteamericanos y de Canadá demandan en conjunto anualmente más de 50 mil toneladas entre higo fresco y pasta de higo y, además, hay otros mercados emergentes mostrando interés en la compra de los derivados de higo de México, tal es el caso de España, China y Japón. Este cultivo se ha incrementado considerablemente en la Región Lagunera de Coahuila y Durango. A partir del año 2011 se inició su manejo con altas densidades de plantación, de mil a 3 mil plantas por hectárea. En el periodo del 2012 al 2022, el INIFAP ha desarrollado tecnología a través de investigación en multiplicación intensiva de planta (Macías *et al.*, 2016), manejo de altas densidades de plantación con podas estratégicas para lograr ciclos largos de producción (Macías *et al.*, 2018), requerimientos hídricos (Rivera *et al.*, 2016), fertilización y manejo integral de plagas y enfermedades (Urrieta *et al.*, 2022). En este artículo se presenta un recuento de las evaluaciones experimentales que se han desarrollado en el periodo descrito para lograr hacer de la higuera un cultivo rentable, haciendo énfasis en las actividades de mayor impacto para lograrlo.

### Objetivo

Promover el cultivo de higuera para las zonas áridas del norte de México a través de los antecedentes y resultados experimentales de las diferentes prácticas en las etapas fenológicas del cultivo para su mejor aprovechamiento y rentabilidad.

### Materiales y métodos

En el año 2011, en la Región Lagunera de Coahuila y Durango se empezaron a establecer las primeras plantaciones de higuera con altas densidades y ante los vacíos de conocimiento sobre este cultivo, se solicitó la participación del INIFAP, empezando éste sus actividades de acompañamiento técnico a partir del año 2012, las evaluaciones experimentales de propagación, manejo de altas densidades con podas estratégicas, requerimientos hídricos y manejo integrado de plagas y enfermedades se desarrollaron en el periodo del 2012 al 2016, con productores cooperantes del Ejido 5 de Mayo y pequeña Propiedad Poanas, ambos del Municipio de Gómez Palacio, Dgo y a partir del año 2019 hasta el 2022, el INIFAP implementó actividades de validación y transferencia de tecnología en la Pequeña Propiedad La Victoria del municipio de Parras, Coahuila en una superficie de 40 hectáreas de higuera.

**Propagación.** Se realizaron evaluaciones experimentales de propagación vegetativa a través de varetas y acodo aéreo. La propagación de varetas se realizó con material vegetativo a yema dormida, recolectando el material en febrero del 2012 y 2013, utilizando varetas con 4 entrenudos, con una longitud promedio de 25 centímetros, las varetas se desinfectaron con un fungicida previo al trasplante y se utilizó un enraizador

comercial, se utilizaron contenedores de polietileno negro de 4 litros y un sustrato a base de arena con perlita en proporciones de 50%.

La propagación por acodo aéreo se llevó a cabo en higueras de 3 años de establecidas, se evaluaron siete enraizadores comerciales en las estaciones de primavera y verano, para el acodo aéreo se utilizó turba, papel aluminio y cinta canela.

Densidades de plantación y podas estratégicas. Se evaluaron 3 densidades de plantación: mil, 2 mil y 3 mil plantas por hectárea. Estas densidades de plantación se manejaron con diferentes niveles de podas a yema dormida, para conformar su banco inicial de producción en forma de copa y para el manejo subsecuente de ramas productivas en los primeros 5 años de plantación. Los niveles de poda evaluados fueron: poda a 2 entrenudos; poda a 4 entrenudos; poda a 6 entrenudos.

Requerimientos hídricos. El lote de producción comercial de higo en el que se realizaron las evaluaciones de requerimientos hídricos cuenta con un sistema de riego por goteo con un emisor por planta, el gasto del emisor es de 4 lph, lo cual equivale a una lámina horaria de 2.60 mm/hr en un diámetro de humedecimiento de 1.4 m. Para la determinación de los requerimientos hídricos del cultivo, el clima es un factor importante, donde la evapotranspiración es una variable clave. De esta manera, se obtuvieron valores históricos de evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) de una estación meteorológica Davis instalada en el propio lote de producción, en enero del 2021 y los coeficientes de cultivos se obtuvieron del paquete tecnológico de higuera generado por el propio INIFAP 2020 – 2022.

Fertilización. Se realizaron análisis de fertilidad del suelo en el lote comercial de higueras para implementar la transferencia de tecnología desarrollada por el INIFAP, considerando la demanda nutrimental del cultivo para cada etapa fenológica.

Manejo integrado de plagas y enfermedades. Se monitoreo el cultivo de higuera con altas densidades de población desde su establecimiento, desarrollo vegetativo y producción, para evaluar la incidencia de las diferentes plagas y enfermedades.

## Resultados y discusión

### Propagación

Las evaluaciones experimentales con vareta no son viables por la presencia de un complejo de hongos de los géneros *Rhizopus*, *Penicillium*, *Azospirillum* y *Phytophthora*. La propagación experimental a través de acodo aéreo fue la más promisoría para La Región Lagunera, ya que con ésta técnica se logró enraizar las plantas acodadas en un periodo de 60 días, con raíces abundantes para trasplantar directamente a los lotes de producción comercial, se evaluaron experimentalmente

7 enraizadores comerciales en las diferentes estaciones del año. El Raizal 400 fue el mejor promotor de raíz en cantidad y calidad y las mejores estaciones de enraizamiento fueron primavera y verano; específicamente los acodos iniciados en el mes de abril del periodo de primavera y los iniciados en el mes de julio en el periodo de verano, figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Acodos de primavera.



**Figura 2.** Acodos de verano.



### Densidades de plantación y podas estratégicas

El nivel de poda, para las tres densidades de plantación, en el primer y segundo año de establecidas, es la poda de ramas a 6 entrenudos, dejando un total de 4 a 6 ramas distribuidas en un banco de producción en forma de copa; en las higueras de 3 a 4 años de edad las mejores podas son a 4 entrenudos, dejando un total de 8 ramas por banco de producción; y a partir de 5 años de edad, la mejor poda de higuera a yema dormida es a 2 entrenudos por rama, dejando un promedio de 14 ramas en el banco de producción, no es conveniente dejar más de 14 ramas en el banco de producción, ya que esas 14 ramas darán lugar a 28 ramas productivas, cuando se tienen más de 28 ramas productivas se presentan problemas de sombreado en el centro del banco de producción, en las figuras 3 y 4 se muestran las podas en higueras de 2 y 5 años de plantación.



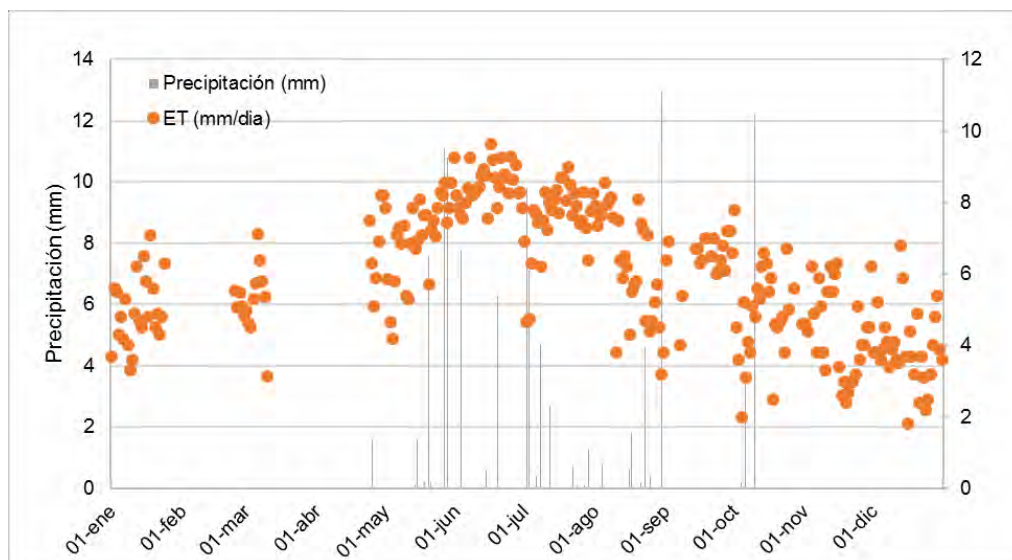
**Figura 3.** Poda en higuera de 2 años.



**Figura 4.** Poda de higuera de 5 años.

### Requerimientos hídricos

Respecto a los requerimientos hídricos para los primeros años de establecimiento, los datos de ETo se muestran en la figura 5. De acuerdo a estos valores históricos de ETo registrados en la estación meteorológica se puede conocer que el cultivo de higuera para los primeros dos años requiere entre 3.9 y 7 l/planta/día, donde el valor de Requerimiento de Riego (RR) depende de la época del año; mientras que, para la higuera de 3 años, en la zona de estudio, requiere entre 6.7 y 11.7 l/planta/día, lo que equivale a un tiempo de riego menor a 3 horas, mostrados en cuadro 1. Los valores más altos de RR se encuentran en los meses en que mayor precipitación existe en la zona, sin embargo, estas precipitaciones se suelen presentar en muy pocos eventos, lo cual no se considera dentro del balance de riego.



**Figura 5.** Valores promedio de precipitación y evapotranspiración de referencia registradas en la estación.

**Cuadro 1.** Requerimiento de riego de la higuera en el lote de producción comercial.

Mes	ET <sub>0</sub> prom mm día <sup>-1</sup>	PP mm mes <sup>-1</sup>	1-2 años				3 años				
				ETc	RR	RR		ETc	RR	RR	
			Kc	mm día <sup>-1</sup>	litros	hr	Kc	mm día <sup>-1</sup>	litros	hr	
Enero	7.10	0.00									
Febrero	5.53	0.00	0.44	2.43	3.94	0.99	0.75	4.15	6.72	1.68	
Marzo	7.11	0.00	0.44	3.13	5.07	1.27	0.75	5.33	8.64	2.16	
Abril	8.20	1.60	0.44	3.61	5.85	1.46	0.75	6.15	9.97	2.49	
Mayo	9.25	31.60	0.44	4.07	6.60	1.65	0.75	6.94	11.24	2.81	
Junio	9.65	14.70	0.44	4.25	6.88	1.72	0.75	7.24	11.73	2.93	
Julio	9.00	26.90	0.44	3.96	6.42	1.60	0.75	6.75	10.94	2.73	
Agosto	8.55	21.40	0.44	3.76	6.10	1.52	0.75	6.41	10.39	2.60	
Septiembre	7.20	0.00	0.44	3.17	5.13	1.28	0.75	5.40	8.75	2.19	
Octubre	7.80	15.80	0.44	3.43	5.56	1.39	0.75	5.85	9.48	2.37	
Noviembre	6.30	0.00	0.44	2.77	4.49	1.12	0.75	4.73	7.66	1.91	
Diciembre	6.80	0.00									

#### Fertilización

De manera general, los suelos de la región son pobres en fósforo y potasio que son importantes en el enraizado y crecimiento de frutos. En el Cuadro 2 se muestran las dosis de producto comercial requeridos por etapa de crecimiento de la higuera.

**Cuadro 2.** Fertilización de la higuera por hectárea.

Fertilizante	Brotación	Fructificación	Producción
Fosfato monopotásico	2 kg semana <sup>-1</sup>	3 kg semana <sup>-1</sup>	5 kg semana <sup>-1</sup>
Urea-Amonio-Nitrato (32%)	4 L mes <sup>-1</sup>	3 L mes <sup>-1</sup>	2 L mes <sup>-1</sup>
Sulfato de magnesio	2 kg mes <sup>-1</sup>	4 kg mes <sup>-1</sup>	3 kg mes <sup>-1</sup>
Micronutrientes quelatados	0.5 kg mes <sup>-1</sup>	1 kg mes <sup>-1</sup>	1 kg mes <sup>-1</sup>
Ácidos húmicos y fúlvicos	0.2 kg semana <sup>-1</sup>	0.3 kg semana <sup>-1</sup>	0.3 kg semana <sup>-1</sup>

#### Manejo integrado de plagas y enfermedades.

Dentro de las plagas más importantes destaca la mosca negra (*Silba adipata*), que parasita frutos pequeños con huevecillos y al eclosionar las larvas se alimentan de la pulpa formando galerías en el sicono. Una vez adultas, salen del fruto para pupar en el suelo dejando un orificio en el fruto (Figura 6c). Algunas larvas quedan atrapadas en el intento de salir y mueren, y algunas pupan dentro de los frutos (Figura 6a). Todos estos daños ocasionan que el fruto tome su coloración de maduración y cae prematuramente (Figura 6c), observándose frutos pequeños debajo de las higueras afectadas.



**Figura 6.** Mosca del higo negro (*Silba adipata*): daño en fruto (c), larva (b), pupa (a) y adulto (d). Este insecto se previene y controla con el hongo benéfico *Beuberia bassiana*.

Es común la pérdida de higueras por *Fusarium*, en cuyo caso es necesario prevenir inoculando las raíces y sustrato o el suelo de la cepa con microorganismos como *Trichoderma* y *Bacillus subtilis*.

### Conclusiones

El cultivo de higuera es una alternativa viable para los estados de las zonas áridas del norte de México, dado que el higo está siendo altamente demandado por parte del mercado nacional y de exportación.

Es una alternativa atractiva contra los cultivos más demandantes de agua, como los forrajes.

### Agradecimientos

Agradecimientos al Ing. Jaime Carrera Acosta por facilitar el rancho “La Victoria” de Parras, Coahuila, como una plataforma de validación y transferencia de tecnología del INIFAP.

### Fuente financiadora

INIFAP

### Referencias bibliográficas

- Macías R., H., Muñoz V., J. A., Rivera G., M., Delgado R., G., Jacobo S., Ma. del R. (2016). Determinación de las mejores épocas para la propagación de higuera a través de acodo aéreo en la Región Lagunera. Revista AGROFAZ. Edición especial. Publicación semestral de investigación científica Vol. 16, Núm. 2 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2016. pp 51-62.
- Macías R., H., Rivera G., M., Muñoz V., J. A., Rivera G., M. Villa C., Ma. M., Rodríguez G., L. (2018). Secuencia de podas estratégicas en el cultivo de higuera (*Ficus carica* L.) con altas densidades de plantación en la Región Lagunera. Revista AGROFAZ. Edición especial INIFAP CENID RASPA. Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2018. pp 37-45.
- Rivera G., M., Delgado R., G., Macías R., H., Muñoz V. J. A. (2016). Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de higuera en riego por goteo y alta población. Revista AGROFAZ. Edición especial. Publicación semestral de investigación científica Vol. 16, Núm. 2 Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Dgo., México. Diciembre 2016. pp 105-112.
- Urrieta V., J. A., Macías R., H., Jiménez. J., S. I., Muñoz V., J. A., Rivera G., M. (2022). Paquete tecnológico para el cultivo de higuera en el estado de Coahuila. INIFAP CENID RASPA. Gómez Palacio, Dgo. Diciembre 2022. 31p.

## IDENTIFICACIÓN DE HUMEDAD EN EL SUELO MEDIANTE TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Yenifer Moreno-Sepúlveda<sup>1,2</sup>, Enrique Miguel-Valle<sup>1,2</sup>, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes<sup>2</sup>, Ramón Trucíos-Caciano<sup>2</sup>, Nuria Aide López-Hernández<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TORREÓN, <sup>2</sup>CENID-RASPA INIFAP,.

\* Autor para correspondencia: [lopez.nuria@inifap.gob.mx](mailto:lopez.nuria@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Humedad, teledetección, clasificación supervisada

### Introducción

El contenido de humedad del suelo (CHS) es un factor esencial en el intercambio de flujos de agua, la variación es vital para las aplicaciones de agricultura de precisión, ya que el almacenamiento de agua en el suelo influye en la programación del riego y la tasa de fertilización en climas con poca lluvia (Jalilvand *et al.*, 2019), especialmente en áreas que enfrentan escasez de agua (Zaussinger *et al.*, 2019).

La teledetección como tecnología, proporciona un camino adecuado para estimar la humedad del suelo (Peng *et al.*, 2020), nos permite explorar una gran cantidad de área en periodos de tiempo cortos a un bajo costo, principalmente debido a los avances recientes en sensores funcionalmente. De acuerdo con el espectro de ondas electromagnéticas reflejadas desde la capa del suelo y recibidas por los sensores satelitales, el contenido de humedad en el suelo se puede estimar estableciendo una relación física entre la humedad del suelo y la respuesta electromagnética de la superficie (Peng *et al.*, 2020). Amplios estudios han evaluado las habilidades de teledetección óptica, térmica infrarroja y de microondas (pasiva o activa) para estimar el CHS (Srivastava, 2017).

### Objetivo

Clasificar el contenido de humedad en el suelo a través de imágenes Sentinel-2, para calcular la superficie que corresponde al porcentaje de humedad y verificar el avance del riego agrícola.

### Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en la pequeña propiedad “Rancho Palestina” durante el ciclo de cultivo primavera-verano 2020. Durante este estudio se dio seguimiento del calendario de riego para observar la humedad en los cultivos a través de las imágenes de satélite utilizando las bandas RGB. El cultivo establecido fue Maíz forrajero (*Zea mays* L.). El flujo de trabajo se describe en la figura 1.

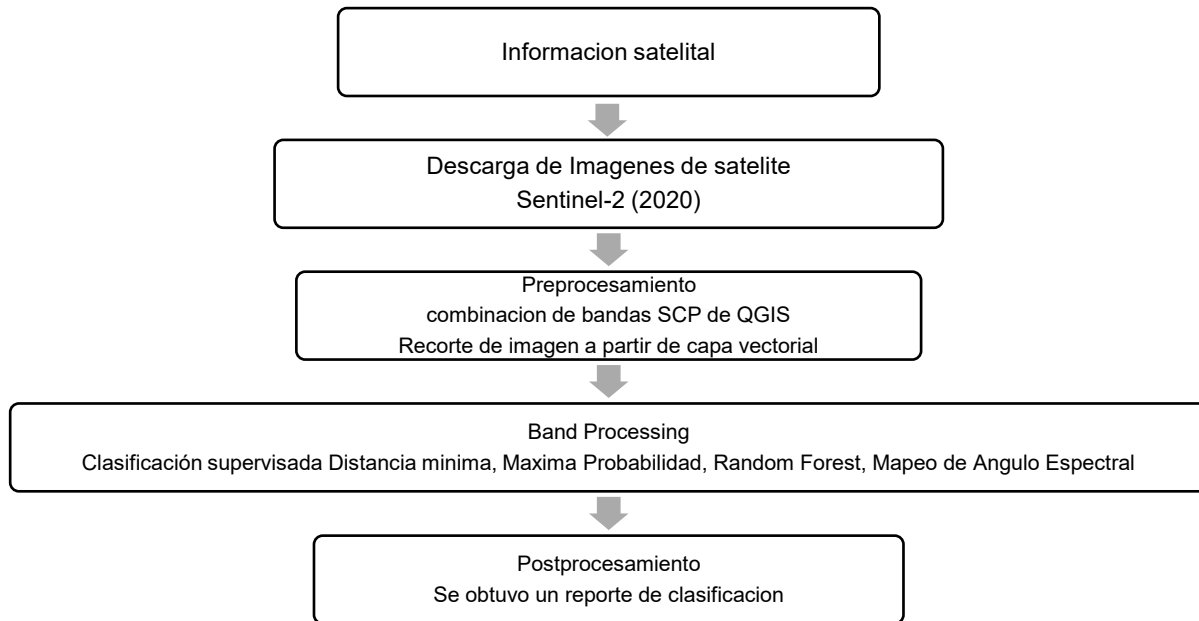
Estas imágenes fueron capturadas por el satélite Sentinel-2A, con un nivel de procesamiento 2-A, se descargaron del portal Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/>) (ESA, 2015).

Para la combinación de bandas, se realizó con la composición R:4, G:3, B:2 del sensor Sentinel-2 con el fin de obtener una mejor visualización y diferencias de coberturas.

Recorte de la imagen a partir del polígono de referencia. Luego de la ortorrectificación se realizó recorte de cada imagen correspondiente al área de estudio de “Rancho Palestina” (sistema de coordenadas WGS 84 UTM Zona 13N, código 32613), por medio del SCP de QGIS, durante el preprocesamiento se hicieron recortes de bandas, agregando el shapefile del área de estudio.

Las técnicas de teledetección para medir la humedad del suelo se fundamentan en la relación entre el contenido de agua del suelo y otras propiedades del mismo, por lo tanto, es factible dar seguimiento a la humedad por medio de la radiación electrónica emitida o reflejada desde el suelo. Para determinar la humedad se utilizaron técnicas de clasificación supervisada mediante teledetección utilizando cuatro algoritmos; Random forest, Distancias Mínimas, Máxima Probabilidad y Mapeo de Ángulos Espectrales a través del software QGIS®. Adicionalmente, se utilizaron otras herramientas de geo-preprocesamiento como recorte, combinación de bandas, complementos de código abierto y libre acceso como Semi-Automatic Classification Plugin (SCP, por sus siglas en inglés). A través del software estadístico QGIS, mediante el complemento SCP se realizó la clasificación, de acuerdo a la observación de riegos, se

registraron ROI's (áreas de interés) con los porcentajes de humedad obtenido en campo. Se realizaron 6 clases dependiendo del contenido de humedad presente en el suelo.



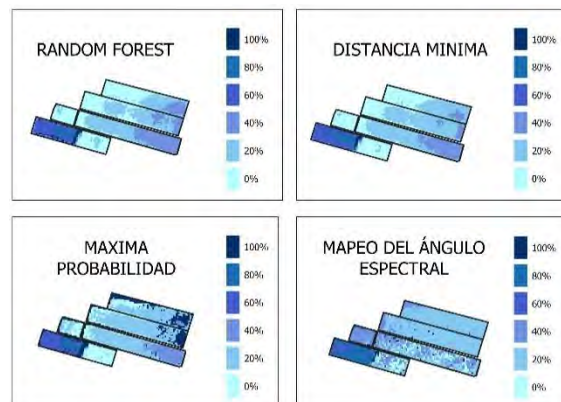
**Figura 1.** Diagrama de flujo que resume la metodología utilizada en la presente investigación.

Los productos Sentinel-2 se descargaron para las fechas del 23 de marzo 2020, 27 de abril 2020 y 27 de mayo 2020. Dichos productos Sentinel-2 de nivel 2A (BOA) se descargaron del Centro de acceso abierto Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). Para realizar la clasificación supervisada se utilizaron las bandas RGB, la banda Red-4, Green-3, y Blue-2, las cuales cuentan con una resolución espacial de 10 m.

El post-procesamiento consistió en un reporte de clasificación, indicando el número de píxeles correspondientes a cada clase propuesta, área y porcentaje de superficie.

## Resultados y discusión

A través de la clasificación supervisada con los diferentes algoritmos estudiados, se logró observar las áreas con mayor presencia de humedad para las tres fechas revisadas, el área total de las parcelas estudiadas fue de 35.55 ha. La clasificación se realizó en 3 fechas, al inicio del cultivo (Figura 2), con el suelo completamente desnudo, y las siguientes fechas el cultivo ya se encontraba de mayor tamaño y en una etapa vegetativa mayor (Figura 3 y 4).



**Figura 2.** Contenido de humedad en el suelo (23/03/20).

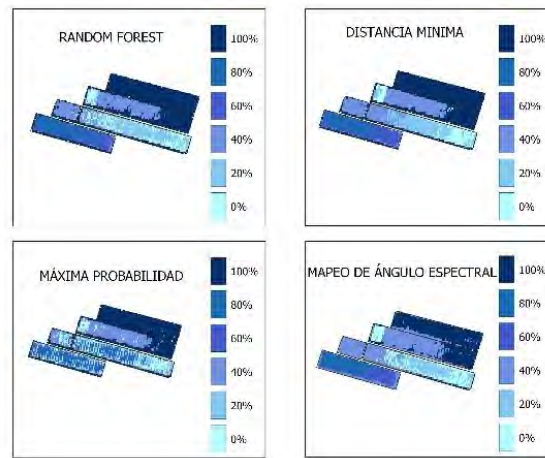


De acuerdo a las clasificaciones en la fecha con presencia de vegetación se puede diferenciar el incremento de la humedad, a comparación con un suelo desnudo, en donde la mayor superficie corresponde a porcentajes de 0 y hasta un 20% y solo se observa la parte humedad donde se está estableciendo el riego, mientras que con la presencia de vegetación en la mayoría de la superficie se puede observar la presencia de la humedad en las diferentes clases muestreadas. Las superficies por porcentaje de humedad se localizan en los cuadros 1, 2 y 3.

**Cuadro 1.** Área determinada para cada clase.

Clase Humedad	ÁREA (ha) (23/03/20)			
	RF <sup>1</sup>	DM <sup>2</sup>	MP <sup>3</sup>	MAE <sup>4</sup>
0%	13.88	13.23	7.57	2.95
20%	11.65	14.09	16.48	20.66
40%	6.55	4.59	2.82	7.68
60%	2.10	2.32	2.07	0.72
80%	0.87	1.13	1.02	3.02
100%	0.50	0.19	5.59	0.52

<sup>1</sup>Random Forest; <sup>2</sup>Distancias Mínimas; <sup>3</sup>Máxima Probabilidad; <sup>4</sup> Mapeo de Ángulos Espectrales



**Figura 3.** Contenido de humedad en el suelo (27/04/20).

**Cuadro 2.** Área determinada para cada clase.

Clase Humedad	ÁREA (ha) (27/04/20)			
	RF <sup>1</sup>	DM <sup>2</sup>	MP <sup>3</sup>	MAE <sup>4</sup>
0%	1.64	1.87	1.87	2.62
20%	4.89	6.11	6.11	5.27
40%	7.71	6.40	6.40	4.26
60%	4.96	7.04	7.04	3.99
80%	7.20	5.50	5.50	7.09
100%	9.15	8.63	8.63	12.22

<sup>1</sup>Random Forest; <sup>2</sup>Distancias Mínimas; <sup>3</sup>Máxima Probabilidad; <sup>4</sup> Mapeo de Ángulos Espectrales

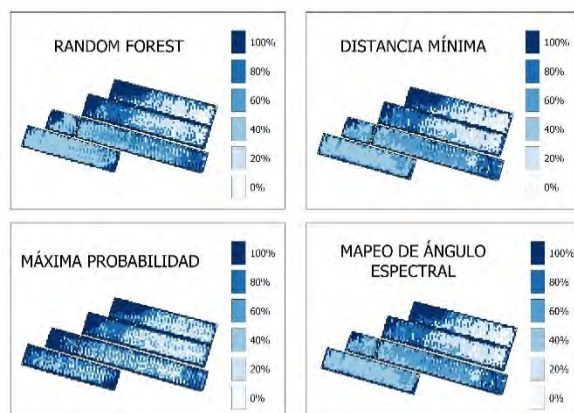


Figura 4. Contenido de humedad en el suelo (27/05/20).

Cuadro 3. Área determinada para cada clase.

Clase Humedad	ÁREA (ha) ( 27/05/23)			
	RF <sup>1</sup>	DM <sup>2</sup>	MP <sup>3</sup>	MAE <sup>4</sup>
0%	3.36	2.88	3.85	3.71
20%	4.35	4.18	3.32	4.09
40%	6.98	8.71	12.70	7.60
60%	2.50	2.96	2.52	2.21
80%	3.16	2.72	3.04	3.79
100%	15.20	14.10	10.12	14.05

<sup>1</sup>Random Forest; <sup>2</sup>Distancias Mínimas; <sup>3</sup>Máxima Probabilidad; <sup>4</sup> Mapeo de Ángulos Espectrales

## Conclusiones

La clasificación supervisada es una técnica muy útil en la determinación de áreas con presencia de humedad, con la cual se puede observar la presencia de mayor contenido de humedad en el suelo, o el avance de los riegos, ayudando a determinar qué porcentaje de avance se tiene, como se encuentra el predio en términos de humedad, beneficiando al productor a conocer los requerimientos hídricos y el cuándo regar.

## Referencias bibliográficas

- Bravo-Morales, N.F. (2020). Teledetección y procesamiento de imágenes satelitales. Geomatica ambiental S.R.L
- Jalilvand, E., Tajrishy, M., Alsadat, S., Zadeh, G., Brocca, L. (2019). Detección remota del medio ambiente Cuantificación del agua de riego mediante la detección remota de la humedad del suelo en una región semiárida. *Sensores Remotos Entorno*. 2019, 231, 111226.
- Peng, J., Albergel, C., Balenzano, A., Brocca, L., Cartus, O., Cosh, MH, Cuervo, WT, Dabrowska-Zielinska, K., Dadson, S., Davidson, MWJ. (2020). Una hoja de ruta para aplicaciones satelitales de humedad del suelo de alta resolución: confrontar las características del producto con los requisitos del usuario. *Sensores Remotos Entorno*. 2020, 112162.
- Zaussinger, F., Dorigo, W., Gruber, A., Tarpanelli, A., Filippucci, P., Brocca, L. (2019). Estimación del uso de agua de riego en los Estados Unidos contiguos mediante la combinación de datos satelitales y de re-análisis de la humedad del suelo. *Hidrol. Sistema Tierra ciencia* 2019, 23, 897–923.

## EVALUACIÓN DE NUEVAS VARIEDADES DE TRIGO DURO (*Triticum turgidum* SSP. DURUM.) EN EL VALLE DE MEXICALI

Juan Agustín Morales-Benitez<sup>1</sup>, Jorge Iván Alvarado-Padilla<sup>2\*</sup>, Onésimo Grimaldo-Juarez<sup>3</sup>, Roberto Soto-Ortiz<sup>3</sup>, Yara Nohemí Vargas-Ruvalcaba<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría en Ciencias en Agrobiotecnología en Zonas Áridas. Instituto de Ciencias Agrícola-UABC. <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de Mexicali, <sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agrícola-UABC

\*Autor para correspondencia: [alvarado.jorge@inifap.gob.mx](mailto:alvarado.jorge@inifap.gob.mx)

**Palabra Clave:** Variedades, rendimiento y grano.

### Introducción

El trigo duro es uno de los cereales usados para la elaboración de pasta en México, la mayor parte de la producción de este grupo de trigo se encuentra en la región noroeste del país (SIAP, 2020). La demanda es menor que la que tiene el trigo harinero y es por eso que la mayor parte de la producción es exportada. El Valle de Mexicali, pertenece a la región del noroeste de México, en la cual durante el ciclo agrícola 2022-2023 se sembraron 45190 hectáreas con un rendimiento promedio de 6.5 ton. La variedad que predomina en la región es CIRNO C2008, sin embargo, el programa de mejoramiento genético del INIFAP ha trabajado para generar nuevas variedades con rendimiento similar a CIRNO C2008, pero mejorando la calidad industrial (Hortelano *et al.*, 2016). El objetivo del presente estudio; es evaluar el rendimiento y contenido de proteína en grano de variedades de trigo duro liberadas después de CIRNO C2008.

### Materiales y Métodos

El ensayo se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2022-2023, en el Campo Experimental Valle de Mexicali, el cual pertenece al INIFAP. El suelo donde se estableció el experimento está clasificado como franco arcilloso y la preparación de terreno consistió en barbecho, disqueo doble, floteo, surcado a 75 cm de separación, en el cual se establecieron dos hileras sobre el lomo del surco con una densidad de 70 kg ha<sup>-1</sup>. El riego de germinación se realizó el 22 de diciembre de 2022, la fertilización química fue para un rendimiento esperado de 8 t ha<sup>-1</sup> con la fórmula 280-80-00 y 4 riegos de auxilio, realizados en la etapa fenológica de amacollo, encañe, anthesis y llenado de grano. El factor a evaluar fue el rendimiento de grano, el cual se obtuvo de la trilla completa de la parcela experimental usando una trilladora marca wintersteiger. La otra variable a considerar fue el contenido de proteína en grano, el cual fue analizado de una muestra de 400g usando un determinador de proteína marca pertens. La unidad experimental fue de 2 surcos con 3 metros de largo (4.5 m<sup>2</sup>) con un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones y diez tratamientos, considerando a las variedades como tratamientos (Cuadro 1). El rendimiento de grano se sometió a un análisis de varianza y una prueba de medias tukey al 5% y para la variable de proteína solo se compararon las medias.

**Cuadro 1.** Variedades evaluadas en la investigación.

Variedad	Año de liberación	Características por las que fue liberada
CIRNO C2008	2008	Rendimiento
Quetchehueca Oro C2013	2013	Color en sémola
Baroyeca Oro C2013	2013	Color en sémola
Barobampo C2015	2015	Resistencia a enfermedades foliares
CENEB Oro C2017	2017	Color en sémola
Río Bravo C2018	2018	Resistencia a enfermedades foliares
Isabel Oro C2018	2018	Color en sémola
Don Goyo C2019	2019	Resistencia a enfermedades foliares
Don Lupe C2020	2020	Rendimiento
Camacho Oro C2022	2022	Color en sémola

## Resultados y discusiones

Con respecto a rendimiento se encontraron diferencias estadísticas entre variedades formándose 3 grupos, siendo CENEB Oro C2017 la del primer grupo (a) con un rendimiento de 8970 kg ha<sup>-1</sup>, el segundo grupo (ab) se conformó de 8 de las 10 variedades evaluadas y el tercer grupo (b) que es estadísticamente diferente a CENEB Oro C2017 que está conformado por la variedad DON GOYO C2019 con un rendimiento de 7496 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Borbón *et al.* (2022), compararon el rendimiento de Don Lupe C2020 con respecto a CIRNO C2008 bajo condiciones del Valle del Yaqui y documentaron que con cuatro riegos de auxilio la nueva variedad supero el rendimiento de la variedad testigo con 8.1%, en esta investigación Don Lupe supera con 7.8% a CIRNO C2008 (Figura 1). Alvarado *et al.* (2021), compararon a CIRNO C2008 con Isabel Oro C2018 aplicando cuatro riegos de auxilio en el Valle de Mexicali y encontraron que Isabel Oro C2018 supero el rendimiento del testigo con 5%, en esta evaluación Isabel Oro C2018 se comportó similar al superar con 7.8% a CIRNO C2008 (Figura 1). Villaseñor *et al.* (2021), evaluaron la variedad Río Bravo C2018 a nivel nacional en 80 ambientes con cuatro riegos de auxilio y obtuvieron un rendimiento promedio de 6370 kg ha<sup>-1</sup>, en este experimento la misma variedad con el mismo número de riego produjo 8452 kg ha<sup>-1</sup>, superando a CIRNO C2008 con 6.5%.

Con respecto a proteína en grano, este es un factor de calidad que está relacionado con el manejo de fertilización y el contenido de nitrógeno en la etapa de anthesis. En este trabajo la fertilización fue uniforme para un rendimiento esperado de 8 ton ha<sup>-1</sup>, por lo tanto, se puede observar que todas las variedades superaron ese rendimiento y no generaron alta proteína. Los rangos de proteína variaron de 10.41% con Don Lupe C2020 hasta 11.50% con Don Goyo C2019 (Figura 1), se puede observar que el contenido de proteína disminuye con forme incrementa el rendimiento, sin embargo, Quetchehuca Oro C2013, Camacho Oro C2020 y CIRNO C2008, muestra un equilibrio entre el rendimiento y el contenido de proteína, esto significa que para incrementar la proteína de Don Lupe C2020 se requiere incrementar la fertilización nitrogenada.

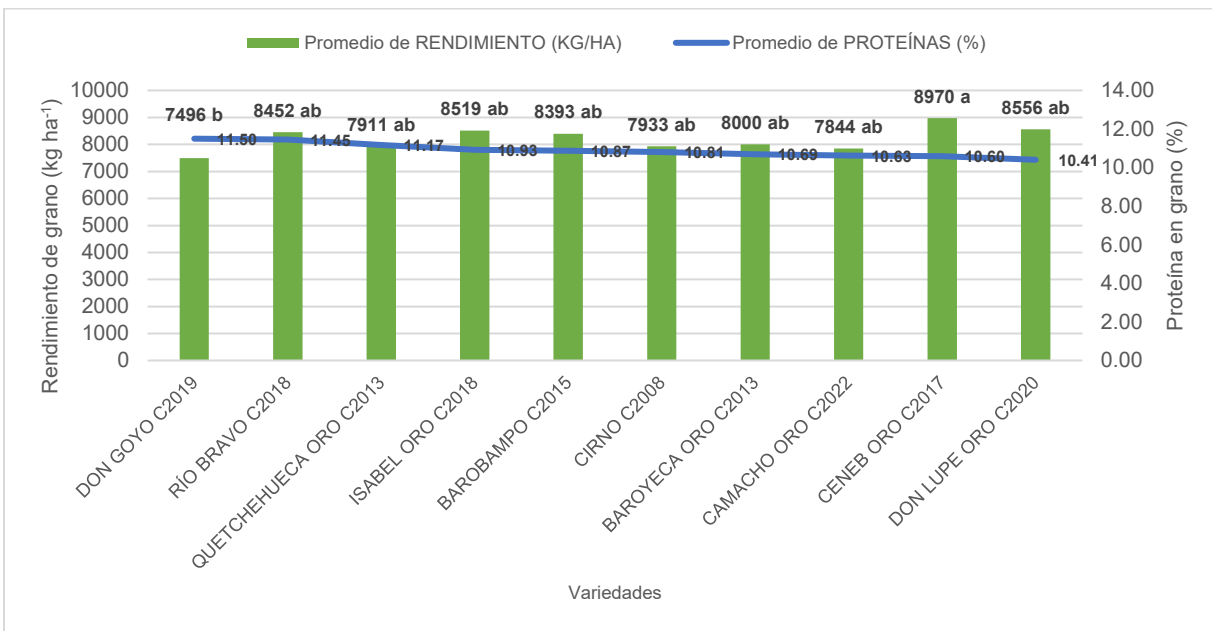


Figura 1. Rendimiento de grano y contenido de proteína de variedades de trigo duro.

## Conclusiones

El contenido de proteína en grano no mostro diferencias entre las variedades, sin embargo CENEB Oro C2017, DON LUPE Oro C2020, ISABEL Oro C2018, BAROBAMPO C2015 y RÍO BRAVO C2018 superaron el rendimiento de CIRNO C2008.

## **Agradecimientos**

Se agradece al laboratorio de calidad del Campo Experimental Norman E. Borlaug el cual pertenece al INIFAP, por el apoyo brindado para facilitar el equipo usado para determinar la proteína en el grano.

## **Fuente financiera**

INIFAP y parcialmente CONAHSIT

## **Referencia bibliográfica**

Alvarado P., J. I., Chávez V., G., Ammar, K., Hortelano SR., R., Huerta E., J., Martínez C., E., Borbón G., A., Villaseñor M., H. E., Rodríguez G., M. F., Vargas R., Y. N. (2021). ISABEL ORO C2018: nueva variedad de trigo cristalino (*triticum durum* desf.) para el noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (1): 119 – 121

Borbón G., A., Díaz C., H. L., Chávez V., G., Ammar, K., Fuentes D., G., Alvarado P., J. I., Huerta E., J. (2022). DON LUPE ORO C2020: nueva variedad de trigo duro para el noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 45 (3):413-416

Hortelano SR., R., Martínez C. E., Villaseñor M., H. E. y Morales, V. (2016). Mejoramiento genético de trigo en México. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias.* 3(6): 25-31.

SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. AGRIVULTURA. Cd. De México. [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_agricola/\(Agosto2023\)](http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/(Agosto2023)).

Villaseñor M. H. E., Huerta E., J., Martínez C., E., Hortelano SR., R., Rodríguez G., M. F., Solís M., E., Alvarado P., J. I., Borbón G., A., Chávez V., G., Cortinas E. H., Espitia-Rangel, E., Osario A., L. y Martínez M., J. (2021). RÍO BRAVO C2018, nueva variedad de trigo macarronero para áreas de riego en México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (2): 269 - 271



## EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum*) EN EL VALLE DE MEXICALI

Yara Nohemí Vargas-Ruvalcaba<sup>1</sup>, Jorge Iván Alvarado-Padilla<sup>2\*</sup>, Roberto Soto-Ortiz<sup>3</sup> Onésimo Grimaldo-Juárez<sup>3</sup>, Carlos Catzim-Ail<sup>3</sup> y Juan Agustín Morales-Benitez.

<sup>1</sup>Estudiante de la Maestría en Ciencias en Agrobiotecnología en Zonas Áridas del Instituto de Ciencias Agrícolas-UABC. <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de Mexicali, <sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agrícola-UABC

\*Autor para correspondencia: [alvarado.jorge@inifap.gob.mx](mailto:alvarado.jorge@inifap.gob.mx)

**Palabra clave:** Variedades, Rendimiento y Grano.

### Introducción

En México el trigo está clasificado en cinco grupos de calidad, los cuales se basan en las características físicas del grano y fuerza del gluten (DNG, 1994). El trigo harinero se incluye en cuatro de los cinco grupos y es uno de los cereales con mayor demanda en México, la superficie más sembrada se encuentra en el Bajío y Estados del centro del país (SIAP, 2020). El mejoramiento genético de este grupo de trigo ha logrado generar variedades como BORLAUG 100 que tiene rendimiento similar a las variedades de trigo cristalino (Chávez *et al.*, 2021). En el Valle de Mexicali, durante el ciclo agrícola 2022-2023 se sembraron 45,190 hectáreas, de las cuales aproximadamente el 30% son sembradas con variedades de trigo harinero donde BORLAUG 100 ocupa la mayor superficie. El objetivo es evaluar el rendimiento y contenido de proteína en grano de variedades de trigo harinero liberadas para su siembra en el Valle de Mexicali.

### Materiales y Métodos

El ensayo se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2022-2023, en el Campo Experimental Valle de Mexicali, el cual pertenece al INIFAP, en Mexicali, Baja California. El experimento se realizó en un suelo de textura franco arcilloso y la preparación de terreno consistió en barbecho, disqueo doble, floteo, surcado a 75 cm de separación, en el cual se establecieron dos hileras sobre el lomo del surco con una densidad de 70 kg ha<sup>-1</sup>. El riego de germinación fue el 22 de diciembre de 2022, la fertilización química se realizó en función de un rendimiento esperado de 8 t ha<sup>-1</sup> con la fórmula 280-80-00, de la cual se aplicó el 100% del fosforo y el 25% de la fertilización nitrogenada al momento de la siembra, un 30% en la etapa de amacollo el cual coincide con el primer riego de auxilio, el otro 30% en la etapa de encañe y el 15% restante en antesis. Se aplicaron cuatro riegos de auxilio (0-45-65-85-103). Los factores a evaluar fueron: el rendimiento de grano, el cual se obtuvo de cosechar de manera mecánica toda la parcela experimental usando una trilladora marca wintersteiger. Para analizar la variable de proteína, se tomó una muestra de 400g y usando un determinador de proteína marca Pertens se obtuvo el porcentaje de proteína acumulado en el grano. Los días a madurez fisiológica se consideraron cuando el pedúnculo de la espiga cambia de color verde a amarillo paja. La unidad experimental fue de 2 surcos de 3 metros de largo (4.5 m<sup>2</sup>), los datos se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones y cinco tratamientos, considerando a las variedades como tratamientos (Cuadro 1). El rendimiento de grano se sometió a un análisis de varianza y una prueba de medias tukey al 5%. Para la variable de proteína solo se consideraron los promedios.

**Cuadro 1.** Variedades evaluadas en la investigación.

Variedad	Año de liberación	Características por las que fue liberada	Fuente
BORLAUG 100	2014	Rendimiento	Chávez, <i>et. al.</i> , 2021
GALIA F2011	2011	Calidad	Rodríguez <i>et. al.</i> , 2013
Paz F2014	2014	Calidad	
CIANO M2018	2018	Rendimiento	Chávez, <i>et. al.</i> , 2021
Nohely F2018	2018	Calidad	Alvarado <i>et. al.</i> 2021

## Resultados y discusiones

Si la fuente de variación que se está estudiando es el comportamiento de las variedades en función del rendimiento, el análisis de varianza nos muestra que F calculada (5.659) es mayor que F de tablas (3.056), esto nos indica que hay una o más de una variedad diferente en rendimiento y por lo tanto hay diferencias estadísticas (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Análisis de varianza del rendimiento de grano.

Fuente de variación (FV)	Grados de libertad (GI)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrados medios (CM)	F calculada (Fc)	F de tablas (Ft)
<b>Variedad (Tratamiento)</b>	4	3.33	0.832	5.659	3.056*
<b>Error</b>	15	2.21	0.147		
<b>Total</b>	19	5.54			

Las variedades de trigo tuvieron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ), siendo Nohely F2018 la mejor del grupo, superando a la variedad testigo (Borlaug 100) con 5.6%. Alvarado *et al.* (2021), reportaron que esta variedad superó a BORLAUG 100 con 1.7% en un promedio de dos años con cuatro riegos de auxilio, y mejoró la calidad industrial clasificándola como una variedad de gluten fuerte y con características de ser biofortificada, posicionándola como la primera variedad biofortificada en México. CIANO M2018 superó a Borlaug 100 con 2.8% en esta investigación; Chávez *et al.* (2021b) en tres años de evaluación con cuatro riegos de auxilio documentó que esta variedad superó con 6.2% a BORLAUG 100 (Figura 1). Con respecto a proteína los porcentajes variaron de 12.10% con Nohely F2018 a 12.65% con Paz F2014, se puede observar que al incrementar el rendimiento se disminuye la proteína (Figura 1). Los días a madurez fisiológica son una variable fenológica que nos indica el ciclo de las variedades, CIANO M2018 fue una de las variedades más tardías junto con la variedad Galia F2011. Rodríguez *et al.* (2013), estudiaron a Galia F2011 reportando una madurez fisiológica de 136 a 142 días después de la siembra, en este estudio esta variedad se comportó muy similar al presentar su madurez fisiológica a los 140 días. Chávez, *et al.* (2021b), reportaron a CIANO M2018 con 123 días a madurez bajo condiciones del Valle del Yaqui, en este estudio bajo condiciones del Valle de Mexicali con cuatro riegos de auxilio esta variedad alcanzó su madurez a los 135 días.

## Conclusiones

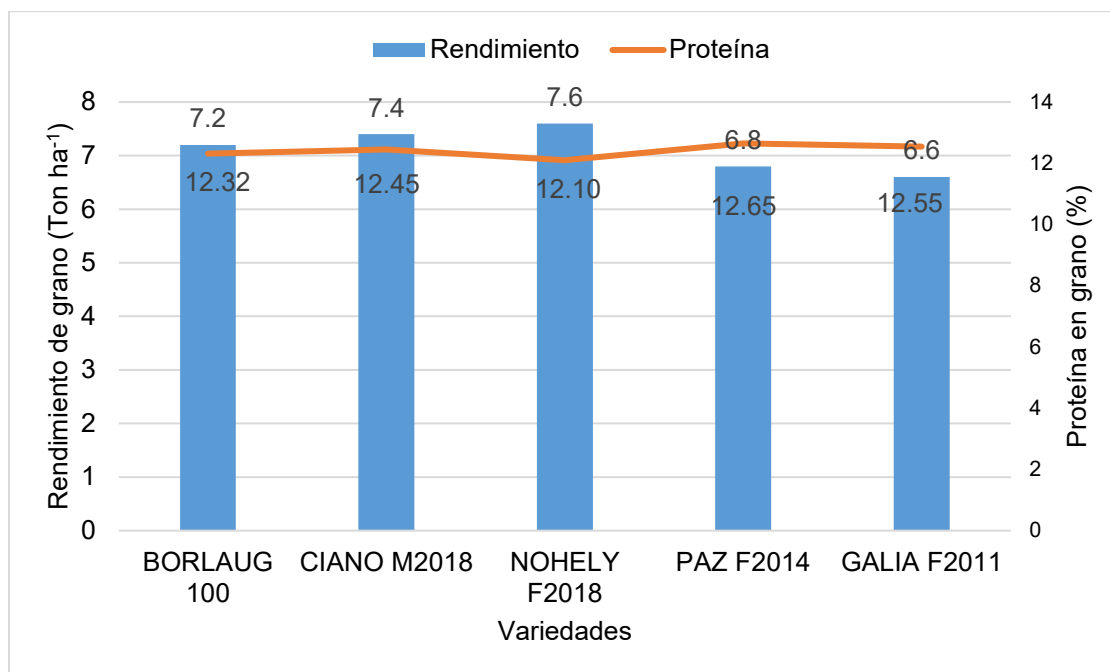
CIANO M218 y Nohely F2018 fueron las variedades con mayor rendimiento y con proteínas superiores a 12% ambas variedades superan al testigo más sembrado en la región. Los trigos sembrados bajo las condiciones del valle de Mexicali alargan su ciclo de 10 a 12 días, como se observa con CIANO M2018.

## Agradecimientos

Se agradece al laboratorio de calidad del Campo Experimental Norman E. Borlaug el cual pertenece al INIFAP, por el apoyo brindado para facilitar el equipo que se usó para determinar la proteína en el grano.

## Fuente financiera

INIFAP y parcialmente CONAHCYT



**Figura 1.** Rendimiento de grano y contenido de proteína de variedades de trigo duro.

### Referencias bibliográficas

- Alvarado P., J. I., Chávez V., G., Govindan, V., Camacho C., M. A., Martínez C., E., Huerta E., J., Hortelano SR. R., Borbón G., A., Villaseñor M. H. E., Díaz C., H. L., Vargas R., Y. N. (2021). Nohely F2018, nueva variedad de trigo harinero para el Valle de Mexicali y norte de Sonora, México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (2): 273 – 274.
- Chávez V., G., Borbón G., A., Díaz C., H. L., Alvarado P., J. I., Huerta E., J., García L., E. y Fuentes D. G. (2021a). CIANO M2018: nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (3): 477 – 479.
- Chávez V., G., Camacho C., M. A., Alvarado P., J. I., Huerta E., J., Villaseñor M. H. E., Ortiz M., J. I. y Figueroa L., P. (2021b). Borlaug 100, variedad de trigo harinero para condiciones de riego del noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 44 (1): 123 – 125.
- Dirección General de Normas (DNG). NOM-FF-36. (1994). Productos alimenticios no industrializados cereales. Trigo (*Triticum estivum* L. y *Triticum durum* Desf.) Especializaciones y métodos de prueba. 11 p.
- Rodríguez G., R. E., García L., A. M., Paz H., J. J., Porrás M., J., Ponce M., J. F., Noris R., F., Cruz V., M., Partida R., L. (2013). Galia F-2011', variedad de trigo harinero para el Valle de Mexicali, B. C. y San Luis Río Colorado, Son., México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 36 (2): 181 – 182.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. AGRICULTURA. Cd. de México. [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_agricola/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/).(Agosto2023).

## EFFECTO DE RIZOBACTERIAS EN EL CULTIVO AEROPÓNICO DE LECHUGA

Aldo Gutiérrez-Chávez<sup>1</sup>, Jared Hernández-Huerta<sup>1\*</sup>, Loreto Robles-Hernández<sup>1</sup>, Ana Cecilia González-Franco<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua.

\*Autor para correspondencia: [jahuerta@uach.mx](mailto:jahuerta@uach.mx)

**Palabras clave.** Hortalizas de hoja, cultivo sin suelo, microorganismos benéficos

### Introducción

En un mundo donde la escasez de recursos hídricos y la eficiencia en la producción sostenible de alimentos son cruciales, la agricultura enfrenta un desafío central. Los métodos tradicionales de cultivos se ven obstaculizados por la creciente demanda de agua, especialmente en regiones propensas a sequías y cambios climáticos impredecibles. En respuesta, han surgido técnicas como la aeroponía, que busca revolucionar la producción de alimentos. La aeroponía es una técnica de cultivo sin suelo y surge como una solución eficiente en uso de agua (Lakhiar *et al.*, 2020). A diferencia de métodos tradicionales, en la aeroponía las raíces de las plantas se suspenden en el aire y se rocían con una fina neblina de nutrientes esenciales para su crecimiento (Eldridge *et al.*, 2020). Esto no solo elimina la necesidad de grandes volúmenes de suelo, sino que también optimiza el uso del agua al dirigir directamente los nutrientes a las raíces de las plantas. En este contexto, la investigación sobre cómo mejorar aún más la eficiencia y los rendimientos de los cultivos en el sistema aeropónicos han llevado a la consideración de la utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV). Estos microorganismos han demostrado su capacidad para establecer simbiosis beneficiosa con las raíces, facilitando la absorción de nutrientes y estimulando el crecimiento (Aloo *et al.*, 2022). El potencial de las RPCV para abordar los desafíos hídricos y maximizar la producción en sistemas aeropónicos han ganado interés recientemente.

### Objetivo

Evaluar el potencial de *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Rhizobium etli* como promotores del crecimiento en lechuga italiana cultivada en un sistema aeropónico vertical.

### Materiales y métodos

En este estudio, se seleccionaron las cepas *Bacillus subtilis* QST 713 (Bs), *Azospirillum brasilense* (Ab) y *Rhizobium etli* (Re), como rizobacterias promotoras de crecimiento de lechuga italiana variedad Kireve RZ. Plántulas de 15 días de edad, se establecieron en sistemas aeropónicos verticales individuales. La solución nutritiva utilizada en el sistema consistió en 5.40 mEq/l KNO<sub>3</sub>, 4.40 mEq/l NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 2.6 mEq/l Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, 1.0 mEq/l MgSO<sub>4</sub>, 8 ppm, 8 ppm Fe (EDTA-Fe 6 %), 1 ppm de B (ácido bórico), 12 ppm de Micro Fetrilon ( 9 % MgO, 3 % S, 4 % Fe, 4 % Mn, 1.5 % Cu, 1.5 % Zn, 0.5 % B, y 0.1 % Mo), con un pH de 6.0 a 6.5, una conductividad eléctrica de 1.5-2.5 mS/cm y nebulizaciones (10 L h<sup>-1</sup>) en intervalos de 10 min durante todo el ensayo. El experimento se llevó a cabo en condiciones de invernadero con una temperatura media de 27 °C y una humedad relativa promedio de 70%. El diseño experimental fue al azar y se conformó por cuatro tratamientos (n=3): solución nutritiva + rizobacterias a una concentración de 1x10<sup>8</sup> UFC/mL (Bs, Ab y Re) y un grupo control de solución nutritiva sin rizobacterias(C). Después de 31 días, se midieron parámetros vegetativos, como longitud de raíz, número de hojas, diámetro y tamaño de cabeza de lechuga, biomasa fresca y seca, pigmentos fotosintéticos y el contenido de macro y micronutrientes. Los resultados se analizaron mediante ANOVAs y pruebas de Tukey (P>0.05) utilizando el software Infostat 2020.

### Resultados y discusión

Al final del ensayo, se observó una mejora significativa en el desarrollo de las plantas de lechuga al utilizar la mayoría de los microorganismos evaluados (P<0.05) (Cuadro 1 y 2). Con el empleo de Re se registró un incremento de hasta 11.6% en el número de hojas en comparación con el grupo de control. La longitud de raíz aumentó en un 64.18% al utilizar Bs y Ab en comparación con el grupo de control. Además, el diámetro

de cabeza de lechuga incrementó 21.25%, respecto al grupo control con Bs y Re. Por otra parte, el tamaño de cabeza de lechuga incrementó de entre 7.8 a 39.2% con la aplicación de las rizobacterias. En cuanto a los pigmentos fotosintéticos, se observó un incremento del 50.45% en la clorofila a debido a la influencia de Bs y Re. La clorofila b aumentó en un 48.43% con el uso de Bs, Re y Ab. Por otro lado, los carotenoides se incrementaron en un 31.21% al emplear Bs.

En cuanto a la biomasa fresca, se observaron los siguientes incrementos en comparación con el grupo de control: el peso fresco de hoja y tallo aumentaron en un 77.25% y 70.5%, respectivamente, al utilizar Bs; en contraste el peso fresco de raíz no se incrementó. Respecto a la biomasa seca, se encontró lo siguiente en comparación con el grupo de control: los tratamientos con Re y Ab mostraron el mayor peso seco de hoja con un aumento del 14.25%; el peso seco de tallo registró una reducción del 50% al utilizar Bs, pero Re y Ab fueron iguales al control; el peso seco de raíz se redujo hasta 56% al emplear Bs.

**Cuadro 1.** parámetros vegetativos y pigmentos fotosintéticos de lechuga italiana variedad kireve tratadas con cepas de *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Rhizobium etli* en un sistema aeropónico vertical, a los 31 días después de la inoculación.

Trat	LR (cm)	DC(cm)	Hojas	TL (cm)	Clorofila a (mg. g <sup>-1</sup> PF)	Clorofila b (mg. g <sup>-1</sup> PF)	Carotenoides (mg.g <sup>-1</sup> PF)
<b>C</b>	19.14b*	26.70c	17.2 c	14.0 d	1.75 b	0.75 b	0.34 ab
<b>Bs</b>	30.71a	32.35a	18.4 ab	19.5 a	2.68 a	1.15 a	0.45 a
<b>Re</b>	25.64ab	32.40a	19.2 a	17.4 b	2.59 a	1.19 a	0.37 ab
<b>Ab</b>	32.14a	29.90b	17.6 bc	15.1 c	2.20 ab	1.09 a	0.32 b
<b>DMS</b>	11.0	1.59	1.04	0.96	0.57	0.22	0.17

\*Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 3$ ). El DMS= diferencia mínima significativa. LR= longitud de raíz, TL= tamaño de cabeza de lechuga, DC= diámetro de cabeza de lechuga.

**Cuadro 2.** Biomasa fresca y seca de lechuga italiana variedad Kireve tratadas con cepas de *Bacillus subtilis*, *Azospirillum brasilense* y *Rhizobium etli* en un sistema aeropónico vertical, a los 31 días después de la inoculación.

Trat	Peso fresco (g planta <sup>-1</sup> )			Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )		
	Hoja	Tallo	Raíz	Hoja	Tallo	Raíz
<b>C</b>	49.91 b	2.07 b	17.22 a	2.42 a	0.36 a	0.55 a
<b>Bs</b>	88.47 a	3.53 a	17.78 a	1.76 b	0.18 b	0.24 c
<b>Re</b>	50.27 b	1.97 b	17.57 a	2.85 a	0.41 a	0.34 b
<b>Ab</b>	37.20 b	1.45 b	15.81 a	2.68 a	0.42 a	0.42 ab
<b>DMS</b>	17.94	0.66	3.96	0.72	0.10	0.17

\*Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 3$ ). El DMS= diferencia mínima significativa.

Los mecanismos por medio del cual las rizobacterias estimularon el crecimiento en las plantas, puede deberse a la producción de reguladores de crecimiento por parte de los microorganismos en la rizosfera, ya que esto estimula el desarrollo del sistema radicular, permitiendo una mejor absorción de agua y nutrientes en la planta y con ello un incremento en el contenido de materia seca (Aloo *et al.*, 2022; Chiaranunt & White, 2023). La respuesta de los cultivos a las rizobacterias es variable, ya que dependerá de la elección del microorganismo, la cepa, el genotipo de la planta y las condiciones ambientales de manejo del cultivo. Lo anterior puede explicar los resultados obtenidos en los parámetros vegetativos en este estudio, donde la respuesta de la variedad Kireve a la inoculación de *A. brasilense*, *B. subtilis* y *R. etli* fue diferente en cada cepa.

Todos los tratamientos mostraron variaciones en los niveles de macronutrientes en relación a los rangos ideales propuestos por Campbell (2009) para la nutrición óptima en cultivos hidropónicos de lechuga (Cuadro 3). En particular, se observó que los niveles de N-total alcanzaron los rangos de suficiencia mediante el uso de Bs y Re. De igual manera, solo el tratamiento Ab alcanzó el rango ideal de Mg. En contraste, se registraron niveles superiores al rango óptimo en el caso del P el tratamiento Re. Asimismo, los niveles de K excedieron los valores de suficiencia en los tratamientos Ab y C. En relación al Ca, los niveles se mantuvieron dentro de los rangos ideales. En cuanto al contenido de micronutrientes, se



observaron niveles de Fe y Mn que se encontraban dentro del rango óptimo. Por otro lado, solo con el uso de Ab y el C, tuvieron niveles de suficiencia óptimos en Cu y Zn, respectivamente.

**Cuadro 3.** Comparación de medias del contenido nutrimental de lechuga italiana variedad Kireve tratadas con rizobacterias bajo un sistema aeropónico vertical, a los 31 días después del trasplante.

Tratamiento	Macronutrientes (%)					Micronutrientes (ppm)			
	N	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn
<b>Bs</b>	4.70 a	0.58 b	9.80 b	1.55 a	0.32 a	4.71 b	103.67 c	67.50 a	181.00 b
<b>Re</b>	4.61 a	0.85 a	8.95 b	1.29 a	0.29 a	3.15 c	88.33 c	37.42 b	204.33 a
<b>Ab</b>	4.34 a	0.50 b	11.47 ab	1.50 a	0.37 a	5.96 a	148.83 b	42.17 b	150.87 c
<b>C</b>	4.38 a	0.48 b	15.96 a	1.29 a	0.34 a	4.56 b	198.90 a	27.89 b	64.17 d
<b>DMS</b>	0.81	0.16	4.6	0.40	0.13	0.51	38.45	24.32	19.37
<b>Rangos de suficiencia**</b>	4.5-6.5	0.3-0.8	6.0-10.0	1.0-2.0	0.35-0.75	5-15	50-200	20-200	20-75

\*Las medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ,  $n = 3$ ). El DMS representa la diferencia mínima significativa entre tratamientos en cada columna.\*\* Valores correspondientes a lechuga cultivada bajo invernadero de acuerdo con Campbell (2009).

El análisis del contenido de nutrientes por tratamiento y elemento reveló diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) solo en los elementos P, K, Cu, Fe, Mn y Zn. En el caso del P y Zn, el tratamiento Re indujo incrementos de 77.0% y 218.0%, respectivamente, siendo el mejor tratamiento. En cuanto a los niveles de K y Fe, el tratamiento control demostró ser el más efectivo. Así mismo, se encontró que el tratamiento Ab mejoró el contenido de Cu en un 30.7%, mientras que el tratamiento Bs incrementó la concentración de Mn en un 142.0%.

## Conclusiones

Las rizobacterias tuvieron un efecto positivo sobre los parámetros vegetativos de lechuga italiana, variedades Kireve. *B. subtilis* mejoró los parámetros vegetativos, lo que permitió obtener las lechugas con la mejor longitud de raíz, diámetro, altura de planta, número de hojas y pesos frescos, características deseables en el mercado. Así mismo, *R. etli* mejoró los parámetros de longitud de raíz, diámetro de cabeza, número de hojas y pigmentos. El análisis de nutrientes en los diferentes tratamientos y elementos reveló que los tratamientos con *R. etli* mejoran el contenido de P y Zn; el tratamiento con *A. brasilense* mejora el contenido Cu, y el tratamiento con *B. subtilis* mejora el contenido de Mn. Los resultados de este estudio indicaron que es factible el uso de cualquiera de las rizobacterias en la producción de lechuga italiana variedad Kireve en aeroponía ya que permiten obtener plantas de mayor tamaño y contenido de nutrientes permitiendo mejorar aún más la eficiencia de este sistema de cultivo.

## Referencias bibliográficas

- Aloo, B. N., Tripathi, V., Makumba, B. A., & Mbega, E. R. (2022). Plant growth-promoting rhizobacterial biofertilizers for crop production: The past, present, and future. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1002448.
- Campbell, C. R. (2009). Reference Sufficiency Ranges for Plant Analysis in the Southern Region of the United States. Available at: <http://www.clemson.edu/sera6/scsb394notoc.pdf> [acceso agosto 9, 2023].
- Chiaranunt, P., & White, J. F. (2023). Plant Beneficial Bacteria and Their Potential Applications in Vertical Farming Systems. *Plants*, 12(2), 400.
- Eldridge, B. M., Manzoni, L. R., Graham, C. A., Rodgers, B., Farmer, J. R., Dodd, A. N. (2020) Getting to the roots of aeroponic indoor farming. *New Phytol.* 2020, 228, 1183–1192.
- Lakhiar, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., Tunio, M. H., Ahmad, F., & Solangi, K. A. (2020). Overview of the aeroponic agriculture—An emerging technology for global food security. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(1), 1-10.

## DETERMINACIÓN DE CONTAMINANTES DEL RÍO NEXAPA EN LA ZONA DE SAN MARTÍN ALCHICHICA LOCALIZADA EN IZÚCAR DE MATAMOROS, PUEBLA

Renata Aguilar-Corrales<sup>1</sup>, Martha Patricia González-Araoz<sup>1</sup>, Gabriela Vidal-García<sup>1</sup>, Rosalía Torralba-Sánchez<sup>2</sup>, Indira Loyda Cordero-Damazo<sup>2</sup>, María Ana Pérez-Cruz<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, C.U. <sup>2</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Mixteca, Campus Izúcar de Matamoros <sup>3</sup>Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas, C.U.

\*Autor para correspondencia: [maria.perezc@correo.buap.mx](mailto:maria.perezc@correo.buap.mx)

**Palabras clave.** Agua superficial, contaminación, cuantificación.

### Introducción

El río Nexapa nace en las faldas del Popocatepetl y tiene como afluentes los ríos Atotonilco, Atila, Cantarranas y escurrimientos de las barrancas la Leona y Cuescomate, finalmente desemboca en el río Atoyac con un flujo de 4 m<sup>3</sup>/s. En su trayectoria el río atraviesa comunidades donde coexisten zonas agrícolas y urbanas de los municipios de Atlixco e Izúcar de Matamoros, aun cuando es un río menor se reconoce que presenta índices de contaminación similares al río Lerma, los contaminantes reportados son principalmente contaminación fecal y la presencia de químicos por impactos antropogénicos de acuerdo con el estudio de Navarro y colaboradores en 2013 (Navarro et al., 2013; CNA, 2005)

Por otro lado, considerando que el río Nexapa nace en las faldas un volcán activo el Popocatepetl, el cual todo el año tiene emisiones de gases, vapor y cenizas, estas últimas de acuerdo con el informe de 2013 del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático Monitoreo están compuestas por óxidos, principalmente de Si, Al y Fe (80 %), Mg, Ca, Na, K, así como la presencia de metales pesados Cd, Pb, V, Cr, Co, Ni y Zn. Además de la ceniza y el vapor de agua, hay emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y en menor cantidad CO, H<sub>2</sub>, HCl, He, H<sub>2</sub>S y HF. Estos productos son dispersados axial y longitudinalmente por la acción del viento y la lluvia ( INECOL, 2013).

Los puntos seleccionados para este estudio se hallan al norte del municipio de Izúcar de Matamoros, y se cuenta con una planta de tratamiento de aguas municipales moderna [4], esta se encuentra al sur del municipio, y por tanto lejos de los puntos de muestra. En este trabajo se consideró que el río es el receptor de aguas residuales de la urbanización cercana a su rivera (La Galarza y Santa María Tatetla), por lo que resulta de interés evaluar la evolución de concentración de contaminantes en un trayecto no urbanizado.

### Objetivo

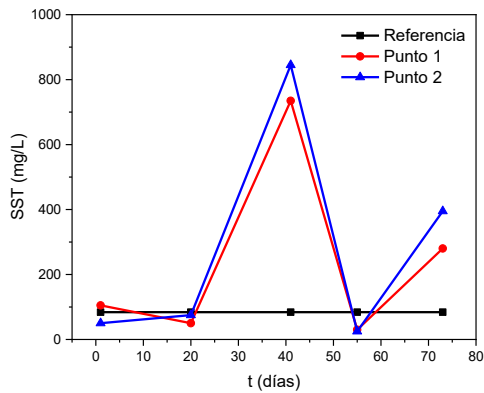
Determinar si el agua del río Nexapa alcanza a reducir la concentración de los contaminantes aportados en la zona urbanizada, durante su tránsito por una zona no urbanizada.

### Materiales y métodos

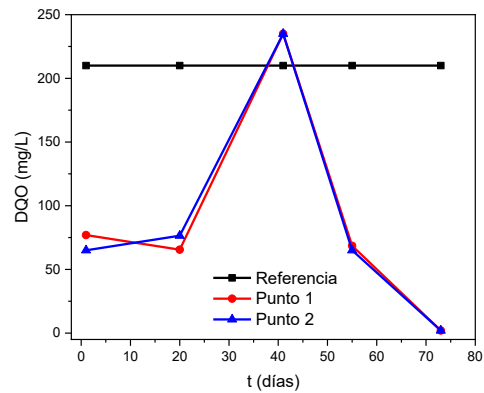
#### *Selección del sitio de muestreo:*

Para este estudio se determinaron dos sitios de muestreos de agua del Río Nexapa los cuales cuentan con accesibilidad para garantizar la toma de muestra de agua, donde se llevaron a cabo 5 muestreos en un periodo de 73 días.





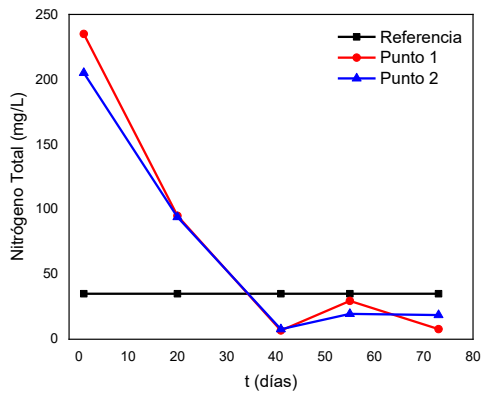
**Figura 2.** Sólidos Suspendedos Totales (SST).



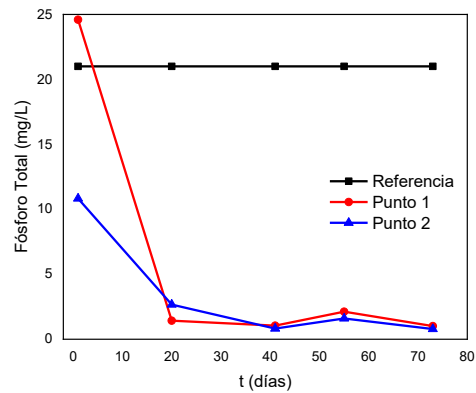
**Figura 3.** Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Con respecto al Nitrógeno Total, se excede el valor de referencia de 35 mg/L hasta 6 veces tomando como base el primer muestreo y hasta 3 veces en el segundo muestreo (20 días), pero tienden a disminuir sustancialmente en los muestreos siguientes, y ocurre un ligero repunte en el muestreo del día 55 pero este incremento no rebasa el valor de referencia (**Figura 4**).

El contenido de Fósforo Total se aprecia en la **Figura 5**, este parámetro únicamente excede el valor de referencia (21 mg/L) de en el punto 1 en el primer muestreo, existiendo una diferencia de hasta 10 % entre el punto 1 y el punto 2. No obstante, después del primer muestreo, en los 4 muestreos posteriores ambos puntos presentan valores similares.



**Figura 4.** Nitrógeno Total (Nt).



**Figura 5.** Fósforo Total (Pt).

Por lo que se refiere a la concentración de As en el río Nexapa, es preocupante ya que no sólo excede en casi 30 veces el valor de referencia de 0.4 mg/L (**Figura 6**), el cual es altamente lixiviable, asimismo su presencia en concentraciones tan altas es indicativa de que en la zona la matriz de suelo contiene arsénico, ya que como puede observarse tiende a un valor aproximadamente constante. En zonas áridas el aumento en la concentración de arsénico en agua es favorecido por procesos de evaporación, de acuerdo con Herrera et al., en 2019 [5], esto se identificó en el río Loa al norte de Chile. De igual forma la concentración Cr es alarmante, ya que excede en más de 3 veces el valor de referencia de 1.5 mg/L, exhibiendo una tendencia ascendente (**Figura 7**), por lo cual su presencia puede ser atribuible a procesos industriales.

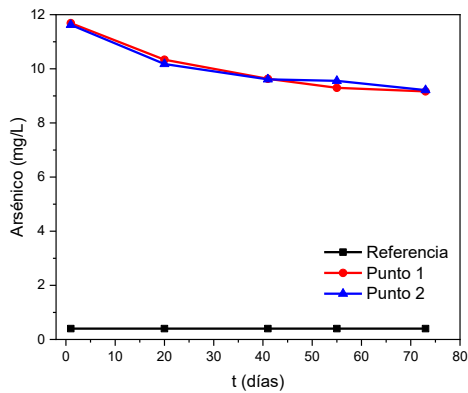


Figura 6. Concentración de As.

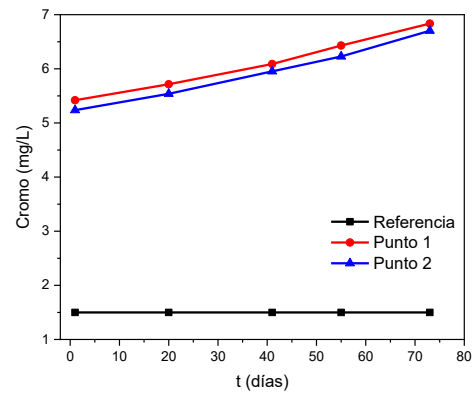


Figura 7 Concentración de Cr.

La cantidad de cloruros ( $\text{Cl}^-$ , mg/L) en el río se muestra en la **Figura 8**, en la mayoría de los muestreos es baja, pero en el día 41 disminuyó entre 40 y 50 %, para después regresar a los valores iniciales del muestreo. Por otro lado, en la **Figura 9** se presentan los resultados del análisis de flúor ( $\text{F}^-$ , mg/L), ahí se puede observar que el contenido fue alto en la mayoría de las muestras, por lo cual se puede asumir que hay ingreso por descarga de aguas industriales, esto se referencia en la NMX-AA-077-SCFI-2001 donde se menciona que la mayoría de las aguas no contienen más allá de 0.3 mg/L de fluoruros, excepto cuando se contaminan con desechos industriales o aguas negras. Tanto el  $\text{Cl}^-$ , como el  $\text{F}^-$  en el punto 1 como el 2 tienden a ser los valores similares.

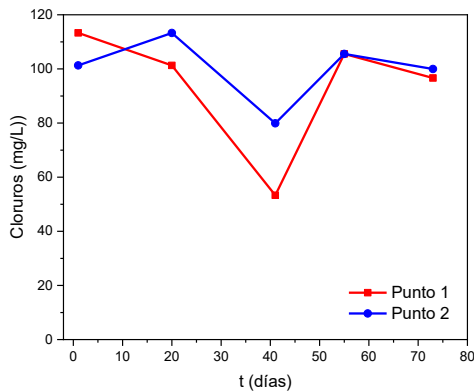


Figura 8. Contenido de cloruros.

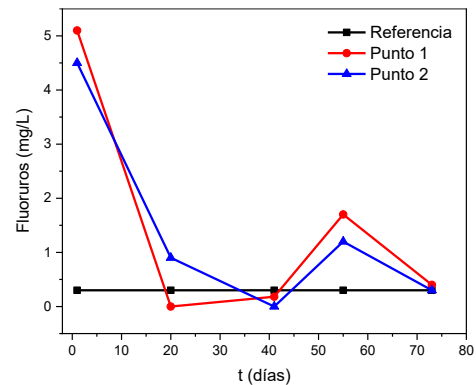


Figura 9. Contenido de fluoruros.

## Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos es notorio que las actividades antropogénicas han provocado un impacto negativo en la calidad del agua. En general, las concentraciones y/o contenido de los parámetros evaluados son similares para ambos puntos; pero, también es observable que en el primer muestreo el cual se realizó en una temporada carente de precipitación pluvial, los valores de SST, DQO, Nt, Pt,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{F}^-$ , los valores en el primer punto de muestreo fueron mayores que en el segundo, lo cual indicaría que efectivamente el río con un cauce constante puede reducir algunos contaminantes cuando pasa por una zona no urbanizada.

Por otro lado, dos de los parámetros de mayor preocupación son las concentraciones de As y Cr, estas se encuentran por encima de los límites permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-2021. Hasta el momento en este estudio no se ha determinado si el agua del río Nexapa es utilizada en algún punto como agua potable, esto depende de los usos y costumbre de la población que habita en las cercanías del río,



de ser así estaría poniendo en riesgo la salud de la población usuaria, dado que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda niveles máximos de 0.01 y 0.1 mg/L, respectivamente, para As y Cr en suministros públicos de agua potable. Por lo tanto, es de vital importancia tomar medidas para identificar la fuente de contaminación y así proponer alternativas de tratamiento para preservar la salud pública de los pobladores de la zona.

### **Agradecimientos y fuente financiadora**

Agradecemos al apoyo a la Dra. Margarita Teutli León por sus aportaciones en la elaboración de este trabajo y la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la BUAP por el financiamiento al proyecto 0014/2023 de Grupos de Investigación Interdisciplinaria

### **Referencias bibliográficas**

Navarro, A., Herrera, J., Caso, L., & Marrugo, J. (2013). Calidad del agua del río Nexapa: Tendencias espacio-temporales y sus implicaciones. *Ciencias Naturales y Exactas, Handbook TI.*—© ECORFAN—Valle de Santiago, Guanajuato, 83-97

CNA. (2005). Diagnóstico Preliminar de la cuenca del río Nexapa (Estado de Puebla) Comisión Nacional del Agua, Delegación Regional Puebla, 2005

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático Monitoreo – INECOL-. (2013). Informe Final de las Emisiones del Volcán Popocatepetl Determinación de los niveles de concentración de partículas suspendidas, óxidos de azufre y parámetros meteorológicos en zonas potencialmente impactadas que se encuentren fuera de la cobertura de los sistemas de monitoreo.

CONAGUA. (2021). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Herrera, V., Carrasco, C., Araneda, P., Varas, V., & Rojo, C. (2019). Riesgo ecológico potencial por arsénico en la desembocadura del río Loa, norte de Chile. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(3), 609-622.

## ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE TRIGO EN SONORA USANDO DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MANEJO DEL RIEGO Y DATOS CLIMÁTICOS DE REANÁLISIS

Sergio Iván Jimenez-Jimenez<sup>1</sup>, Fernando Cabrera- Carbajal<sup>2</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup>, Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>3</sup>, Jaime Macías-Cervantes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. <sup>2</sup>Sitio Experimental Valle del Mayo (SEMAY), INIFAP. <sup>3</sup>Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF), INIFAP.

\* Autor para correspondencia: [jimenez.sergio@inifap.gob.mx](mailto:jimenez.sergio@inifap.gob.mx)

### Introducción

La Huella Hídrica (HH) se refiere al volumen total de agua dulce empleado para la elaboración de un producto, donde la HH agrícola se refiere a la cantidad de agua consumida por los cultivos por unidad de rendimiento; incluye la HH<sub>verde</sub> que representa el agua de lluvia total evaporada en el terreno durante el periodo de crecimiento, la HH<sub>azul</sub> que representa el agua de riego y la HH<sub>gris</sub> que se refiere al agua dulce que asimila los contaminantes. La HH<sub>azul</sub> y HH<sub>verde</sub> se conocen en conjunto como HH de consumo.

La HH ha sido ampliamente destacado como una métrica efectiva para construir marcos de evaluación para el nexo entre agua, alimentos y energía. En este sentido, es necesario la estimación de estos indicadores de uso y eficiencia del agua para identificar las ineficiencias de los sistemas como un primer paso hacia la propuesta de soluciones. Donde se aborden diferentes opciones de manejo del agua.

En México existen diversos trabajos de cuantificación de HH para zonas agrícolas y años agrícolas específicos, donde una de las problemáticas más destacadas es la falta de información referente a la evapotranspiración de los cultivos, ya sea medida o estimadas con datos climáticos. Para el segundo caso, existen muchos huecos en la información por lo que los datos climáticos de re-análisis pueden ser una opción viable sobre todo en zonas agrícolas donde no se cuenta con una buena densidad de estaciones meteorológicas para obtener estimaciones confiables de ET<sub>0</sub>.

El objetivo de este trabajo es estimar la Huella Hídrica del trigo usando diferentes manejos de riego y con datos climáticos de re-análisis, con la finalidad de un determinar el uso del agua por el cultivo.

### Materiales y métodos

#### Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro del Distrito de Riego 041 Rio Yaqui, Son. (Figura 1) para el cultivo de trigo grano. En México, el trigo representa el 21% del consumo de granos básicos, ubicado en segundo lugar después del Maíz. Los estados de Sonora (236,472 has), Guanajuato (50,741), Baja California (47,929), Michoacán (43,859) y Sinaloa (42,620) concentraron cerca del 86 % de la superficie sembrada de trigo en el 2021 (SIAP, 2023).

Se sembró trigo grano variedad don Lupe en dos parcelas agrícolas en diciembre del 2022, las características de los sitios se encuentran dentro en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Características generales de los sitios de estudio.

Sitio	Área (ha)	Fecha de siembra	Densidad (kg ha <sup>-1</sup> )	Textura del suelo
CENEB	2.5	18/12/2022	80	Arcillosa
SIBOLIBAMPO	2.2	22/11/2023	80	Arcillosa



Figura 1. Zona de estudio.

#### Manejos de riego

Se dividió cada parcela experimental en tres tratamientos, como se muestra en la Figura 1. Donde a cada tratamiento le corresponde un cierto número de riegos de auxilio, que van desde 2 hasta 4 riegos. Además, se aplicaron riegos de presiembra, en el caso del CENEB se aplicó una lámina de 0.2098 m y en Sibolibampo fue de 0.15 m. Las láminas acumuladas aplicadas por cada tratamiento se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Lamina de riego aplicado por tratamiento en los sitios de estudio

Sitio	Tratamiento	Lamina de riego aplicado (cm)
CENEB	2 Auxilios	46.5
	3 Auxilios	56.10
	4 Auxilios	66.60
SIBOLIBAMPO	2 Auxilios	49.2
	3 Auxilios	62.2
	4 Auxilios	76.8

#### Calculo de ET<sub>c</sub> con datos observados y de re-análisis

Se estimó la Evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) usando la ecuación 1. Donde los valores de K<sub>c</sub> fueron obtenidos con el programa IRRIMODEL (Sifuentes *et al.*, 2016) adaptado para el cultivo del trigo de acuerdo a la calibración de un modelo integral usando información de estos tratamientos. Mientras que, la Evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>) se calculó con el método de FAO56-PM usando dos fuentes de información, el primero con datos observados en estaciones meteorológicas cercanas a cada parcela y el segundo con datos climáticos de reanálisis del sistema Nasa-Power (NP).

$$ET_c = (K_c) * ET_0 \quad (1)$$

Para el cálculo de la ET<sub>0</sub> observada, se descargaron variables climáticas de las estaciones de la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora (<https://www.siafeson.com/remas>, CESAVE-SIAFESON, 2023), donde para la parcela del CENEB se usaron los datos de la estación BLOCK 910 (CIANO), y para Sibolibampo fue BLOCK 1936 SIBOLIBAMPO.

En el caso de los datos climáticos de re-análisis de NP, lo datos están disponible en línea (<https://power.larc.nasa.gov>) y permite extraer series de variables agroclimatológicas disponibles hasta

para un periodo de 30 años, con cobertura mundial. De esta manera, se usaron las coordenadas de cada parcela y el periodo de tiempo de desarrollo del cultivo, para descargar las variables de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar.

#### Estimación de Huella hídrica

La huella hídrica de consumo de los cultivos se puede estimar siguiendo la metodología de Hoekstra *et al.* (2009).

$$HH_{consumo\ cultivo} = HH_{azul} + HH_{verde} \quad (2)$$

El componente verde de la huella hídrica de un cultivo ( $HH_{verde}$ ,  $m^3\text{ton}^{-1}$ ) se calcula como el agua verde utilizada por el cultivo ( $CWU_{verde}$ ,  $m^3\text{ha}^{-1}$ ) dividido por el rendimiento del cultivo ( $R$ ,  $\text{ton/ha}$ ), el componente azul ( $HH_{azul}$ ,  $m^3\text{ton}^{-1}$ ) se calcula de manera similar. El agua verde utilizada por el cultivo representa el agua de lluvia total evaporada en el terreno durante el período de crecimiento; y el "azul" representa el agua de riego. La suma se conoce como HH de consumo.

$$HH_{verde} = \frac{CWU_{verde}}{R} \quad (3)$$

$$HH_{azul} = \frac{CWU_{azul}}{R} \quad (4)$$

Los componentes verde y azul del agua utilizada por el cultivo ( $CWU$ ,  $m^3\text{ha}^{-1}$ ) se calculan teniendo en cuenta la acumulación de la evapotranspiración diaria ( $ET$ ,  $\text{mm/día}$ ) durante el período de crecimiento completo:

$$CWU_{verde} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{verde} \quad (5)$$

$$CWU_{azul} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul} \quad (6)$$

$$CWU_{consumo} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_c \quad (7)$$

En el que  $ET_{verde}$  representa la evapotranspiración del agua verde y  $ET_{azul}$  la evapotranspiración de agua azul. El factor 10 convierte la lámina del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en  $m^3/\text{ha}$ . La suma se realiza sobre el período comprendido entre el día de la siembra (día 1) hasta el día de la cosecha ( $lgp$  es igual a la duración del período de crecimiento en días).

De acuerdo a lo anterior, la  $HH_{consumo}$  depende de dos variables básicas, que son la  $ET$  y rendimiento, la primera variable se describe en la sección anterior y la segundo se basa en observaciones de campo para cada tratamiento, donde se obtuvieron rendimiento entre 6.591 y 8.901  $\text{ton/ha}$ .

## Resultados y discusión

#### $ET_c$ con datos medidos y de re-análisis

En lo que respecta a los valores de  $ET_c$  entre los observados y los de NP System, se observa que se encontraron menores diferencias en el sitio Sibolibampo que en CENEB (diferencias de hasta 50  $\text{mm/ciclo}$ ). Esto indica que sí no se cuenta con datos medidos en una fecha específica y se desea usar los datos de NP en parcelas cercanas a CENEB sería necesario considerar una corrección de sesgo, sobre todo en las etapas posteriores al espigado (Figura 2). Mientras que, en el sitio Sibolibampo se podría usar como una opción cuando no se cuente con información climática en un cierto periodo, aunque faltaría un análisis más amplio.

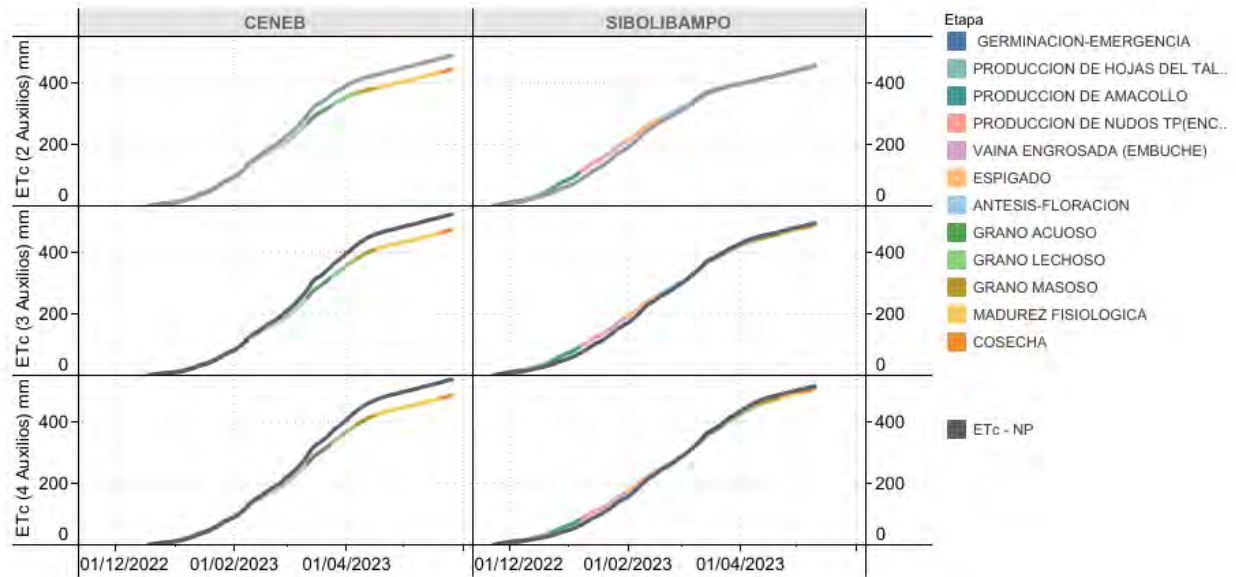


Figura 2. Variación de la ETc acumulada usando datos observados y los de Nasa-Power System.

#### Huella hídrica del trigo

La huella hídrica de consumo del trigo para tratamientos analizados fue de 550 – 672 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup> (Cuadro 3), donde el valor más alto se registró en el tratamiento de 2 Auxilios del sitio CENEB, y el más bajo en el tratamiento de 3 auxilios de Sibolibampo. El valor más alto de HH está influenciado por el rendimiento bajo (6.591 ton ha<sup>-1</sup>) que se obtuvo, que está 1.7 ton ha<sup>-1</sup> por debajo del rendimiento promedio de los otros tratamientos. En general, se observa que los valores de HH del sitio Sibolibampo está por debajo que CENEB, esto puede estar influenciado por la fecha de siembra. En lo que respecta a los tratamientos, se encontró que, en promedio de los dos sitios, el de 3 auxilio es ligeramente menor (583 m<sup>3</sup>/ton) que el de 4 Auxilios (586 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>).

Cuadro 3. Valores de HH de los tratamientos analizados.

Sitio	Trat	ETc (mm)	ETc NP (mm)	HH_EM (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	HH-NP (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )
CENEB	2 Auxilios	443.33	487.86	672.62	740.19	67.57
	3 Auxilios	472.67	523.06	617.14	682.94	65.80
	4 Auxilios	485.88	536.69	598.00	660.54	62.54
SIBOLIBAMPO	2 Auxilios	457.33	453.19	568.04	562.90	- 5.14
	3 Auxilios	489.86	494.23	550.34	555.26	4.91
	4 Auxilios	506.69	515.40	573.96	583.82	9.86
<b>Mínimo</b>	<b>SIBOLIBAMPO (3 AUXILIOS)</b>			<b>550.34</b>	<b>555.26</b>	<b>67.57</b>
<b>Máximo</b>	<b>CENEB (2 AUXILIOS)</b>			<b>672.62</b>	<b>740.19</b>	<b>-5.14</b>
	<b>Promedio</b>			<b>596.68</b>	<b>630.94</b>	<b>34.26</b>

Los valores de HH encontrados en este trabajo están por debajo de los valores promedios globales encontrados por Mekonnen & Hoekstra (2011) que reportan valores de HH<sub>consumo</sub> de 1,619 (HH<sub>azul</sub> de 1277 y 342 de HH<sub>verde</sub>); además, se ha reportado que el rango de HH<sub>consumo</sub> encontrado en diversos estudios fluctúa entre 237–1,647 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup> (Feng *et al.*, 2021). Mekonnen & Hoekstra, (2010) reportan que la HH<sub>consumo</sub> promedio en México en el periodo de 1996-2005 es de 892 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>. Los valores anteriores permiten observar que la HH<sub>consumo</sub> encontrada en este trabajo son menores a los promedios nacionales ya que se ocupa de sitios específicos.



## Conclusiones

La huella hídrica del trigo en dos parcelas agrícolas dentro del DR041 para el año agrícola 2022-2023 fluctuó entre 550 – 672 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>, donde el tratamiento de 3 auxilios presentó los valores promedios más bajos de HH. En el caso de los datos climáticos de reanálisis como NP, se encontró que la diferencia promedio en HH en el sitio de Sibolibampo fue de apenas 3.2 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>, mientras que, en CENEB fue de 65 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>. Lo anterior indica que es necesario una corrección de sesgo antes de emplear los datos de NP system en parcelas cercanas a CENEB.

## Referencias bibliográficas

- Feng, B., Zhuo, L., Xie, D., Mao, Y., Gao, J., Xie, P., & Wu, P. (2021). A quantitative review of water footprint accounting and simulation for crop production based on publications during 2002–2018. *Ecological Indicators*, 120, 106962. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2020.106962>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(7), 1259–1276. <https://doi.org/10.5194/HESS-14-1259-2010>
- 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>
- SIAP. (2023, Enero 18). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sifuentes, E., Macías, J., Ojeda, W., González, V. M., Salinas, D. A., & Quintana, J. G. (2016). Irrigation management for potato crops based on climate variability: Application in irrigation district 075, Fuerte river, Sinaloa, Mexico. *Tecnología y Ciencias Del Agua*.

## MONITOREO DEL CULTIVO DEL TRIGO BASADO EN SENSORES REMOTOS

Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup> \*, Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>, Fernando Cabrera- Carbajal<sup>2</sup>, Ernesto Sifuentes-Ibarra<sup>3</sup>, Jaime Macías-Cervantes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. <sup>2</sup>Sitio Experimental Valle del Mayo (SEMAY), INIFAP. <sup>3</sup>Campo Experimental Valle del Fuerte (CEVAF), INIFAP.

\* Autor para correspondencia: [marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx](mailto:marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Imágenes satelitales, índice de vegetación, trigo.

### Introducción

El trigo es el segundo cereal más importante en la alimentación de los mexicanos; representa el 9.7% de la producción nacional de granos, además es un cultivo estratégico básico para el logro de la soberanía alimentaria (SADER, 2023). El cultivo de trigo requiere un clima templado durante la fase vegetativa y un clima cálido durante la fase reproductiva. Actualmente con los efectos del cambio climático, especialmente en el aumento de la temperatura, existe un gran desafío en el aumento del rendimiento de los cultivos. Las altas temperatura en el cultivo del trigo reduce el macollamiento durante la fase vegetativa y la duración del llenado de grano durante la fase reproductiva en condiciones normales de siembra, por lo que acorta el período de crecimiento en relación con el rendimiento. Sin embargo, la selección de la variedad adecuada y las condiciones de manejo del agua puede mantener la mayor productividad del trigo en cualquier región. Variables como los parámetros biofísicos del cultivo (cobertura del dosel, índice de área foliar, clorofila, contenido de nitrógeno), los parámetros del suelo (humedad, nutrientes, pH) y el rendimiento del cultivo deben monitorearse para lograr un crecimiento óptimo del trigo.

Las tecnologías de los sensores remotos son herramientas para comprender los cambios espacio temporales en el crecimiento de los cultivos y a nivel campo para mejorar la producción agrícola utilizando enfoques de agricultura inteligente y agricultura de precisión. Los sensores remotos agrícolas se han utilizado con éxito como una alternativa eficaz para obtener información de campo mediante el uso de varios tipos de índices de vegetación calculados a partir de la reflectancia o radiancia de bandas específicas. En este sentido el objetivo de la investigación es el monitoreo agrícola del cultivo del trigo usando imágenes satelitales (Sentinel y Landsat) para conocer la variabilidad espacial y tomar acciones de manejo cuando se requieran.

### Materiales y métodos

#### Zona de estudio y datos del cultivo

El estudio realizó durante el ciclo otoño-invierno (OI) 2022-2023 en lotes experimentales ubicadas en las coordenadas 27.3665972 N, -109.9240155 W del Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en la calle Norman E. Borlaug, km 12, Valle del Yaqui, Ciudad Obregón, Sonora. El clima predominante en la zona corresponde a muy árido cálido, con temperatura media anual mayor de 22°C.

La fecha de siembra del cultivo de trigo de la variedad Don Lupe fue el 18 de diciembre de 2022. El área sembrada fue de 2.5 ha aproximadamente, con surcos a 80 cm de separación con dos hileras de siembra sobre la cama y una densidad de 80 kg de semilla/ha. Previo a la siembra se aplicó un riego de asiento con una lámina de agua de 0.2098 m. Los tratamientos consistieron en la aplicación del número de riegos: cuatro auxilios (4A), tres auxilios (3A) y dos auxilios (2A).



**Figura 1.** Ubicación del sitio de estudio.

### Monitoreo de datos con sensores remotos

El monitoreo de la vegetación se realizó a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 y Landsat 7 y 8, con las imágenes espectrales se estimaron el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y el índice mejorado de dos bandas (EVI2). Los índices de vegetación (IV) pueden ser definidos como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda con el fin de obtener información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo y la irradiación solar (Gilbert *et al.*, 1997). El NDVI es el índice más empleado en el monitoreo de cultivos agrícolas y EVI2 presenta más sensibilidad en áreas con vegetación densa y menos sensible a las diferentes reflectancias del suelo; estos índices fueron calculados mediante las siguientes ecuaciones.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

$$\text{EVI2} = 2.5 \left( \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + 2.4\text{R} + 1} \right)$$

Dónde: NIR representa la reflectancia o radiancia del dosel en el infrarrojo cercano y R la reflectancia del dosel en el rojo (R).

El índice de área foliar (IAF) se estimó a partir del NDVI; el IAF es el índice que muestra el estado actual de desarrollo de los cultivos para el período concreto de vegetación señalando problemas presentes y puntos débiles en el manejo del cultivo; el IAF cambia a lo largo del periodo de crecimiento y alcanza normalmente su máximo valor antes o en la floración (Allen *et al.*, 2006). Para calcular IAF se empleó la ecuación propuesta por Rodríguez *et al.* (2004); esta ecuación fue generada para el cultivo de trigo en el Valle del Yaqui.

$$\text{IAF} = -K_{\text{NDVI}} \text{LN} \left( \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\infty}}{\text{NDVI}_S - \text{NDVI}_{\infty}} \right) \quad \text{para } \text{NDVI} \geq 0.14, \text{NDVI} < 0.94$$

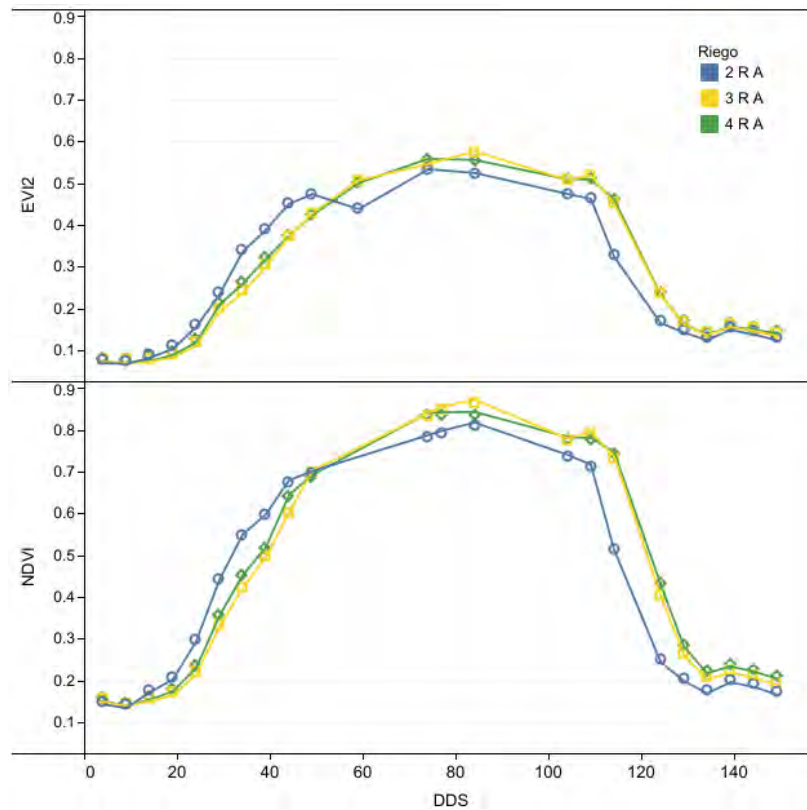
Dónde:  $\text{NDVI}_S = 0.14$  observado para suelo desnudo,  $\text{NDVI}_{\infty} = 0.94$  para un LAI infinito (correspondiente a un LAI máximo derivado de las observaciones de campo) y  $K_{\text{NDVI}} = 1$ , valor cercano a lo encontrado en Asrar *et al.* (1984) para el cultivo de trigo.

Los valores de los índices de vegetación para el periodo analizado se obtuvieron automáticamente dentro de la herramienta VICAL (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2022) que a su vez se encuentra soportada por la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de VICAL se digitalizó el sitio de estudio y se calcularon los IV con imágenes Sentinel-2 (10 m de resolución) y Landsat 7 y 8 (30 m de resolución), para cada caso. Los datos se obtuvieron desde la siembra (18 de diciembre del 2022) hasta la cosecha (20 de mayo del 2023).

### Resultados y discusión

La distribución de los valores de los índices de vegetación considerando el número de riego en el sitio es más notorias a partir de 76 días después de la siembra (DDS) que corresponde a la etapa de antesis-floración. La mejor curva de distribución de los valores de EVI2 y NDVI durante el desarrollo del cultivo se presentaron con los 3 y 4 riegos de auxilio; la curva obtenida para 2 riegos de auxilio es más dispersa y alejada de las otras condiciones de riego (Figura 2).

El valor máximo promedio obtenido para EVI2 fue de 0.576 con una desviación estándar de 0.081 y para NDVI fue de 0.866 con una desviación estándar de 0.106 con los 3 riegos de auxilios a los 84 DDS, cercano a la etapa de grano acuoso (89 DDS). Resultados similares fueron encontrados por Mandal *et al.* (2002) donde el NDVI siguió la habitual curva acampanada con un valor máximo mayor a 0.80 a los 75 DDS.



**Figura 2.** Curva de distribución de los índices de vegetación (EVI2, NDVI).

Los valores de índices de área foliar (IAF) estimados durante las etapas fenológicas se muestran en la figura 3; en este caso para estimar los valores de IAF se consideraron los NDVI calculados a partir de las imágenes Landsat. Los IAF más altos en el sitio se adquirieron con 3 riegos de auxilios y los IAF más bajos con 2 riegos de auxilio. Las etapas fenológicas con mayor dispersión de datos de IAF, es decir, en el cual es más notoria el número de riego es en la etapa de antesis- floración y grano acuoso. Estos datos estimados son más bajos que los que los estimados por Rodríguez *et al.* (2004), debido a las condiciones de manejo del cultivo.

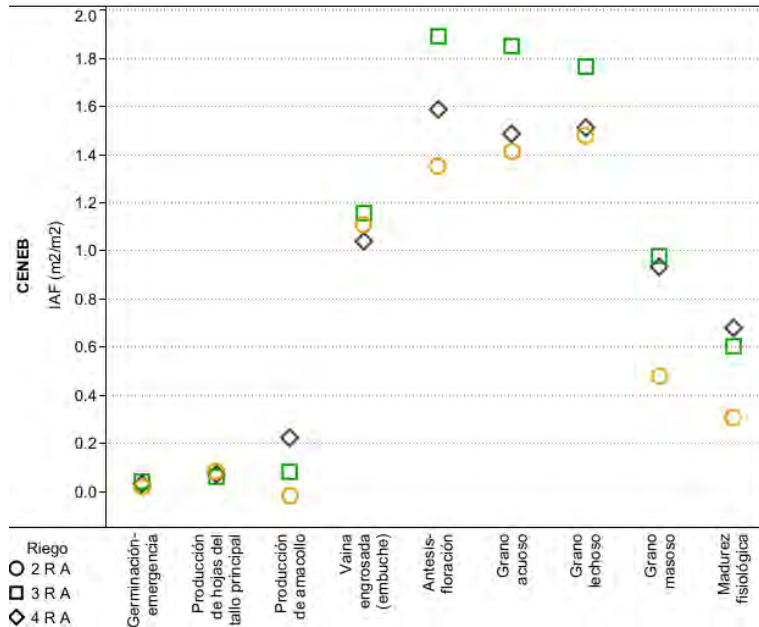


Figura 3. Curva de distribución del índice de área foliar (IAF).

## Conclusiones

Con las imágenes satelitales se puede dar seguimiento al monitoreo de cultivo con variabilidad espacial y temporal a partir de las condiciones de manejo (riego); además, una de las ventajas es que los datos de índices de vegetación se obtienen forma rápida y sencilla con la herramienta VICAL.

Los resultados nos indican que los datos más favorables adquiridos con el análisis de índices de vegetación y índice de área foliar se presentaron entre los 4 y 3 riegos de auxilio; pero se consideró que los valores obtenidos con 3 riego son los más competentes debido se tiene un ahorro y mejor uso de agua.

## Agradecimientos

Datos obtenidos del proyecto: Gestión del riego en el cultivo de trigo, apoyada con la plataforma INIFAP-IRRIMODEL (etapa 1: calibración del modelo integral y adecuación de la plataforma).

## Referencias bibliográficas

- Asrar, G. Q., Fuchs, M., Kanemasu, E. T., & Hatfield, J. L. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat 1. *Agronomy journal*, 76(2), 300-306.
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de teledetección*, 8(1), 1-10.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Marcial-Pablo, M. D. J., Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Inzunza-Ibarra, M. A., & Sánchez-Cohen, I. (2022). VICAL: global calculator to estimate vegetation indices for agricultural areas with landsat and sentinel-2 data. *Agronomy*, 12(7), 1518.
- Mandal, U. K., Sarma, K. S., Victor, U. S., & Rao, N. H. (2002). Profile water balance model under irrigated and rainfed systems. *Agronomy Journal*, 94(5), 1204-1211.
- Rodríguez, J.C., Duchemin, B., Hadria, R., Watts, C., Garatuza, J., Chehbouni, A., Khabba, S., Boulet, G., Palacios, E., & Lahrouni, A. (2004). Wheat yield estimation using remote sensing and the STICS model in the semiarid Yaqui valley, Mexico. *Agronomie*, 24(6-7), 295-304.



## EFFECTO DEL RIEGO INYECTADO SOBRE LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA POR EL VIÑEDO EN VALLE GUADALUPE, BAJA CALIFORNIA

César Valenzuela-Solano<sup>1\*</sup>, Camillo Magoni-Morelli<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CEMEXI CIRNO, INIFAP; <sup>2</sup>Bodegas Magoni, Valle de Guadalupe, B.C.

\*Autor para correspondencia: [valenzuela.cesar@inifap.gob.mx](mailto:valenzuela.cesar@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** goteo, vid, humedad

### Introducción

En Baja California (B.C.), se localiza la principal región vitivinícola de México, ya que allí se producen el 70% de los vinos mexicanos y los de mayor calidad. En esta región se cultivan alrededor de 4,703 ha, y se producen 29,853 toneladas de fruta. Este importante sector económico y social enfrenta una seria crisis de falta de agua para el riego debido al agotamiento de los mantos acuíferos (CONAGUA, 2020). La escasez de agua pone en riesgo el desarrollo de la producción de la vid y el vino, así como el bienestar de los habitantes de la zona. Dada la problemática anterior, es necesario proponer estrategias técnicas que contribuyan a optimizar este fundamental recurso hídrico. Una de las principales rutas de pérdida de agua del viñedo es la evaporación, la cual se ha estimado entre el 30 y 40% (Sánchez *et al.*, 2017), aunque puede llegar al 54 % (Kerridgea *et al.*, 2012). Una estrategia que puede ayudar a reducir la pérdida de agua por esta vía y que no ha sido validada en esta región, es el riego inyectado el cual consiste en suministrar el agua a las plantas de vid directamente en la zona radicular por medio de tubos de PVC o poliducto (Sharma y Upadhyay, 2011).

### Objetivo

Determinar los efectos de la técnica de riego inyectado sobre la eficiencia en el uso del agua por la vid 'Cabernet Sauvignon' en el Valle de Guadalupe, Baja California.

### Materiales y Métodos

El trabajo se realizó de marzo a septiembre de 2022, en un viñedo de textura franco arenosa ubicado en el Valle de Guadalupe, B.C. El viñedo está plantado con el cultivar Cabernet Sauvignon en pie franco con una edad de 15 años y distanciamientos de 1.2 x 3.0 m entre plantas e hileras, respectivamente. Los tratamientos evaluados fueron: 1) Riego convencional (testigo) y 2) Riego inyectado, cada uno de los cuales fueron aplicados en 5 hileras de 85 plantas cada una, lo que dio un área total de 1,530 m<sup>2</sup>. No se usó diseño experimental, pero dentro de cada parcela se seleccionaron 5 puntos que sirvieron como repeticiones, y en los cuales se marcaron 5 plantas en las que se tomaron datos fenológicos, crecimiento y rendimientos de frutos. En el tratamiento de riego convencional, el agua fue suministrada mediante goteros con gasto de 2 l h insertados en mangueras de poliducto colgadas a una altura de 50 cm sobre la superficie del suelo. En la técnica de riego inyectado, el agua fue conducida desde los goteros insertados en la manguera principal, por medio de una manguera de poliducto de 5 mm de diámetro, y que su a vez fue conectada a otra manguera de poliducto de 1.5 cm de diámetro enterrada en el suelo hasta la zona radicular de las plantas. Dada la escasez de agua, en los tratamientos los riegos se aplicaron para satisfacer solo el 25% de la Evapotranspiración del cultivo. Los volúmenes de agua aplicados en cada riego fueron determinados a través de la fórmula:  $Etc = Eto \times Kc \times 0.25$ . Dónde: Etc =demanda de agua; Eto= Evapotranspiracion de referencia, obtenida de una estación climatológica automatizada; Kc: coeficientes del cultivo variables a través del ciclo y 0.25: fracción de la demanda total de agua. La humedad volumétrica del suelo fue monitoreada por medio una sonda de PVC de 90 cm de largo y 1.5 cm de diámetro, la cual contiene en su interior 9 sensores de capacitancia que midieron la humedad a 5, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 y 90 cm a partir de la parte superior. Cada sonda estuvo conectada a un lector-acumulador de datos (datalogger), que fue programado para tomar lecturas de humedad del suelo cada 60 minutos. La cosecha de los frutos se hizo el 19 de septiembre en las plantas marcadas previamente, y se midieron las siguientes variables: rendimiento de frutos por planta, peso del racimo, número de frutos por racimo y peso por baya. En los frutos cosechados se midieron los grados Brix, pH y Conductividad Eléctrica (CE). Se hizo una estimación del vigor de las plantas, midiendo la longitud de las ramas principales. La eficiencia en el uso del agua (EUA) por el

cultivo, se calculó dividiendo los metros cúbicos acumulados de agua aplicados desde el inicio del año hasta la cosecha, entre las toneladas de frutos obtenidos. Los datos fueron analizados mediante pruebas t de Student y regresiones.

### Resultados y discusión

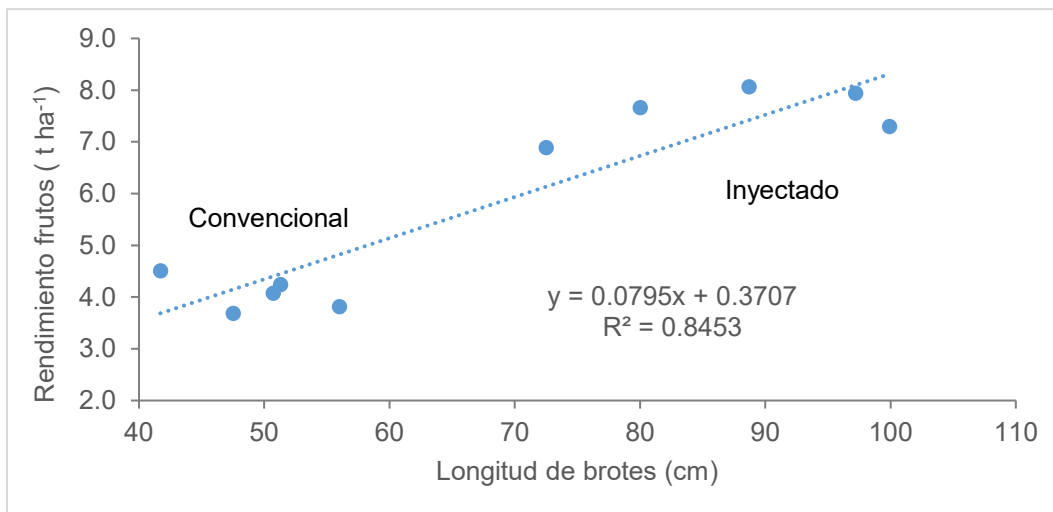
Los volúmenes de agua aplicados en los tratamientos fueron muy cercanos entre sí (1,400 m<sup>3</sup> ha en el convencional y 1,420 m<sup>3</sup> ha en el inyectado), lo cual indica que las diferencias encontradas en las variables de respuesta no pueden ser atribuidas a este factor. Los resultados mostraron diferencias significativas en los efectos de los tratamientos sobre el rendimiento de frutos, peso del racimo, peso de la baya y número de bayas por racimo (Cuadro 1). Los datos muestran que los rendimientos obtenidos estuvieron relacionados con el peso del racimo, que a su vez fue influenciado tanto por el número de bayas en cada racimo como por el peso de cada una de ellas.

**Cuadro 1.** Volúmenes de agua de riego aplicados y rendimientos de frutos en vid 'Cabernet Sauvignon'.

Tratamiento	Volumen aplicado (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de frutos (t ha <sup>-1</sup> )	Peso de racimo (g)	Peso de baya (g)	Número de bayas por racimo
Convencional	1,400	4.07 b*	69.00 b	0.69 b	126.89 b
Inyectado	1,420	7.57 a	100.49 a	0.77 a	184.32 a

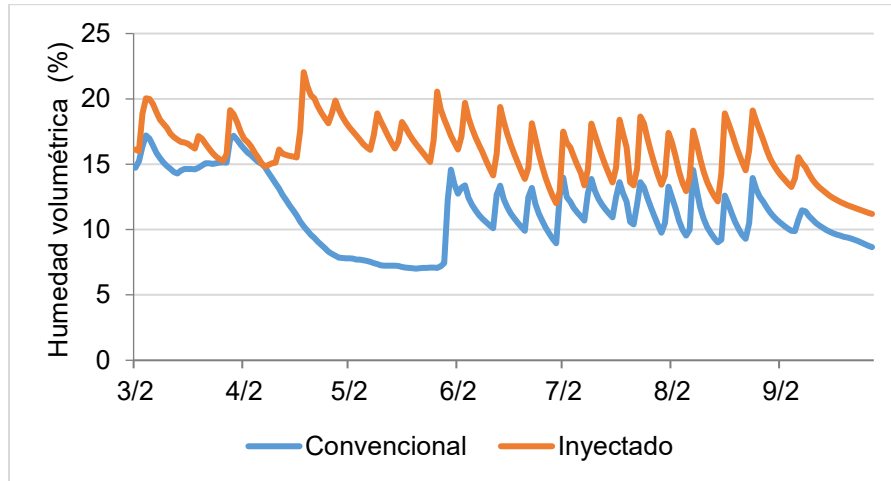
\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a p < 0.05, prueba t Student.

El mayor vigor alcanzado en las plantas desarrollado en las parcelas con el riego inyectado influyo en los rendimientos de frutos (Figura 1). La longitud de los brotes principales en el tratamiento de riego inyectado fue en promedio de 87.66 cm, mientras que en el convencional alcanzaron solo 49.44 cm.



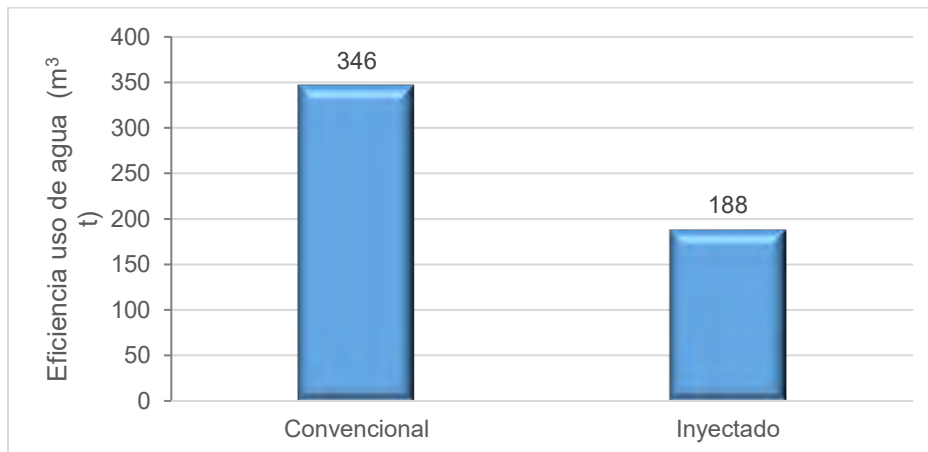
**Figura 1.** Relación entre longitud de brotes y rendimientos de frutos en vid en Guadalupe, B.C.

Las mayores longitudes de brotes en el riego inyectado, se pueden atribuir a los mayores contenidos de humedad volumétrica en los primeros 5-60 cm de profundidad del suelo durante todo el ciclo de crecimiento de las plantas de vid (Figura 2). Dado que los volúmenes de agua aplicados fueron muy similares en los dos tratamientos evaluados, se puede afirmar que el riego inyectado al minimizar la pérdida de agua por evaporación de la superficie del suelo, fue más eficiente en suministrar agua a las raíces de las plantas, lo cual favoreció el desarrollo vegetativo y por ende los rendimientos de frutos.



**Figura 2.** Dinámica de la humedad volumétrica promedio, en el estrato de los 5-60 cm de profundidad del suelo en parcelas con riego convencional e inyectado en vid.

La mayor eficiencia en el uso del agua por 'Cabernet Sauvignon' se consiguió con el tratamiento de riego inyectado, en el que se requirieron 188 m<sup>3</sup> para producir una tonelada de frutos, mientras que con el convencional se necesitaron 346 m<sup>3</sup> para conseguir ese mismo rendimiento (Figura 3).



**Figura 3.** Eficiencia en el uso del agua por el cultivo de la vid regada con las técnicas convencional e inyectado en el Valle de Guadalupe, B.C.

Los tratamientos afectaron significativamente el pH de los frutos a la cosecha, no así los °Brix ni la CE (Cuadro 2). El mayor pH en los frutos de la técnica de riego inyectado, pudo deberse a un incremento en la absorción de potasio del suelo por las raíces de las plantas, promovida por una mayor disponibilidad de agua. Hay estudios que muestran una relación lineal positiva entre el K y pH en el mosto de la uva (Esteban *et al.*, 2002).

**Cuadro 2.** Comparación de tratamientos.

Tratamiento	°Brix	pH	CE (dS m)
Convencional	22.53	3.91 b*	2.91
Inyectado	23.33	4.13 a	2.77

\*Medias con la misma letra no son significativamente diferentes a  $p < 0.05$ , prueba t Student.

## Conclusiones

La técnica de riego inyectado incrementó significativamente los rendimientos de frutos, el peso del racimo y de la baya, en relación a la técnica de riego convencional.

El riego inyectado mejoró la eficiencia en el uso del agua de manera significativa, al requerirse 188 m<sup>3</sup> para lograr una tonelada de frutos, mientras que con en el riego convencional se necesitaron 349 m<sup>3</sup> para el mismo propósito.

El riego inyectado incremento el contenido de humedad del suelo, lo que favoreció el desarrollo de los brotes y como consecuencia la productividad de las plantas.

El riego inyectado incremento significativamente el pH en los frutos a la cosecha.

## Referencias bibliográficas

- CONAGUA. (2020). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Guadalupe (0207), Estado de Baja California. Subdirección general técnica. Gerencia de aguas subterráneas. 30 pp.
- Esteban, M.A., Villanueva M.J, y J.R. Lissarrague. 2002. Relationships between different berry components in tempranillo (*Vitis vinífera* L) grapes from irrigated and non-irrigated vines during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82:1136-1146
- Kerridgea, B.L., Hornbucklea, J.W., Christena, E.W. y R.D. Faulkner. 2012. Using soil surface temperature to assess soil evaporation in a drip irrigated vineyard B.L. *Agricultural water management* 116: 128-141.
- Sánchez, J.M., R. López-Urrea, Cuxart, J., Montoro, A., Caselles, V., De la Cruz, F., Dona, C., y L. Martínez. (2017). Thermal remote sensing measurements as a tool to monitor evaporation/transpiration in vineyards. *Acta Horticulturae* 1150: 203-2010
- Sharma, J. y A.K. Upadhyay. 2011. A novel technique to apply irrigation water at sub- surface from existing surface drip irrigation system in grapevine: Effect on yield, nutrient content and water use efficiency. *Indian Journal of Horticulture* 68:312-317.

## SELECCIÓN DE GENOTIPOS DE GARBANZO (*Cicer arietinum* L.) MEDIANTE ÍNDICES DE TOLERANCIA A ESTRÉS HÍDRICO

Raúl Ávalos-Castro<sup>1\*</sup>, Claudia M. Melgoza-Villagómez<sup>1</sup>, José Denis Osuna-Amador<sup>1</sup>, Pedro F. Ortega-Murrieta<sup>2</sup> y Gustavo A. Fierros-Leyva<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Campo Experimental Todos Santos, <sup>2</sup>Campo Experimental Costa de Hermosillo – INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [avalos.raul@inifap.gob.mx](mailto:avalos.raul@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Índices de tolerancia a sequía, mejoramiento genético, riego deficitario.

### Introducción

El estrés por sequía es uno de los factores ambientales limitantes más comunes en sistemas agrícolas e influye en gran medida en la productividad de los cultivos (Shafiq *et al.*, 2015). Para enfrentar este tipo de estrés en plantas, se implementan programas de mejoramiento genético acompañados del monitoreo de rasgos morfo-fisiológicos de genotipos (Furbank *et al.*, 2019) y de la evaluación a través de índices de selección con tolerancia a sequía para identificar líneas superiores (Fierros *et al.* 2017). Con base en lo anterior, y dada la limitada disponibilidad de agua para riego, las sequías recurrentes y por la importancia global y nacional del garbanzo es necesario dar continuidad a este esquema de selección de genotipos. Adicionalmente, se cuenta con escasas evaluaciones relacionadas a la identificación de genotipos sobresalientes en condiciones de riego deficitario, así como las afecciones en el cultivo derivadas del déficit hídrico (Fierros *et al.*, 2017; Osuna *et al.* 2023). Así, el objetivo de éste trabajo fue identificar genotipos de garbanzo sobresalientes en producción de grano en condiciones de riego normal y deficitario mediante el análisis de índices de tolerancia a sequía.

### Materiales y métodos

**Sitio de estudio.** 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), a una altitud de 48.3 msnm. 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 alcalino (8.9) y conductividad eléctrica de 0.76 dS m<sup>-1</sup>.

**Diseño experimental y descripción de tratamientos.** El experimento de campo se realizó en un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y arreglo en parcelas divididas (superficie total de 1,536 m<sup>2</sup>). La parcela grande evaluó el factor tipo de riego [**normal** (40 cm) y **deficitario** (20 cm)], mientras que en la parcela chica se evaluó el factor genotipos (16 materiales): líneas experimentales HOGA-2006-40-12 (**H1**), HOGA-2012-31-6 (**H2**), HOGA-2006-27-1 (**H3**), HOGA-2010-23-7 (**H4**), HOGA-2007-2-5 (**H5**), HOGA-2008-5-15 (**H6**), HOGA-2006-59-9 (**H7**), HOGA-2010-29-20 (**H8**), HOGA-2006-40-8 (**H9**), HOGA-2008-7-6 (**H10**), HOGA-2011-31-16 (**H11**), HOGA-2008-6-20 (**H12**), CUGA-09-20-31 (**C1**) y las variedades **Calisur**, Blanco Sinaloa 92 (**BS92**) y **Blanoro**. El área de cada genotipo consideró (12.8 m<sup>2</sup>). La siembra y la aplicación del primer riego del experimento se realizaron el 22 de diciembre de 2022. La densidad de siembra utilizada fue de 10 semillas m<sup>-1</sup> en surcos espaciados a 0.80 m. Se fertilizó con la dosis 90-40-00, con las fuentes UAN 32<sup>®</sup> 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 i. a. ha<sup>-1</sup> y de Clorantraniliprol a dosis de 150 mL ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Variables de rendimiento e índices de estrés hídrico evaluados.** Los genotipos fueron cosechados a los 130 días después de la siembra de manera manual, considerando una superficie de 4.8 m<sup>2</sup> para estimar rendimiento de grano en campo en t ha<sup>-1</sup>. Para evaluar los genotipos de garbanzo en relación a tolerancia a estrés hídrico se utilizaron ocho índices: el porcentaje de reducción del rendimiento (Red) = [(Yp - Ys) / Yp]\*100, el índice de susceptibilidad a la sequía (SSI) = [1 - (Ys/Yp)] / [1 - (Ysm/Ypm)], donde Ys es el rendimiento del genotipo en condiciones de riego deficitario, Yp el rendimiento del genotipo en condiciones normales de riego, Ysm la media del rendimiento de todos los genotipos bajo condiciones de riego deficitario y Ypm la media del rendimiento de todos los genotipos en condiciones normales de riego. El índice de tolerancia a sequía (STI) se calculó como STI = (Yp \* Ys) / Yp<sup>2</sup>. El índice de tolerancia (TOL) = Yp - Ys y la media productiva (MP) = (Ys + Yp) / 2 también fueron calculados. Adicionalmente, se determinaron la media productiva geométrica (GMP) = √(Ys \* Yp) y armónica (HARM) = 2[(Yp \* Ys) / (Yp + Ys)], así como el índice de estabilidad del rendimiento (YSI) = (Ys/Yp) \* 100.



**Análisis estadístico.** Para el análisis estadístico, se realizó un análisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas utilizando el software SAS ver. 9.3. Para la comparación de medias de los índices de tolerancia a la sequía, se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). Los coeficientes de correlación de Pearson entre los índices de estrés también fueron calculados.

**Resultados y discusión**

**Índices de tolerancia a estrés hídrico.** Los índices de tolerancia a estrés para los dieciséis genotipos de garbanzo se presentan en el Cuadro 1. Entre genotipos se observó una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) en el rendimiento medio de grano bajo condiciones de riego normal (Yp), mientras que, en condiciones de riego deficitario (Ys), no se observó diferencia entre estos ( $p > 0.05$ ). La producción fue mayor en las condiciones de riego normal (2.305 a 3.562 t ha<sup>-1</sup> de grano), en comparación al rendimiento obtenido en condiciones de riego deficitario (2.554 t ha<sup>-1</sup> y 1.732 t ha<sup>-1</sup> de grano).

No hubo diferencia ( $p > 0.05$ ) del rendimiento de grano en campo entre genotipos en condiciones de riego deficitario, pero H1 presentó la media más alta (2.55 t ha<sup>-1</sup>). H4 tuvo el rendimiento mayor en condiciones de riego normal, mientras que su rendimiento disminuyó en un 60 % en condición de riego deficitario. H2, H11 y H7, fueron los genotipos que tuvieron la mayor disminución en el rendimiento en condiciones de riego deficitario (46.59, 39.39 y 39.64 % respectivamente). Los genotipos que se desempeñaron mejor en condiciones de riego normal, tuvieron un desempeño menor en la condición de riego deficitario. Los genotipos con el menor rendimiento en condiciones de riego normal, presentaron la menor reducción del rendimiento en la condición de riego deficitario.

**Cuadro 1.** Rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) en condiciones de riego normal (Yp) y deficitario (Ys), así como índices de tolerancia a sequía de genotipos de garbanzo blanco, Sitio Experimental Valle de Santo Domingo, Baja California Sur, México.

Genotipos	Yp	Ys	Índices de tolerancia a estrés							
			SSI	Red	STI	TOL	MP	GMP	HARM	YSI
H4	3.563 <sup>a</sup>	2.243 <sup>a</sup>	1.31 <sup>abc</sup>	37.16 <sup>abc</sup>	0.63 <sup>bcd</sup>	1.319 <sup>ab</sup>	2.903 <sup>a</sup>	2.826 <sup>ab</sup>	2.751 <sup>ab</sup>	62.84 <sup>bcd</sup>
H1	3.444 <sup>ab</sup>	2.555 <sup>a</sup>	0.91 <sup>abcd</sup>	25.83 <sup>abcd</sup>	0.74 <sup>abcd</sup>	0.889 <sup>abcdefg</sup>	2.999 <sup>a</sup>	2.967 <sup>a</sup>	2.934 <sup>a</sup>	74.17 <sup>abcd</sup>
H7	3.239 <sup>abc</sup>	1.958 <sup>a</sup>	1.39 <sup>ab</sup>	39.64 <sup>ab</sup>	0.60 <sup>cd</sup>	1.281 <sup>abc</sup>	2.599 <sup>ab</sup>	2.519 <sup>ab</sup>	2.441 <sup>ab</sup>	60.35 <sup>cd</sup>
H2	3.215 <sup>abcd</sup>	1.743 <sup>a</sup>	1.64 <sup>a</sup>	46.59 <sup>a</sup>	0.53 <sup>d</sup>	1.472 <sup>a</sup>	2.479 <sup>ab</sup>	2.363 <sup>ab</sup>	2.254 <sup>ab</sup>	53.41 <sup>d</sup>
H11	3.191 <sup>abcd</sup>	1.938 <sup>a</sup>	1.38 <sup>ab</sup>	39.39 <sup>ab</sup>	0.60 <sup>cd</sup>	1.254 <sup>abc</sup>	2.564 <sup>ab</sup>	2.476 <sup>ab</sup>	2.392 <sup>ab</sup>	60.61 <sup>cd</sup>
H5	3.159 <sup>abcd</sup>	2.115 <sup>a</sup>	1.18 <sup>abcd</sup>	33.51 <sup>abcd</sup>	0.66 <sup>abcd</sup>	1.045 <sup>abcde</sup>	2.637 <sup>ab</sup>	2.578 <sup>ab</sup>	2.521 <sup>ab</sup>	66.49 <sup>abcd</sup>
H12	3.129 <sup>abcd</sup>	2.042 <sup>a</sup>	1.23 <sup>abcd</sup>	34.77 <sup>abcd</sup>	0.65 <sup>abcd</sup>	1.087 <sup>abcd</sup>	2.585 <sup>ab</sup>	2.527 <sup>ab</sup>	2.470 <sup>ab</sup>	65.23 <sup>abcd</sup>
C1	2.889 <sup>abcd</sup>	2.156 <sup>a</sup>	0.89 <sup>abcd</sup>	25.36 <sup>abcd</sup>	0.75 <sup>abcd</sup>	0.733 <sup>bcddefg</sup>	2.523 <sup>ab</sup>	2.495 <sup>ab</sup>	2.468 <sup>ab</sup>	74.64 <sup>abcd</sup>
H8	2.806 <sup>abcd</sup>	2.104 <sup>a</sup>	0.86 <sup>bcd</sup>	24.44 <sup>bcd</sup>	0.76 <sup>abc</sup>	0.701 <sup>cdefg</sup>	2.455 <sup>ab</sup>	2.428 <sup>ab</sup>	2.402 <sup>ab</sup>	75.56 <sup>abc</sup>
Calisur	2.733 <sup>abcd</sup>	1.733 <sup>a</sup>	1.31 <sup>abc</sup>	37.09 <sup>abc</sup>	0.63 <sup>bcd</sup>	1.000 <sup>abcdef</sup>	2.233 <sup>ab</sup>	2.174 <sup>ab</sup>	2.118 <sup>ab</sup>	62.91 <sup>bcd</sup>
Blanoro	2.729 <sup>abcd</sup>	1.898 <sup>a</sup>	1.08 <sup>abcd</sup>	30.51 <sup>abcd</sup>	0.69 <sup>abcd</sup>	0.832 <sup>bcddefg</sup>	2.314 <sup>ab</sup>	2.276 <sup>ab</sup>	2.239 <sup>ab</sup>	69.49 <sup>abcd</sup>
H3	2.719 <sup>abcd</sup>	2.292 <sup>a</sup>	0.51 <sup>d</sup>	14.48 <sup>d</sup>	0.86 <sup>a</sup>	0.427 <sup>fg</sup>	2.505 <sup>ab</sup>	2.494 <sup>ab</sup>	2.483 <sup>ab</sup>	85.52 <sup>a</sup>
BS 92	2.698 <sup>abcd</sup>	1.819 <sup>a</sup>	1.15 <sup>abcd</sup>	32.70 <sup>abcd</sup>	0.67 <sup>abcd</sup>	0.879 <sup>abcdefg</sup>	2.259 <sup>ab</sup>	2.212 <sup>ab</sup>	2.167 <sup>ab</sup>	67.30 <sup>abcd</sup>
H9	2.573 <sup>bcd</sup>	2.132 <sup>a</sup>	0.58 <sup>cd</sup>	16.55 <sup>cd</sup>	0.83 <sup>ab</sup>	0.441 <sup>efg</sup>	2.352 <sup>ab</sup>	2.341 <sup>ab</sup>	2.329 <sup>ab</sup>	83.44 <sup>ab</sup>
H6	2.358 <sup>cd</sup>	1.979 <sup>a</sup>	0.58 <sup>cd</sup>	16.38 <sup>cd</sup>	0.84 <sup>ab</sup>	0.379 <sup>g</sup>	2.168 <sup>ab</sup>	2.159 <sup>ab</sup>	2.149 <sup>ab</sup>	83.62 <sup>ab</sup>
H10	2.306 <sup>d</sup>	1.778 <sup>a</sup>	0.81 <sup>bcd</sup>	22.99 <sup>bcd</sup>	0.77 <sup>abc</sup>	0.528 <sup>defg</sup>	2.042 <sup>b</sup>	2.024 <sup>b</sup>	2.007 <sup>b</sup>	77.00 <sup>abc</sup>
Significancia	**	*	**	**	**	**	*	*	*	**
Media	2.922	2.030	1.05	29.84	0.70	0.892	2.476	2.429	2.383	70.16
EEM	0.302	0.294	0.25	7.03	0.07	0.200	0.281	0.291	0.302	7.03
DMS	0.918	0.894	0.75	21.40	0.21	0.609	0.854	0.885	0.918	21.40
CV %	10.33	14.47	23.54	23.57	10.03	22.43	11.33	11.99	12.66	10.02

<sup>abcd</sup> = diferentes literales medias de genotipos dentro de una misma columna, indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ , Tukey). Ys: rendimiento en condiciones de riego restringido (t ha<sup>-1</sup>). Yp: rendimiento en condiciones normales de riego (t ha<sup>-1</sup>). SSI: índice de susceptibilidad a la sequía. Red: porcentaje de reducción del rendimiento. STI: índice de tolerancia a sequía. TOL: índice de tolerancia. MP: media productiva (t ha<sup>-1</sup>). GMP: media productiva geométrica (t ha<sup>-1</sup>). HARM: media productiva armónica (t ha<sup>-1</sup>). YSI: índice de estabilidad del rendimiento. EEM: error estándar de la media. DMS: diferencia mínima significativa Tukey ( $p < 0.05$ ). CV: coeficiente de variación. \*  $p < 0.05$ . \*\*  $p < 0.01$ .

El índice de susceptibilidad al estrés (SSI) evaluó con precisión la reducción del rendimiento causada por condiciones desfavorables en comparación con entornos favorables. Cuando el valor de SSI es bajo, mayor fue la estabilidad del rendimiento. Genotipos con menor fluctuación en el rendimiento medio mostraron un SSI más bajo y mayor estabilidad en diferentes entornos. H3 presentó el menor SSI (0.51), seguido de H9 y H6, con SSI de 0.58 para ambos; mientras que H2 tuvo mayor SSI (1.64). Los SSI de H1 y C1 estuvieron cerca de 1. Los genotipos con valores de SSI más bajos se consideraron tolerantes a la sequía, ya que exhibieron menor reducciones de rendimiento bajo riego deficitario en comparación con condiciones de riego normal. Adhikari *et al.* (2019) sugirieron la clasificación, para diferentes cultivares, como altamente

tolerante a la sequía (SSI < 0.5), moderadamente tolerante a la sequía (SSI: 0.5 – 0.75), tolerantes a la sequía (SSI: 0.75 – 1.0) y susceptibles a la sequía (SSI > 1). El valor mínimo de TOL se registró en GH6 (0.37), seguido de H3 y H9, mientras que H2 (1.47) y H4 (1.32) exhibieron los valores más altos. Un valor más bajo de TOL indicó una mayor capacidad tolerante al estrés por parte de un genotipo. Los índices de TOL y SSI son parámetros útiles para identificar genotipos de mejor desempeño en condiciones de riego deficitario, aunque no necesariamente fueron los de mayor rendimiento de grano en campo. El índice de tolerancia al estrés (STI) comparó la consistencia y el cambio relativo en el rendimiento bajo los dos esquemas de riego evaluados. H3, H6 y H9 mostraron los valores más altos de STI. H2 mostró el valor STI más bajo (0.53), lo que implica que es altamente susceptible al estrés por falta de agua. La estabilidad del rendimiento (YSI) presentó resultados similares.

Los índices MP, GMP y HARM clasificaron a los genotipos en un mismo sentido debido a que los valores estimados se derivaron de la utilización de las medias productivas en condiciones de riego normal y deficitario de los genotipos. Por otra parte, Red también detectó a los genotipos de mayor susceptibilidad al riego deficitario; este indicador facilitó la comprensión del impacto del riego deficitario al mostrar porcentualmente la afección en el rendimiento de cada genotipo con respecto al desempeño productivo en riego normal.

*Correlación entre índices de tolerancia y rendimiento.* El Cuadro 2 muestra los coeficientes de correlación entre los índices de tolerancia a la sequía. Se seleccionó el índice Red, debido a que expresa porcentualmente la disminución del rendimiento de un genotipo al pasar de una condición de riego normal a riego deficitario; asimismo, este se correlacionó con SSI (0.97), STI (-0.97), TOL (0.91) e YSI (-0.97). Por otra parte, MP, que expresó el promedio productivo derivado de las dos condiciones de riego evaluadas para un mismo genotipo, también fue seleccionado; este índice se relacionó con GMP (0.99) y HARM (0.98).

**Cuadro 2.** Correlaciones entre índices de tolerancia a estrés hídrico y rendimiento.

	SSI	Red	STI	TOL	MP	GMP	HARM	YSI
SSI	1.00	<b>0.97**</b>	-1.00**	0.95**	0.03 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	-1.00**
Red		1.00	<b>-0.97**</b>	<b>0.91**</b>	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.17 <sup>ns</sup>	-0.26 <sup>ns</sup>	<b>-0.97**</b>
STI			1.00	-0.95**	-0.04 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.16 <sup>ns</sup>	1.00**
TOL				1.00	0.33 <sup>†</sup>	0.23 <sup>ns</sup>	0.13 <sup>ns</sup>	-0.94**
MP					1.00	<b>0.99**</b>	<b>0.98**</b>	-0.03 <sup>ns</sup>
GMP						1.00	0.99**	0.07 <sup>ns</sup>
HARM							1.00	0.16 <sup>ns</sup>
YSI								1.00

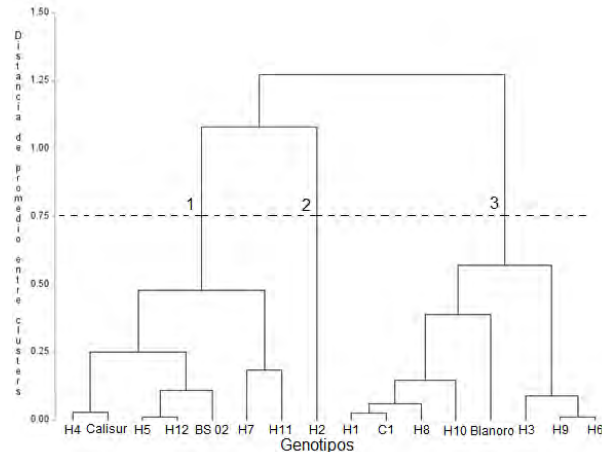
Ys: rendimiento en condiciones de riego restringido (t ha<sup>-1</sup>). Yp: rendimiento en condiciones normales de riego (t ha<sup>-1</sup>). SSI: índice de susceptibilidad a la sequía. Red: porcentaje de reducción del rendimiento. STI: índice de tolerancia a sequía. TOL: índice de tolerancia. MP: media productiva. GMP: media productiva geométrica. HARM: media productiva armónica. YSI: índice de estabilidad del rendimiento. <sup>†</sup>p < 0.05. \*\* p < 0.01. <sup>ns</sup>: no existe significancia.

De manera complementaria se clasificó a los genotipos evaluados (Figura 1) considerando los índices SSI, Red, TOL y media productiva. Se generaron tres grupos; el primero integró los genotipos Calisur, BS 92, H5, H4, H7, H11 y H12. El segundo grupo incluyó solo al genotipo H2. El tercer grupo incluyó a los genotipos Blanoro, H1, HOGA-2006-27-1 H3, H6, H8, H9, H10 y C1. El primer grupo representa los genotipos con la mayor media productiva de grano, pero susceptibles al estrés hídrico (SSI > 1). El segundo grupo, clasificó al genotipo con la mayor reducción del rendimiento (46.59 %), susceptibilidad (SSI > 1) y menor tolerancia al estrés hídrico. El tercer grupo, consideró a los genotipos tolerantes al estrés hídrico (SSI: 0.75 – 1.0) y con menor reducción del rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Estadística descriptiva (media) por grupo de conglomerado para las principales variables de estrés hídrico de genotipos de garbanzo tipo Kabuli.

Grupo	SSI	Red	TOL	MP
1	1.28	36.01	1.12	2.54
2	1.64	46.59	1.47	2.48
3	0.78	22.07	0.62	2.42

SSI: índice de susceptibilidad a la sequía. Red: porcentaje de reducción del rendimiento. TOL: índice de tolerancia; MP: media productiva.



**Figura 1.** Clasificación de 16 genotipos de garbanzo con base en cuatro rasgos cuantitativos de estrés hídrico.

### Conclusiones

La aplicación del riego deficitario (20 cm de lámina total) redujo significativamente (30 %) el rendimiento de grano en todos los genotipos; los que presentaron menor afección del rendimiento fueron H3, H9 y H6. En condiciones de riego deficitario, los genotipos de mayor rendimiento de grano ( $>2.2 \text{ t ha}^{-1}$ ) fueron H1, H3 y H4. En condiciones de riego normal los genotipos con mayor desempeño productivo ( $> 3.1 \text{ t ha}^{-1}$ ) fueron H4, H1, H7, H2, H11, H5 y H12. La selección de genotipos basada en índices de tolerancia a estrés hídrico constituyó una herramienta eficiente para la identificación de genotipos con mayor estabilidad del rendimiento en condiciones de riego deficitario. De los ocho índices utilizados se recomienda la utilización de la media productiva (MP) y el porcentaje de reducción del rendimiento (Red) por su simplicidad en cálculo y fácil comprensión. Para trabajos futuros, se recomienda la determinación de las variables rendimiento de exportación y calibre de grano en la selección de genotipos sobresalientes.

### Referencias bibliográficas

- Adhikari, M., Adhikari, N.R., Sharma, S., Gairhe, J., Bhandari, R.R. and Paudel, S. (2019) Evaluation of Drought Tolerant Rice Cultivars Using Drought Tolerant Indices under Water Stress and Irrigated Condition. *American Journal of Climate Change*, 8, 228-236. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2019.82013>
- Fierros L., G. A., Ortega M., P. F., Acosta G., J. A., Padilla V., I., Valenzuela H., V., Jiménez H., Y., & López G., J. A. (2017). Respuesta del rendimiento de genotipos de garbanzo blanco a la sequía terminal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1143-1154.
- Furbank, R.T.; Jimenez-Berni, J.A.; George-Jaeggli, B.; Potgieter, A.B.; Deery, D.M. (2017). Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. *New Phytol.* 2019, 223, 1714–1727. INIFAP. Agenda Técnica Agrícola de Baja California Sur, 1a ed.; INIFAP: Ciudad de México, México; pp. 40–44.
- Osuna-Amador, J. D., Méndez-Alonzo, R., Trasviña-Castro, A., Saldívar-Lucio, R., Hernandez-Martinez, R., Moore, G. W.. (2023). Regulated Deficit Irrigation during Vegetative Growth Enhances Crop Water Productivity in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Agronomy* 13, no. 3: 917. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030917>.
- Shafiq, S.; Akram, N. A. y Ashraf, M. (2015). Does exogenously applied trehalose alter the oxidative defense system in the edible part of radish (*Raphanus sativus* L.) under water deficit conditions? *Scientia Horticulturae*, 185: 68-75, ISSN 0304-4238, DOI 10.1016/j.scienta.2015.01.010.

## BALANCE HIDROLÓGICO EN LA MICROCUENCA DEL VALLE DE ETLA, OAXACA

Miguel A. Cano-García<sup>1\*</sup>; Verónica Mariles-Flores<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [cano.miguel@inifap.gob.mx](mailto:cano.miguel@inifap.gob.mx)

### Introducción

El agua es un recurso que de manera gradual se ha disminuido a través del tiempo, principalmente por un aprovechamiento que históricamente ha ignorado el balance hidrológico. Bajo este contexto, las extracciones de agua del subsuelo se realizan sin saber si la recarga del acuífero es al menos de la misma magnitud que la extracción. Desafortunadamente, esta forma de explotación obedece más a la falta de información confiable y oportuna pues no se cuenta con sistemas de monitoreo de la cantidad de lluvia que se precipita en una cuenca, la cantidad de agua que sale de la cuenca a través de corrientes superficiales y mucho menos la cantidad de agua que entra y sale de la cuenca por medio de flujo subterráneo.

Ante esta deficiencia de información cuantitativa, se recurre a modelos de estimación y a variables obtenidas de manera indirecta o mediante interpolación como la lluvia promedio histórica, los coeficientes de escurrimiento con base en revisión de literatura y la estimación de condiciones de cubierta vegetal mediante percepción remota.

El balance hidrológico de una microcuenca consiste en evaluar las entradas y salidas de agua. Mediante este balance se puede contar con una estimación de la disponibilidad de agua en la microcuenca e implementar medidas de conservación cuando sea necesario. La fuente principal de las entradas la constituye la precipitación mientras que las salidas corresponden a evapotranspiración, escurrimientos superficiales y almacenamiento del agua en el acuífero. También pueden ocurrir entradas y/o salidas debido a flujos subterráneos entre microcuencas pero estos movimientos son muy difíciles de cuantificar.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo, consistió en estimar el volumen de agua que escurre al fondo de la microcuenca y que recarga el acuífero superficial que abastece pozos a cielo abierto para el riego.

### Materiales y métodos

El procesamiento de información geográfica, se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica ArcGis (ESRI, 2015). La delimitación de la microcuenca y la caracterización de la pendiente del suelo, se obtuvieron mediante el procesamiento del modelo de elevación digital con una resolución espacial de 15 m. Para la estimación de la cubierta vegetal se procesó una imagen de satélite sentinel de enero del 2017 con una resolución espacial de 10 m.

El volumen de escurrimiento se estimó asignando coeficientes de escurrimiento con base en condiciones de topografía y de cubierta vegetal a partir de siguientes los valores propuestos por Hudson (1993):

- Áreas con vegetación de bosque, selva y vegetación secundaria: 0.3 para áreas relativamente planas (0 – 5% de pendiente); 0.35 para áreas con lomeríos (5 – 10 % de pendiente) y 0.5 para áreas con topografía accidentada (> 10% de pendiente).

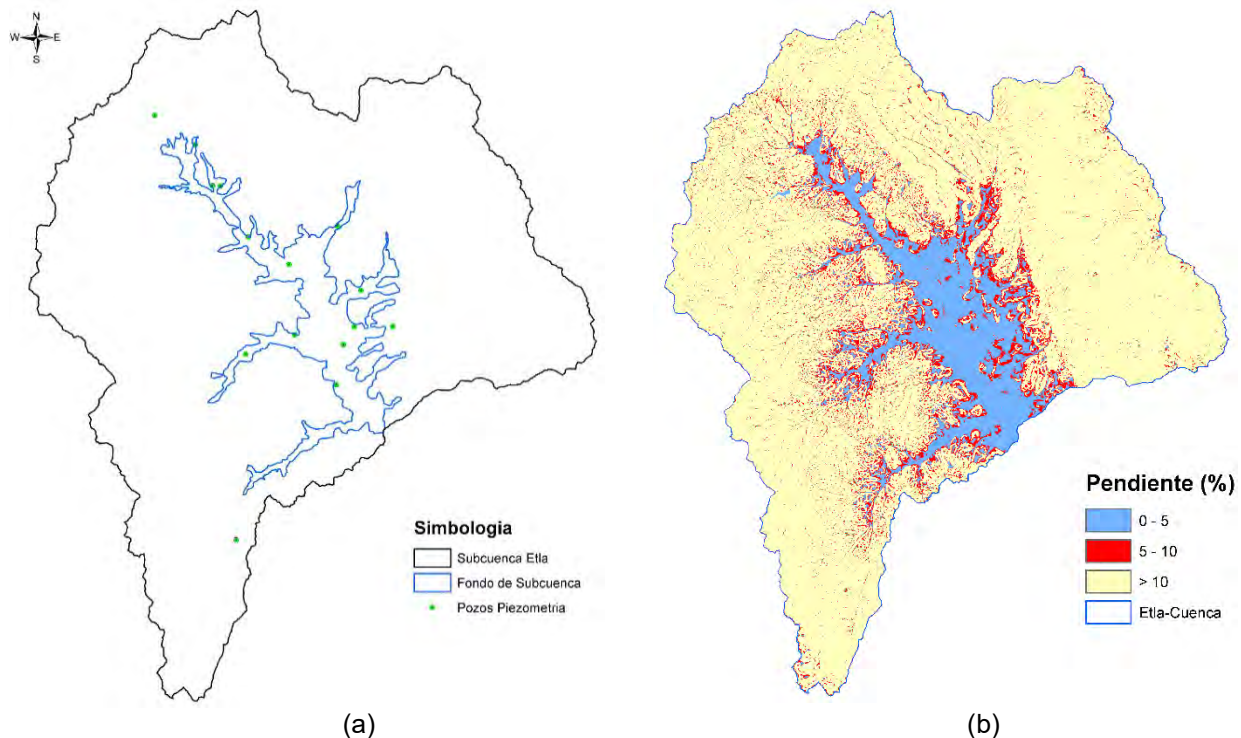
- Áreas con vegetación de pastizal: 0.3 para áreas relativamente planas (0 – 5% de pendiente); 0.36 para áreas con lomeríos (5 – 10 % de pendiente) y 0.42 para áreas con topografía accidentada (> 10% de pendiente).

- Áreas con cultivos: 0.5 para áreas relativamente planas (0 – 5% de pendiente); 0.6 para áreas con lomeríos (5 – 10 % de pendiente) y 0.72 para áreas con topografía accidentada (> 10% de pendiente).

Para los casos de cubierta vegetal con bosque y con selva-vegetación secundaria, se tomó el coeficiente de 0.5 y para el caso de áreas con pastizal o sin vegetación, se utilizó una combinación del coeficiente para áreas con pastizal (0.42) y para áreas con cultivo (0.72), asignándose un valor promedio (0.57). El volumen de escurrimiento se obtuvo de multiplicar el valor de la lluvia promedio anual por la superficie y el coeficiente de escurrimiento correspondiente.

## Resultados y discusión

En la Figura 1a, se muestra la microcuenca del Valle de Etlá con una superficie total de 898.182 km<sup>2</sup>. En la parte central se ubica lo que se denomina como el fondo del valle con una superficie de 76.20 km<sup>2</sup> lo que representa el 8.5 % del área total de la cuenca. En la Figura 1b se muestran las características de pendiente del suelo con valores mayores del 10% en la mayor parte de la microcuenca y con el fondo del valle con valores de pendiente menor al 5%.



**Figura 1.** Delimitación de la microcuenca y localización del fondo del valle (a) y características de pendiente (b).

La cantidad promedio de lluvia anual en la cuenca, con base en interpolación de información histórica de estaciones climatológicas (Serrano *et al.*, 2007), se muestra en la Figura 2a. La lluvia promedio anual en la microcuenca es de 716 mm, cantidad que relacionada con el área de la cuenca resulta en un volumen total de 643.049 millones de m<sup>3</sup>.

En la Figura 2b se muestran las condiciones de cubierta vegetal a partir del análisis de una imagen de satélite sentinel de enero del 2017 (ESA, 2015). La superficie con bosque, selva-vegetación secundaria y pastizal sin vegetación se estimó en 23,770, 43,060 y 15,520 ha, respectivamente. El área dedicada a la agricultura, corresponde a las 7,620 ha localizadas en el fondo del valle.

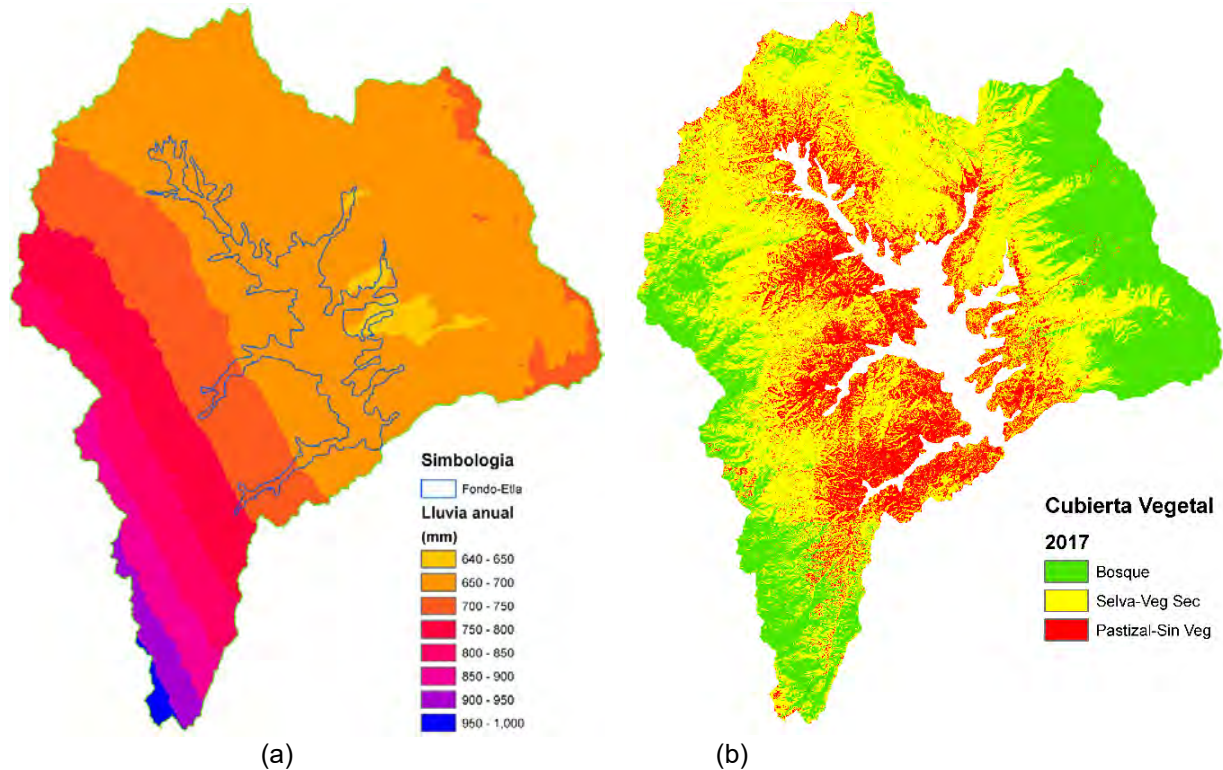
Con base en la combinación de cubierta vegetal y pendiente del suelo, se utilizaron siguientes los coeficientes de escurrimiento.

Para los casos de cubierta vegetal con bosque y con selva-vegetación secundaria, se tomó el coeficiente de 0.5 y para el caso de áreas con pastizal o sin vegetación, se utilizó una combinación del coeficiente para



áreas con pastizal (0.42) y para áreas con cultivo (0.72), asignándose un valor promedio (0.57). El volumen de escurrimiento se obtuvo de multiplicar el valor de la lluvia promedio anual por la superficie y el coeficiente de escurrimiento correspondiente.

El volumen de escurrimiento total es de 302.6 millones de m<sup>3</sup> que representa el 51.3 % del volumen total aportado por la lluvia. Una parte de este volumen se almacena en el acuífero que se localiza en el fondo del valle y los excedentes de este almacenamiento, fluyen hacia fuera de la microcuenca a través de la corriente principal que es el Río Atoyac y también mediante flujo subterráneo.



**Figura 2.** Características de lluvia promedio anual (a) y de cubierta vegetal (b).

En el área del acuífero de la microcuenca, se reporta un total de 1,330 aprovechamientos (CONAGUA, 2017). La mayor parte de estos aprovechamientos se utiliza con fines agrícolas y 176 de ellos son realizados por grupos de productores organizados en unidades de riego mientras que el resto son aprovechamientos individuales que consisten en pozos a cielo abierto con gastos reducidos.

Mediante el análisis de la imagen de satélite, se estimó una superficie con riego de 1,082 ha sembradas principalmente con alfalfa, con un consumo estimado anual de agua de 1,000 mm (Steduto *et al.*, 2012), de tal manera que se infiere un consumo de 10'082,000 m<sup>3</sup> de agua, que representa apenas el 3.3% del volumen total de escurrimiento en la cuenca.

Aunque el balance hidrológico y la información sobre el uso de agua de riego en la microcuenca muestra que la extracción para fines de riego agrícola es un porcentaje reducido del volumen escurrido al fondo del valle, las condiciones de escases de agua para riego evidenciadas por la disminución constante a través de los años del nivel del agua en los pozos a cielo abierto en la microcuenca son una señal de que hace falta más información cuantitativa principalmente para una estimación confiable de las salidas de agua de la microcuenca.

## Conclusiones

El 51.3% del volumen que ingresa a la microcuenca por concepto de lluvia promedio anual, se escurre hacia el fondo de la microcuenca.

La actividad agrícola se realiza principalmente en 7,620 ha con pendiente del suelo menores al 5%.

La agricultura de riego se realiza en al menos 1,000 ha principalmente con pozos a cielo abierto y gastos reducidos para riego de superficies menores a una hectárea.

Aunque no se ha cuantificado el volumen que sale de la microcuenca a través del Río Atoyac, de manera general el nivel freático en los pozos a cielo abierto localizados en la microcuenca ha disminuido, particularmente en años con valores de lluvia menores al promedio histórico.

## Referencias bibliográficas

- CONAGUA. (2017). Registro Público de Derechos de Agua. REPDA. <http://app.conagua.gob.mx/Repda.aspx>. (Consultado, 17 de noviembre del 2017).
- ESRI. (2015). ArcGIS 10.3.1 for Desktop quick start guide.
- European Space Agency – ESA-. (2015). SENTINEL-2 User Handbook. 64 p.
- Hudson, N.W. (1993). Field Measurement of Soil Erosion and Runoff. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma. 139 p.
- Serrano A.V., A. López L., G. Medina G., M.A. Cano G., G. Díaz P. y J.A. Ruiz C. (2007). Caracterización espacio-temporal de la precipitación mensual y humedad disponible en el estado de Oaxaca. INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Libro Técnico No 8. 172 p.
- Steduto, P. T.C. Hsiao, E. Fereres y D. Raes. (2012). Crop yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 66. Rome. 497 p.

## ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE TRIGO BAJO DOS CALENDARIOS DE RIEGO

Jorge Iván Alvarado-Padilla<sup>1\*</sup>, Rene Hortelano Santa-Rosa<sup>2</sup>, Héctor Eduardo Villaseñor-Mir<sup>2</sup>, Alberto Borbón-Gracia<sup>3</sup> y Yara Nohemí Vargas-Ruvalcaba<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de Mexicali-INIFAP, <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México-INIFAP, <sup>3</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug-INIFAP

\*Autor para correspondencia: [alvarado.jorge@inifap.gob.mx](mailto:alvarado.jorge@inifap.gob.mx)

**Palabra clave:** Genotipos, grano y rendimiento.

### Introducción

El rendimiento de grano es el resultado del número de granos por unidad de superficie y estos pueden ser analizados estadísticamente para caracterizar grupos de datos que provienen de variables dependientes. El grano de trigo depende de factores agronómicos y el manejo del agua de riego es uno de ellos (Cárdenas-Salazar *et al.*, 2018). Para regular el uso de agua se pueden implementar compuertas graduadas o modelos de predicción para calcular la lámina de riego (Castro *et al.*, 2016). El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento del rendimiento al omitir el riego en llenado de grano.

### Materiales y Métodos

El ensayo se realizó durante el ciclo otoño-invierno 2022-2023, en el Campo Experimental Valle de Mexicali, el cual pertenece al INIFAP, en Mexicali, Baja California. El manejo agronómico implementado para el seguimiento del experimento fue de acuerdo a la Guía de trigo generada por INIFAP. En el ensayo se estableció con 19 genotipos de trigo duro a los cuales se les manejo con dos calendarios de riego (Cuadro 1), en el primer calendario se aplicaron cuatro riegos de auxilio y en el segundo calendarios solo tres riegos de auxilio omitiendo el cuarto riego en la etapa de llenado de grano. El rendimiento de grano se analizó estadísticamente determinando el rendimiento máximo y mínimo de la población, la media, la moda y la desviación estándar.

### Resultados y discusiones

El omitir el riego en la etapa de llenado de grano, se tiene en promedio una pérdida de 379 kg ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1), el valor máximo de la población con tres riegos de auxilio fue del genotipo CIRNO C 2008/HELLER #1 y DESERT.KING/7/SOOTY9/RASCON37//GUAYACAN.... con 8422 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, y con los cuatro riegos sobresalió la variedad testigo CIRNO C2008 con un rendimiento de 8831 kg ha<sup>-1</sup>. La media obtenida con los tres riegos de auxilio es de 7861 kg ha<sup>-1</sup>, siendo superada con 4.6% respecto a la media de cuatro riegos. La moda del grupo de tres riegos fue de 8422 kg ha<sup>-1</sup> con dos genotipos y 8711 kg ha<sup>-1</sup> para el grupo de cuatro riegos con dos genotipos también. La desviación estándar es una medida de variabilidad de un conjunto de datos alrededor de la media, con estos datos se observa que la media de la población en tres riegos de auxilio es de 7861 kg ha<sup>-1</sup> y la desviación estándar de 441 kg, esto significa que para tres riegos existe hay una tendencia a la baja y por consecuente se pueden seleccionar 11 genotipos con rendimiento similares a la variedad CIRNO C2008. Considerando la misma tendencia para cuatro riegos de auxilio, se pueden seleccionar 9 genotipo, los cuales se repiten dentro de los 11 genotipos seleccionados para tres riegos. Cárdenas, *et al.*, 2018, en el estudio realizado en el Valle de Mexicali para la producción de grano con tres y cuatro riegos, obtuvieron la misma tendencia en la pérdida de rendimiento con 1.2 toneladas. Valenzuela *et al.*, 2018, en una investigación realizada en el Noroeste de México, encontró la misma tendencia de la reducción del grano al omitir el riego en la etapa fenológica del llenado de grano.

**Cuadro 1.** Rendimiento de grano y variables estadística.

<b>Genotipo</b>	<b>Tres Riegos</b>	<b>Cuatro Riegos</b>
DESERT.KING/7/SOOTY9/RASCON37//GUAYACAN.INIA/3/BSET/PNIO3/6/... ...../RASCON37/5/KALKA/PIJE2	8422	8511
SILK3/DIPPER6/3/ACO89...RASCON37/6/SNITAN	7933	8022
TADIZ/9/USDA595/3/D67.3/RABI...9/10/CIRNO	7933	8044
CF420S/CALAMON2/3/CANELO//SHAKE3/2*AJAIA2/4/KOFA/TEJE3/6/SNITAN/ MALV1//...../3/PORRON_	7067	7178
BAROBAMPO/ANATOLY	7167	7422
CIRNO C 2008/HELLER #1	8422	8711
CIRNO C 2008*2/BAIRDS	7600	7889
CIRNO C 2008/3/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA	8044	8393
CIRNO C 2008*2/QUETRU	7067	7422
CIRNO C 2008/DUNKER	8244	8656
CIRNO C 2008*2/3/SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA	8074	8533
CIRNO C 2008	8351	8831
HUBEI (Noroeste C2022)	7600	8089
CIRNO C 2008*2/ENTRELARGO DE MONTIJO	7967	8467
CIRNO C 2008*2/BAROYECA ORO C2013	8189	8711
BAROYECA ORO C2013*2/IM	8244	8800
MIWOK/6/ALTAR/STINT//SILVER45/3/GUANAY/4/GREEN14//YAV10/AUK/...../ F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA13	7996	8600
DON LUPE C2020	7511	8133
CIRNO C 2008*2/GUAYACAN INIA	7533	8156
<b>Máxima</b>	<b>8422</b>	<b>8831</b>
<b>Mínima</b>	<b>7067</b>	<b>7178</b>
<b>Media</b>	<b>7861</b>	<b>8240</b>
<b>Moda</b>	<b>8422</b>	<b>8711</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>441</b>	<b>492</b>
<b>Número de muestras</b>	<b>19</b>	<b>19</b>

### Conclusiones

Con estos datos se llega a la conclusión de que el peso promedio de los genotipos es de 7861 kg ha<sup>-1</sup>, con una tendencia a variar por debajo o por encima de dicho peso en 441 kg. Esta información nos permitió seleccionar nueve genotipos para formar ensayos avanzados de rendimiento para el próximo ciclo O-I 2023-2024.

### Agradecimientos

Se agradece al 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.

### **Fuente financiera**

INIFAP con fondo de recurso fiscales.

### **Referencias bibliográficas**

- Cárdenas-Salazar, V. A., Escobosa García, M.I., Bali Khaled, M., Soto Ortiz, R., Núñez Ramírez, F., Avilés Marín, S. M., Ruiz Alvarado, C. y Román Calleros, 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.
- Castro G., C H., Escoboza G., L. F., Avendaño R., L., Escoboza G., M. I., Huez L., M. y Viramontes O., O. A. (2016). Función sigmoide como modelo de predicción para riego en trigo (*Triticum aestivum*), distrito 014, mexicali, baja california. *Investigación y Ciencia*. 68: 5-14.
- 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 41 (2): 159 – 166.





*Suelo*



## ***Lupinus campestris* Y *Lupinus elegans* COMO ABONO VERDE, UNA ALTERNATIVA PARA LA REHABILITACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS**

Elizabeth García-Gallegos<sup>1\*</sup>, Eunise M. Zamora-Campos<sup>1</sup>, Oscar G. Vázquez-Cuecuecha<sup>1</sup>, Paulina Sánchez-Ventura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Genética y Ambiente-UATx, <sup>2</sup>Licenciatura Química Clínica, Facultad de Ciencias de la Salud-UATx.

\*Autor para correspondencia: [egarciag@uatx.mx](mailto:egarciag@uatx.mx)

**Palabras clave.** Leguminosas, suelos degradados, actividad microbiana.

### **Introducción**

La degradación del suelo afecta su capacidad para tener una producción sostenible, ya que crea condiciones de estrés que impiden un desarrollo adecuado de las plantas, lo que se acentúa más en las regiones secas, donde los organismos viven en el límite de sus umbrales de sobrevivencia, debido principalmente a la falta de un recurso crítico que es el agua, lo que amenaza a la agricultura, la diversidad y el medio ambiente con consecuencias socioeconómicas irreversibles. En el estado de Tlaxcala la degradación de los suelos se muestra en el territorio con la aparición de sustratos endurecidos denominados “tepetates”, los cuales se definen como un horizonte endurecido, ya sea compactado o cementado y con características físicas y químicas (alta densidad aparente, baja conductividad hidráulica y retención de humedad, así como baja fertilidad), altamente restrictivas para el desarrollo de la vegetación (Gama-Castro et al., 2007), lo que representa un problema desde el punto de vista del manejo agrícola, ya que estas capas endurecidas dificultan la labranza, lo que hace costosa su rehabilitación. Para mejorar su calidad se han implementado diferentes metodologías, entre las que se encuentran la incorporación de compostas, lombricompostas, fertilizantes inorgánicos, aguas residuales, biosólidos, estiércol fresco, estabilizado y abonos verdes (García-Cruz et al., 2007), estas enmiendas son importantes a corto plazo en cuanto al suministro de nutrimentos, además de mejorar la estructura del suelo, reducen la erosión y se incrementa la materia orgánica. En particular el uso de leguminosas como abonos verdes, además de favorecer el contenido orgánico en el suelo, incorporan nitrógeno por la fijación biológica de nitrógeno atmosférico que realizan, lo que aumenta la actividad biológica, por lo que convierte a esta acción de incorporar abonos verdes en una estrategia importante para mejorar la condición edáfica del tepetate. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar en condiciones de laboratorio la actividad microbiana y la tasa de mineralización relativa, por la incorporación como abono verde de las leguminosas *Lupinus campestris* Cham. & Schtdl y *Lupinus elegans* Kunth.

### **Materiales y métodos**

Para el establecimiento del experimento se utilizó tepetate blanco del municipio de Totolac, Tlaxcala, el cual se localiza en las coordenadas geográficas 19° 17' 04.9" N y 98° 06' 12.8" W a 2 330 m. s.n.m. El sustrato se colocó sobre papel Kraft para secarse a temperatura ambiente y a la sombra por 24 h, posteriormente se tamizaron con malla de 2 mm para obtener un tamaño de partícula homogéneo. El pH se determinó en una suspensión de suelo: agua (1:2 p/v); materia orgánica por el método de Walkley-Black; textura por el método del hidrómetro de Bouyoucos, densidad aparente, fósforo por Bray-Kurtz 1 y N total por el método Kjeldahl, con base a las técnicas que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000. Las especies vegetales de *L. campestris* y *L. elegans*, se cultivaron bajo condiciones de invernadero, la cosecha de las plantas se efectuó en la etapa juvenil, se secaron en estufa a 65 °C hasta obtener un peso seco constante y después se molieron a un tamaño de partícula de 2 mm y conservaron en bolsa de papel y en seco. Para el establecimiento del experimento se empleó un diseño completamente aleatorizado con 7 tratamientos y 3 repeticiones, dos especies (*L. campestris*, *L. elegans*), 3 dosis de cada una (0.4, 0.8 y 0.16 g), y un testigo. Se utilizaron 50 g de tepetate y la unidad experimental fue un frasco de 250 mL de vidrio con tapa hermética, el sustrato se mezcló de acuerdo con la dosis y se humedeció al 50% de su capacidad de campo. A los 14 días se determinó la actividad microbiana por la producción de C-CO<sub>2</sub> a través del método álcali que propone Paolini (2018) y se evaluó la tasa de mineralización relativa con base al C-CO<sub>2</sub> inicial y C-CO<sub>2</sub> acumulado.

A los datos de las variables se les aplicó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) y homogeneidad de varianzas (Levene) para después realizar un análisis de varianza, además de una prueba de comparación de medias LSD Fisher ( $p < 0.05$ ), bajo un modelo estadístico lineal  $Y_{ijk} = \mu + E_i + T_{j(i)} + \varepsilon_{ijk}$ ; donde,  $Y_{ijk}$  = las observaciones,  $\mu$  = la media general,  $E_i$  = valor de la  $i$ -ésima especie,  $T_{j(i)}$  = el  $j$ -ésimo valor del tratamiento dentro de la  $i$ -ésima especie,  $\varepsilon_{ijk}$  = el error experimental, todo lo anterior a través del programa estadístico InfoStat versión libre 2020.

## Resultados y discusión

El tepetate presentó una densidad aparente ligeramente mayor a  $1.0 \text{ g cm}^{-3}$ , una clase textural franco arenosa, el pH fue medianamente alcalino, el contenido de materia orgánica muy bajo, cantidades bajas de fósforo y nitrógeno total, con base a la clasificación que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los valores indican que este sustrato presenta una compactación y una baja fertilidad, lo que caracteriza al tepetate, por lo que la aplicación de diferentes tipos de enmiendas orgánicas a este sustrato va a proporcionar una fuente importante de energía y nutrientes para mejorar su actividad biológica. La producción promedio de C-CO<sub>2</sub> durante el tiempo de incubación (14 días) no mostró diferencias significativas entre las especies ( $p > 0.05$ ). Respecto a la dosis por especie se observó que con 0.8 g de abono verde de *L. elegans* se obtuvo una mayor cantidad de C-CO<sub>2</sub>, respecto al testigo (Cuadro 1), de tal forma que se observa que con la incorporación de *L. elegans* hay mayor producción de C-CO<sub>2</sub>.

**Cuadro 1.** Respiración microbiana en tepetate con abono verde de plantas del género *Lupinus*.

Planta	Dosis (g)	mg C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> tepetate
<i>L. campestris</i>	0	77.92 ± 5.1 b*
	0.4	91.67 ± 4.8 ab
	0.8	88.0 ± 32.2 ab
	0.16	97.17 ± 11.1 ab
<i>L. elegans</i>	0	77.92 ± 5.1 b
	0.4	115.50 ± 6.3 ab
	0.8	122.8 ± 4.8 a
	0.16	110.0 ± 13.8 ab

\*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

En los primeros días de incubación se tienen variaciones en cuanto a la producción de C-CO<sub>2</sub>, resultado de la actividad de los microorganismos por la presencia reciente de moléculas orgánicas fáciles de degradar, tales como, las proteínas y azúcares, lo que se vincula a la degradación inmediata de las fracciones orgánicas lábiles presentes en el abono verde, materia orgánica fresca que confiere una fuente de energía y nutrientes. A esta reacción de la comunidad microbiana se le denomina efecto iniciador, pero tiene que ver con la composición del tejido vegetal. En las especies de leguminosas, Zapata *et al.* (2019) reportan que *L. exaltatus* puede presentar un 19.85% de lignina, 35.69% de celulosa y un 17.25% de hemicelulosa, similar a, *L. rotundiflorus* que contiene un 18.62% de lignina, 35.09% de celulosa y un 17.38% de hemicelulosa, porcentajes que dependen de la especie, manejo y condiciones ambientales.

De acuerdo con los resultados de la determinación de la tasa de mineralización relativa (TMR) a los 14 días de incubación, no se mostraron diferencias entre especies ( $p > 0.05$ ). El porcentaje de mineralización del abono verde fue prácticamente igual con las dos especies (Cuadro 2). El tratamiento testigo presentó la mayor tasa de mineralización, esto indica que la materia orgánica con la que contaba de inicio el tepetate fue a este tiempo degradada en un 52.3%, pero el incorporar 0.16 g de abono verde de *L. campestris* se obtuvo un 50.52 % de mineralización y de *L. elegans* se mineralizó el 48.87 %. Esta tasa depende de la acumulación de carbono en el tiempo. Liu *et al.* (2009) mencionan que al incorporar abonos verdes se incrementa el contenido de materia orgánica y el espacio poroso y, por lo tanto, se disminuye la densidad aparente, condiciones propicias para que se lleve a cabo una mineralización de la fracción orgánica por la comunidad microbiana, siendo los compuestos poco recalcitrantes los mayormente degradados, seguido de los compuestos más resistentes, donde predomina la lignina, la cual es mineralizada por organismos específicos.

**Cuadro 2.** Tasa de mineralización relativa del abono verde de las plantas del género *Lupinus*.

Planta	Dosis (g)	TMR (%)
<i>L. campestris</i>	0	52.38 ± 5.1 a*
	0.4	38.08 ± 10.2 a
	0.8	44.31 ± 10.2 a
	0.16	50.52 ± 6.8 a
<i>L. elegans</i>	0	52.38 ± 5.1 a
	0.4	33.06 ± 3.5 a
	0.8	37.18 ± 6.0 a
	0.16	48.87 ± 2.3 a

\*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). TMR=Tasa de mineralización relativa.

## Conclusiones

Con base a los resultados se puede señalar que el emplear *L. campestris* y *L. elegans* como abono verde incrementó la actividad biológica del tepetate, respecto a la producción de C-CO<sup>2</sup>. Las dos especies presentaron una tasa de mineralización relativa que indica un efecto iniciador. Por lo que se propone como actividad agrícola incorporar estas especies como abono verde para mejorar las condiciones edáficas de los tepetates y así promover principalmente la disponibilidad del nitrógeno a las plantas, lo que favorecerá sin duda al proceso de rehabilitación.

## Agradecimientos

Se agradece al Sr. Eloy García, propietario del predio de Totolac, Tlaxcala para llevar a cabo el muestreo del tepetate.

## Referencias bibliográficas

- Gama-Castro, J., Solleiro-Rebolledo, E., Flores-Román, D., Sedov, S., Cabadas-Báez, H., & Díaz-Ortega, J. (2007). Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59(1), 133-145.
- García-Cruz, A., Flores-Román, D., García-Calderón, N. E., Ferrera-Cerrato R. & Velázquez-Rodríguez, A. S. (2007). Habilitación de un tepetate por efecto de mejoradores biológicos. Agrociencia, 41(7), 723-731.
- Liu, W., Zhang, Z., & Wan, S. (2009). Predominant role of water in regulating soil and microbial respiration and their responses to climate change in a semiarid grassland. Global Change Biology, 15, 184-195.
- Paolini, G.J.E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. Terra Latinoamericana, 36(1), 13-22.
- Zapata, H., Zamora, N., Trujillo, T., & Ramírez, F. (2019). ¿La incorporación de residuos de diferentes especies de *Lupinus*, como abono verde, afecta la actividad microbiana del suelo? Terra latinoamericana, 38, 45-56.

## RENDIMIENTO DE LA SOYA BAJO EL RÉGIMEN HÍDRICO DE TEMPORAL EN TRES SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO

Moisés Alonso-Báez<sup>1\*</sup>, Manuel Grajales-Solís<sup>1</sup>, Guillermo López-Guillén<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CERI CIRPAS INIFAP

\*Autor para correspondencia: [alonso.moises@inifap.gob.mx](mailto:alonso.moises@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Subsuelo, barbecho, rastreo del suelo.

### Introducción

En El Soconusco, Chiapas, Región Pacífico Sur de México, se siembran 14,000 ha de soya en condiciones de régimen hídrico de temporal. Su importancia socioeconómica en esta zona se debe principalmente porque las condiciones edafo-climáticas existentes son favorables para el cultivo; ya que regularmente el periodo estacional de la de lluvia es de seis meses (mayo-octubre), y por tal razón, dicha condición provee al cultivo de suficiente humedad edáfica para su crecimiento y excelente rendimiento. Sin embargo, desde que se inició su siembra comercial en esta zona en 1975, la preparación del suelo para su siembra ha sido en condiciones de suelo húmedo, donde el paso excesivo de la maquinaria para este proceso, ha provocado que los suelos muestren actualmente evidente compactación, cuyo problema ha sido detectado mediante la abertura de perfiles de suelo, donde se ha observado un “piso de arado” por debajo de la capa arable a más menos 35 cm de la superficie del suelo. En relación con lo anterior, la literatura especializada en este ámbito señala que, una estrategia para romper el “piso de arado” e incrementar la infiltración del agua en el suelo sugiere el subsolado, cuya ruptura del “piso de arado”, incrementa la infiltración, el movimiento interno del agua, su redistribución, su capacidad de almacenamiento y crecimiento radical del cultivo para explorar mayor volumen de humedad por la rizosfera (Lampurlanes *et al.*, 2001; Sharma *et al.*, 2004).

### Objetivo

Con base en los antecedentes señalados, se desarrolló esta investigación, cuyo objetivo fue evaluar el impacto de tres sistemas de manejo del suelo durante dos años de observación sobre el rendimiento de soya en condiciones de régimen hídrico de temporal, así como de las propiedades hidráulicas del suelo inducidas por la práctica del subsolado.

### Materiales y métodos

Esta investigación constó de dos años de observación (2019 y 2022) en dos sitios de experimentales: predios “San Antonio” y 1° Sección de Tinajas, ambos en el Municipio de Tapachula, Chiapas., cuyas coordenadas geográficas son 14° 51’ de Latitud Norte y 92° 19’ de Longitud Oeste. El clima representado por las siglas Am(w’)ig (García, 1973), corresponde al cálido subhúmedo, donde la precipitación total en verano es de 1,200 mm; la temperatura promedio anual es de aproximadamente 28°C y la humedad relativa promedio anual es mayor a 85%. Los suelos predominantes son una combinación de andosol mólico y fluvisol eútrico originados por el arrastre de las cenizas volcánicas; en ambos sitios la textura fue de tipo franco, un pH ligeramente ácido, suelos con alta capacidad de retención de humedad y nutrientes. La variedad de soya sembrada fue Huasteca 600 generada en el Campo Experimental Sur de Tamaulipas del INIFAP, cuyo rendimiento promedio supera 3500 kg ha<sup>-1</sup>. El diseño de tratamientos consistió de tres sistemas de manejo del suelo mediante parcelas apareadas cada una de 5000 m<sup>2</sup> (superficie experimental): subsuelo, barbecho y solo rastreo. Al momento de la siembra todos los tratamientos fueron rastreados y sembrados con maquinaria; en ambos años de observación las fechas de siembra fueron variables, del 10 al 25 de julio. Asimismo, después de dos años de evaluación de los sistemas de manejo del suelo y medir el impacto de dichos sistemas sobre las propiedades hidráulicas del suelo: tasa de infiltración ( $q_0$ ), conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ ) y lámina infiltrada acumulada [ $I(t)$ ]; en cada sitio experimental, al interior de cada tratamiento se hicieron dos pruebas de infiltración mediante cilindros infiltrómetros y por un tiempo de prueba de 427 minutos. En la cosecha para observar el impacto de los sistemas de manejo del suelo sobre las variables de respuesta, al interior de cada tratamiento se seleccionaron al azar seis parcelas útiles (PU), cada una integrada por dos surcos de 5 m de largo espaciados 70 cm entre surcos. Lo anterior

se realizó cuando el cultivo alcanzó su madurez fisiológica, y, dentro de cada PU (seis por cada tratamiento, equivalente a las repeticiones) se tomaron las siguientes observaciones de campo: se midió la altura final de la planta (cm) de una muestra de cinco plantas seleccionadas al azar, se contaron el número de ramas, número de entrenudos y el número de vainas. Cuando la planta estuvo seca se contabilizó el número de plantas a fin de obtener la densidad de población final y se trilló toda la parcela útil para obtener el peso de grano ajustado al 14% de humedad, también se pesaron 100 granos por repetición, y finalmente se estimó el rendimiento unitario en kilogramos por hectárea. Se formó la matriz de valores de las diferentes variables y se sometió a su análisis de varianza correspondiente mediante el software SAS V 9.2.

## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan los parámetros de las variables de planta más representativos (altura de planta, ALPA y número de vainas, NVA) y de rendimiento (REND; kg ha<sup>-1</sup>) con base en una densidad promedio de población de 220,000 plantas por hectárea. Asimismo, dichos valores fueron sometidos a su análisis de varianza correspondiente y se presentan en el Cuadro 2. Después del análisis de varianza se realizó la separación de medias por el método de Tukey al 5% de aceptación ( $\alpha = 0.05$ ).

**Cuadro 1.** Parámetros de la planta de soya, altura de planta (APTA), número de vainas (NVA) y rendimiento (REND) en función de los diferentes sistemas de manejo del suelo por años y sitios de observación en el Soconusco, Chiapas.

Tratamientos	2019			2022			2022		
	San Antonio			San Antonio			1° Sección Tinajas		
	APTA	NVA	REND	APTA	NVA	REND	APTA	NVA	REND
<b>Subsolado</b>	76.6	123	2634	71.95	140	2550	86.83	114	1824
<b>Barbecho</b>	68.7	124	1772	64.1	146	2345	79.48	112	1582
<b>Rastro</b>	71.1	122	1873	59.45	136	2411	79.42	113	1632

**Cuadro 2.** Resultados del análisis de varianza de las variables de respuesta de la planta de soya, altura de planta (APTA), número de vainas (NVA) y rendimiento (REND) en función de los diferentes sistemas de manejo del suelo por años y sitios de observación en el Soconusco, Chiapas.

Tratamientos	Resultados entre sitios de observación de los años 2019 y 2022		
	APTA (cm)	NVA (unidades)	REND (kg ha <sup>-1</sup> )
	<b>Subsolado</b>	78.46 a	127 a
<b>Barbecho</b>	70.76 b	126 a	1972 a
<b>Rastro</b>	69.99 b	124 a	1900 a
<b>CV (%)</b>	2.85	2.34	9.98

En relación con los resultados presentados en el Cuadro 2, con excepción de la altura de planta (APTA), la bondad de la práctica del subsolado mostró un impacto superior sobre esta variable respuesta a través de los dos años de observación y por sitios experimentales; sin embargo, para el resto de las variables el análisis de varianza no reveló diferencia estadística significativa. Pero, en el mismo Cuadro, se observó marcada tendencia general sobre las variables (APTA, NVA y REND) influidas por el impacto del subsolado, principalmente sobre el rendimiento. Con relación a las características hidráulicas del suelo: infiltración básica ( $q_0$ ; cm min<sup>-1</sup>), conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ ; cm min<sup>-1</sup>) y lámina infiltrada acumulada [ $I(t)$ ; cm] en función de los sistemas de manejo del suelo, en el Cuadro 3 se presentan estos parámetros, correspondientes a cada uno de los sitios experimentales. En este Cuadro se observa que después de dos años de evaluación, las propiedades hidráulicas fueron muy variables, donde las tasas de infiltración y conductividad hidráulica a saturación, correspondiente a los sistemas de subsolado y rastreo en el Sitio de 1° Sección de Tinajas, tuvieron un comportamiento similar; pero, la lámina infiltrada acumulada, en el sistema de subsolado este parámetro fue superior en relación con el barbecho y rastreo del suelo; en el Sitio San Antonio, en el sistema de subsolado, todas las características hidráulicas fueron inferiores a los demás sistemas de manejo del suelo (barbecho y rastreo).



**Cuadro 3.** Características hidráulicas del suelo: infiltración básica ( $q_0$ ), conductividad hidráulica a saturación ( $K_s$ ) y lámina infiltrada acumulada [ $I(t)$ ]; en función de los sistemas de manejo del suelo en el cultivo de soya bajo el régimen hídrico de temporal.

Características hidráulicas del suelo	Sistemas de manejo del suelo					
	"1° sección de Tinajas"			"San Antonio"		
	Subsolado	Barbecho	Rastreo	Subsolado	Barbecho	Rastreo
$q_0$ (cm min <sup>-1</sup> )	0.02	0.032	0.022	0.026	0.075	0.087
$K_s$ (cm min <sup>-1</sup> )	0.022	0.032	0.019	0.021	0.043	0.11
$I(t)$ (cm)	14.84	13.7	12.7	19.5	32.3	43.88

Los resultados en relación con los sistemas de manejo del suelo revelaron alta variabilidad; sin embargo, el subsolado siempre mostró clara evidencia de su impacto en la capacidad de almacenamiento de agua en la zona radical del cultivo de soya en condiciones de temporal; ya que cuando se rompe el piso de arado, no hay duda que dicha práctica contribuyó a la expansión del sistema radical de cultivo de soya en el subsuelo, en respuesta a una capacidad superior de almacenamiento de agua en la zona radical del cultivo (Desale *et al.*, 2012). Asimismo, investigaciones similares confirman que el subsolado establece condiciones ideales para el desarrollo radical y retarda la senescencia de la planta; aumenta el rendimiento de grano y hace posible el incremento de la densidad de población en este cultivo (Mohanty *et al.*, 2007; Zibilske and Bradford, 2007).

### Conclusiones

Con base en los resultados de esta investigación en el corto plazo (dos años), la práctica del subsolado solo mostró marcada tendencia sobre el incremento del rendimiento de grano de la soya bajo el régimen hídrico de temporal, con respecto a los sistemas de barbecho y rastreo del suelo; y sobre los parámetros hidráulicos del suelo, infiltración básica y conductividad hidráulica a saturación, dichos parámetros mostraron alta variabilidad, con excepción de la lámina infiltrada acumulada en el sitio 1° Sección de Tinajas donde ésta fue superior en el sistema de subsolado del suelo.

### Referencias bibliográficas

- Desale K. A.; Melesse, T. L., Abdu A. M. 2007. Effect of Winged Subsoiler and Traditional Tillage Integrated with Fanya Juu on Selected Soil Physico-Chemical and Soil Water Properties in the Northwestern Highlands of Ethiopia. *East African Journal of Sciences* (2012) Volume 6 (2) 105-116
- Lampurlanes, B.J., Angas, P., Cantero-Martinez, C., 2001. Root growth, soil water content and yield of barley under different tillage systems on two soils in semi-arid conditions. *Field Crops Res.* 69, 27–40.
- Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, K.D. Ghosh, K.A., Misra, K.P. and Hati, K.M. 2007. Water transmission characteristics of a vertisol and water use efficiency of rainfed Soybean under subsoiling and manuring. *Soil Tillage Research* 93: 420- 428.
- Sharma, P., Tripathi, R.P., Singh, S. and Kumar, R. 2004. Effect of tillage on soil physical properties and crop performance under rice-wheat system. *J.Indian Soc. Soil Sci.*52,12-16.
- Zibilske, L.M. and Bradford, J.M. 2007. Soil aggregation, aggregate carbon, nitrogen, and moisture retention are induced by conservation tillage. *Soil Science Society of American Journal* 71: 793-802.

## **IMPACTO DEL USO DE AGROQUÍMICOS EN LA POBLACION NATURAL DE MICORRIZAS EN ÁREA CITRÍCOLA DE LA HUASTECA, MÉXICO**

Florencia García-Alonso<sup>1</sup>, Lorena Casanova-Pérez\*<sup>1</sup>, Ricardo Martínez-Martínez<sup>2</sup>, Alberta San Juan-Martínez<sup>1</sup>, Emigdio De la Cruz-De la Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense, <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur

\*Autor para correspondencia: [lorena.casanova@uthh.edu.mx](mailto:lorena.casanova@uthh.edu.mx)

### **Introducción**

Los plaguicidas son sustancias químicas que se han usado de manera intensiva para aumentar los volúmenes de producción, así como, para controlar plagas agrícolas e insectos vectores de enfermedades en humanos y animales, además del control de insectos que afectan la producción, almacenamiento y transformación de las cosechas. Sin embargo, estudios del uso indiscriminado de agroquímicos en los sistemas de producción han demostrado que éstos tienen un impacto negativo sobre la microbiota del suelo afectando poblaciones numerosas de microorganismos nativos de interés biológico expuestas a este tipo de sustancias. En otras palabras, las prácticas culturales agrícolas como la adición de fertilizantes, aplicaciones de pesticidas y mecanización (lo que provoca la rotura de los perfiles del suelo y la exposición al sol y el aire de la microbiota del suelo), pueden alterar, en el caso de los microorganismos benéficos que usualmente viven en el suelo el número de colonias y respectivo proceso de colonización en las especies con las cuales establecen relaciones simbióticas. Estas poblaciones de microorganismos nativos, al ser expuestas a este tipo de sustancias pueden tener efectos directos sobre las estructuras externas y su fisiología, y con ello, disminuir su actividad como biofertilizantes, bioestimulantes y, por ende, su impacto benéfico como promotor del crecimiento de las plantas.

Estos organismos, principalmente hongos y bacterias, que aún sobreviven en suelos en zonas poco alteradas pueden a través de diversas técnicas agrobiotecnológicas ser aislados, multiplicados e incorporados a suelos agrícolas pobres en nutrientes, los cuales ante un manejo inadecuado han perdido su microbiota original. Este proceso, reincorporación de microbiota es fundamental para la recuperación de dichos suelos y para la planta, ya que esta última puede adquirir de una manera más eficiente nutrientes minerales que se difunden del ambiente radical y que se mueven lentamente en la solución del suelo o en las plantas en forma de inóculos. La utilización de microorganismos benéficos en el suelo desempeña un papel muy importante en el sector agrícola con el fin de promover el crecimiento de plantas y así llevar a cabo un control biológico de patógenos presentes en los suelos, en un contexto de manejo sostenible del suelo.

Entre los microorganismos de mayor potencial para su uso agrícola se destacan los hongos micorrizógenos, cuya existencia se conoce desde hace muchos años. Al respecto, se estima que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas en el mundo, se han establecido de forma natural y constantemente ya que establecen simbiosis con los hongos del suelo. Así, la principal importancia de estos hongos es lograr que la planta absorba una mayor cantidad de nutrientes, niveles mayores en la producción de hormonas y clorofila, así como un incremento en la vida útil de las raíces, tolerancia al estrés, mejora de las condiciones del suelo y en el establecimiento de relaciones sinérgicas con otros microorganismos. Además, el papel de las micorrizas no solo es la nutrición mineral de las plantas, ya que también contribuyen a la protección de las mismas a patógenos del suelo y mayor tolerancia frente al estrés (salino, hídrico, debido a la presencia de metales pesados).

### **Objetivo**

Analizar el impacto del uso de agroquímicos en la población natural de micorrizas en área citrícola en dos municipios de la Huasteca, México.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio está conformada por siete municipios del estado de Hidalgo y Veracruz pertenecientes a la zona biocultural Huasteca, las cuales se enuncian en el siguiente cuadro.

**Cuadro 1.** Ubicación de los sitios de muestreo del suelo.

Muestra	Municipio	Localidad	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud (msnm)
1	Huejutla, Hgo.	Teacal	21°08'846''	098°26'115''	162
2	Jaltocan, Hgo.	El Chote	21°14'98.63''	-98°50'63.53''	170
3	Tlanchinol, Hgo.	Santa Martha Ula	21°05'07.37''	-98°58'50.40''	9
4	Atlapexco, Hgo.	Cochotla	21°028'836''	98°25'18.26''	496
5	Huautla, Hgo.	Tamoyon I	21°02'607''	098°16'873''	480
6	Chocontepec, Ver.	La puerta	21°03'512''	098°08'885''	98
7	Alamo, Ver.	La Barranca, Tempapache	20°95'75.74''	-97°82'05.07''	553

Fuente: Datos de campo.

El trabajo de campo se realizó durante los meses de febrero a junio del año 2022 se realizó la toma de muestras de suelo en. Además, se registró los datos de localización, coordenadas y altitud utilizando un GPS.

### Toma de muestra

La muestra de suelo se tomó de una profundidad de 0-20 cm en parcelas de cítricos donde se han aplicado y no productos químicos. Las siete muestras de suelo obtenidas se colocaron en bolsas polipropileno (25x35), el suelo fue cernido y colocado en refrigeración a 4°C para que se mantuvieran hasta el momento de los análisis.

### Aislamiento de esporas

El experimento se realizó en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense en el laboratorio de biología. El aislamiento de esporas involucró el uso de 25 gr de suelo con base en la metodología descrita por Gerdermann y Nicholson (1963). De cada muestra se realizó el tamizado, después se procesó a la de decantación en húmedo por tamices de tamaño de poro (250µm, 150µm, 75µm y 45µm).

### Conteo de esporas

Una vez realizado el tamizado al suelo, éste se colocó en papel filtro para retener las esporas, dicho papel filtro con las esporas adheridas fue colocado posteriormente en cajas Petri. Así, progresivamente estas cajas fueron puestas bajo el estereoscopio para realizar el conteo del número de esporas presentes y la identificación del número de esporas presente en cada una de las muestras analizadas. Esta información fue útil para realizar el análisis descriptivo.

### Análisis de suelo

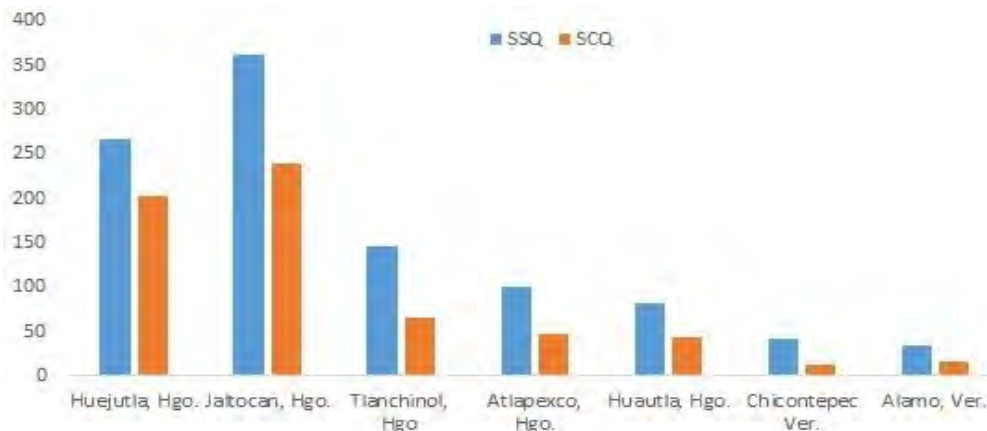
El suelo de las muestras fue sujeto a análisis de pH, conductividad eléctrica, y materia orgánica en el laboratorio de suelos de la Universidad Tecnológica de la Huasteca Hidalguense

## Resultados y discusión

La degradación de los suelos por el uso prolongado e intensivo de agroquímicos ha provocado la reducción de las poblaciones naturales de hongos micorrícicos, por tanto, su estudio y conservación es fundamental para conservar la fertilidad real y potencial del suelo, incluso, son un tipo de microorganismos que puede influir en la regulación de los ecosistemas terrestres, ya que pueden impactar en la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales.

En el área de estudio, al igual que en otras regiones del mundo, existe la presencia de esporas en el suelo rizosférico de las plantas, al ser estas cepas nativas están relacionadas a ciertas características físico-químicas de un terreno, muchas veces, en condiciones adversas y pobres. Sin embargo, se infiere que el uso de agroquímicos puede tener efectos en sus poblaciones naturales, situación que puede cambiar según el tipo de suelo y el grado de intensificación en el manejo del cultivo, ya que, puede haber un efecto estimulador, depresivo o no significativo sobre el hongo.

Esta aseveración es acorde a los resultados obtenidos, los cuales indican que de las muestras de suelo en los siete municipios, los que tienen el mayor número de esporas por cada 25 gramos de suelo donde se cultivan cítricos, fueron la muestra obtenida en El Chote, municipio de Jaltocán con 362 esporas/ 25gr de suelo, la segunda fue la muestra obtenida en la localidad de Teacal, Huejutla con 266 esporas/25 gr, siendo estos suelos donde no se aplica, según las entrevistas, ningún químico, en contraste, los demás municipios presentaron valores menores (Figura 2).



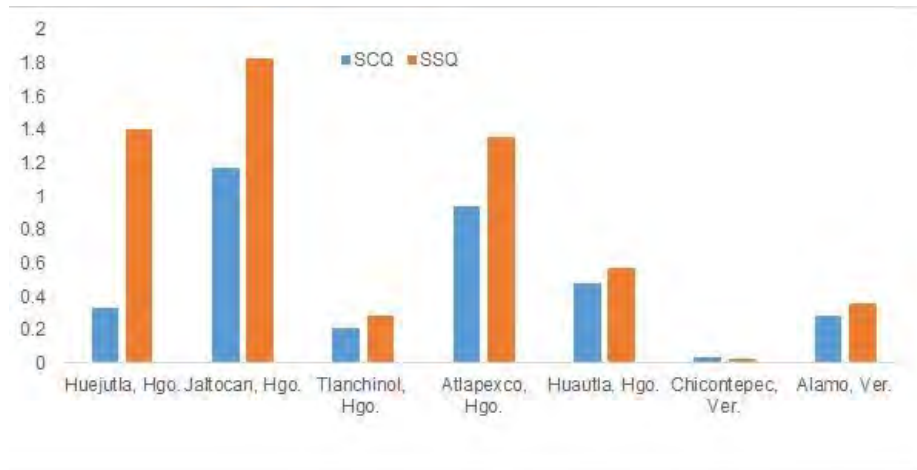
**Figura 2.** Cantidad de esporas aisladas por municipio, SSQ: Suelos sin químicos y SCQ: Suelos con químicos.

Sin embargo, existen factores que pueden afectar la estimación de la abundancia y riqueza de hongos formadores de micorriza arbuscular a partir del aislamiento de sus esporas, entre ellos está la capacidad natural de cada especie para su producción. Aunado a lo anterior, también influyen las características físico-químicas del suelo. Watson *et al.* (2022), mencionan que el pH puede afectar el crecimiento y propagación de las micorrizas, al impactar en su germinación de esporas, el crecimiento de las hifas, y por ende, el desarrollo de dichos hongos. Es importante mencionar que, las especies de hongos micorrícicos difieren en su tolerancia al pH del suelo (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** pH del suelo en muestras seleccionadas.

Municipio	pH	
	Suelo con químicos	Suelo sin químicos
Huejutla, Hgo.	7.37	8.44
Jaltocan, Hgo.	5.76	7.05
Tlanchinol, Hgo.	8.33	7.29
Atlapexco, Hgo.	7.93	8.13
Huautla, Hgo.	8.02	7.34
Chicontepec, Ver.	8.16	7.49
Alamo, Ver.	8.37	8.10

Con base en lo anterior, se infiere que en los suelos donde se aplica productos químicos se tienen suelos moderadamente ácidos, neutro, y medianamente alcalinos, en comparación con los suelos sin químicos, los cuales son neutros y medianamente alcalinos, clasificación indicada según la NOM-021-RECNAT-2000. Barea y Jeffries (1995) argumentan que las micorrizas tienen una amplia adaptación en cuanto a las condiciones del pH, ya que éstas se han encontrado en suelos con pH desde 2.7 a 9.2. En general, se considera que los hongos micorrícicos se adaptan al pH del suelo de su origen, al igual que condiciones de humedad del suelo, conductividad eléctrica y materia orgánica. Esta situación puede convertirse en un factor limitante para el establecimiento de ciertos hongos micorrícicos obtenidos de un contexto específico y su introducción en otras áreas con condiciones diferentes (Figura 3 y Cuadro 3).



**Figura 3.** Valores de conductividad eléctrica  
Fuente: Datos de campo.

**Cuadro 3.** Cantidad de materia orgánica por muestra de suelo.

Municipio	Materia orgánica	
	Suelo con químicos	Suelo sin químicos
Huejutla, Hgo.	9.9	9.4
Jaltocan, Hgo.	10.7	9.4
Tlanchinol, Hgo.	6.8	13.6
Atlapexco, Hgo.	12.8	6.9
Huautla, Hgo.	12.6	10.9
Chicontepec, Ver.	7.1	7.5
Alamo, Ver.	8.3	7.9

Fuente: Datos de campo.

Ante este panorama es necesario continuar con investigaciones de mayor alcance, incluso considerar la historia de manejo de cultivo por varias décadas, obteniendo información que permita identificar y desarrollar estrategias para la conservación de cepas nativas de micorrizas adaptadas a condiciones específicas, como un reservorio genético para ser usado en áreas de cultivos prioritarios (Reis *et al.*, 2022). Asimismo, definir áreas de poco alteradas donde estos microorganismos sigan siendo parte de poblaciones naturales. Sin duda la agrobiotecnología deberá poner sus técnicas a disposición de este propósito.

## Conclusiones

Las micorrizas arbusculares son un importante factor biológico dentro de la estructura funcional de los suelos e incide sobre el comportamiento ecológico, productivo y composición de comunidades vegetales.



En el área de estudio, el número de esporas fue mayor en suelos donde no se había usado agroquímicos, asimismo, con la presencia de algunas características fisicoquímicas del suelo como pH, materia orgánica y conductividad eléctrica.

### **Agradecimientos**

Se agradece a productores cooperantes por las facilidades otorgadas para la obtención de muestras de suelo en el área de estudio.

### **Referencias bibliográficas**

- Barea, J.M, and Jeffries, P. 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. In Mycorrhiza, structure, function, Molecular Biology and Biotechnology pp. 521-560. Springer Verlag. Berlin Heidelberg.
- Gerdermann, J.W., y Nicholson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans. Brit. mycol. Soc. 46, 235-244.
- Sivila, C. R. y Herve D. (1999) Análisis de la microbiota en suelos cultivados del Altiplano Central. En: Memorias Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. IRD. La Paz, 5-14
- Hobbie, SE. 1992. Effects of plant species on nutrient cycling. Trends Ecol. Evol. 7:336-339.
- Reis, L., Oliveira A., Reis F., Louzada, T., Barbosa M. V., Valentim, J., Kemmelmeier K., Siqueira J., Carbone M. A. 2022. On farm inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi improves efficiency in increasing sugarcane productivity in the field. Rhizosphere 22: 100539 <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100539>
- Watson C. D., Gardner M.G., Hodgson R.J., Liddicoat C., Peddle S.D., Breed M. F. 2022 Global meta-analysis shows progress towards recovery of soil microbiota following revegetation. Biological Conservation 272: 109592 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109592>

## PROPIEDADES ANTIMICÓTICAS DE MICROORGANISMOS PROVENIENTES DE LA RIZOSFERA DE *Moringa oleifera*

Denisse Estefanía Díaz-Castro<sup>1\*</sup>, R. A. Méndez-Moreno<sup>1</sup>, O Pérez-González<sup>2</sup>, E.V. Gutiérrez-Castorena<sup>1</sup>, J.M. Márquez-Reyes<sup>1</sup>, V.E. Aguirre-Arzola<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía, UANL, General Escobedo,

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, San Nicolás de los Garza

Autor para correspondencia: [denisse.diazcstr@uanl.edu.mx](mailto:denisse.diazcstr@uanl.edu.mx)

**Palabras clave.** Actinos, micorrizas, rizosfera.

### Introducción

*Moringa oleifera*, comúnmente conocida como moringa, es un árbol originario del sur del Himalaya. Este árbol crece rápidamente y puede alcanzar una altura de 10-12 metros. Se cultiva por sus diversas propiedades y usos, ya que puede ser utilizado como alimento, extracción de aceite para biocombustibles, purificación de agua, entre otros (Torres, 2013). Las micorrizas son una simbiosis entre hongos y bacterias que interactúan con las raíces de las plantas y las ayudan a absorber los nutrientes del suelo y el agua. A cambio, los hongos y bacterias reciben azúcares y nutrientes sintetizados por las plantas. *Moringa oleifera* destaca por su capacidad de producir metabolitos que hacen que su rizosfera sea más inhóspita que otras plantas. Por tanto, la micorriza de esta especie suele ser más resistente, y las actinobacterias presentes en ella también tienen importantes propiedades antifúngicas. (Ejaz, 2017). Para ello se estudiaron trabajos similares de esta y otras especies. Por ejemplo, Juan José Almaraz-Suárez realizó un estudio para aislar e identificar hongos micorrízicos usando suelo de 9 sitios diferentes y tres tratamientos de control. Pudo identificar tres especies de hongos micorrízicos (Almaraz, 2021).

### Objetivo

Aislar actinobacterias y evaluar su actividad antifúngica.

### Materiales y métodos

La metodología constó de 4 pasos importantes: recolección, aislamiento, propagación y experimentos con tres hongos fitopatógenos. En el estudio se utilizaron varios materiales, como una escala micrométrica (puede variar), una placa agitadora magnética, tres placas de Petri (la cantidad puede variar), diez tubos de ensayo (la cantidad puede variar), un matraz Erlenmeyer de 250 ml, un reflector de autoclave, una micropipeta de 20- 200 µl, mechero y 250 ml con vaso de precipitados. Para la preparación del medio tipo "Sabourraud" se utilizaron los siguientes compuestos: 500 ml de agua purificada, 1 ml de penicilina, Tween 80, solución de sacarosa al 70% y una mezcla de alcohol al 70% y cloro al 5%. También se han utilizado agar y peptonas. El medio PDA enriquecido con extracto de levadura y malta utilizó las siguientes composiciones: agar PDA comercial, extracto de malta y levadura.

#### A. Recolección.

Las muestras de suelo se obtuvieron excavando cerca de las raíces, rizomas del jardín de *Moringa oleifera* de la Facultad de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Se recolectaron un total de 3 muestras de suelo de diferentes albergues, cada muestra de suelo tenía diferentes características de humedad y presencia de humus y fertilizantes, de las cuales se almacenaron en tres bolsas diferentes.

#### B. Aislamiento.

En este estudio, se desarrolló una interfase utilizando medio enriquecido con esporas inoculado en medio de cultivo Sabourraud. Se realizaron los preparativos y pasos de desinfección adecuados tanto para la plataforma como para el material de laboratorio. El objetivo principal de este proceso de aislamiento fue identificar y analizar las esporas bajo un microscopio, lo que permitió un examen detallado de su estructura y color. Se utilizó una variación del método de cribado y sedimentación, cuyos conceptos básicos se describen en el Manual de Agromicrobiología, para aislar y propagar esporas endomicorrízicas

arbusculares. Cabe señalar que en este caso se realizó un ajuste especial debido a que el material biológico o cepa utilizada no se aisló de suelos que contenían hongos silvestres de algún cultivo en particular. Este enfoque diferente evita la necesidad de muestreo y selección de muestras, lo que simplifica enormemente el proceso. La preparación del medio de cultivo consistió en llenar un matraz con 500 ml de agua purificada y agregar 1 ml de penicilina. A continuación, la botella se colocó en un plato equipado con un agitador magnético, cuya velocidad se fijó en 12 rpm y la temperatura en 200°C. Durante este proceso, se permitió que los componentes se mezclaran homogéneamente hasta el punto de ebullición. A continuación, se retiró la botella de la placa y se dejó enfriar lo suficiente antes de esterilizarla en autoclave. Finalmente, el medio estéril se dispensó en cristalería previamente desinfectada para su uso posterior.

En cuanto a la preparación de la interfaz de esporas, se llevó a cabo un proceso cuidadoso para dispersar uniformemente las esporas en la solución química adecuada. Para ello, se añadieron las esporas a un matraz Erlenmeyer esterilizado, luego se añadieron 70 ml de agua purificada y 50 ml de sacarosa al 70%. La mezcla se mezcló con un agitador magnético ajustado a 10 rpm y luego se dejó reposar durante 24 a 48 horas, lo que permitió la distribución deseada de las esporas en la solución.

En cuanto al aislamiento en cajas Petri, se extrajeron 20 µL de la interfase de dos matraces Erlenmeyer previamente preparados. Cada botella fue identificada y etiquetada como MAT1 y MAT2, respectivamente. Luego, estas muestras se sembraron en 3 cajas de Petri, tomando todas las precauciones necesarias para evitar cualquier contaminación. Luego, las muestras se agruparon en diez tubos de ensayo con una aguja y una micropipeta para acelerar el proceso. Durante el traslado a las probetas se realizó una limpieza a fondo con una solución de alcohol-cloro y se trabajó cerca del encendedor para mantener un ambiente limpio. Se colocaron cuatro muestras de 20 µl en cada tubo y se agitaron suavemente para promover la propagación de esporas en la superficie. A continuación, los tubos se dejaron reposar a temperatura ambiente para permitir el crecimiento de hongos. Las muestras obtenidas después de este procedimiento se pueden volver a cultivar en placas de Petri con medio PDA, lo que permite agregarlas más adelante en futuras fases de investigación.

#### C. Pruebas con hongos fitopatógenos.

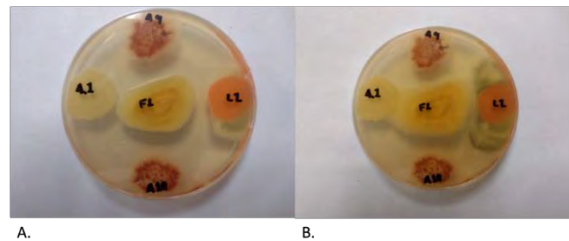
Los experimentos se realizaron con dos hongos fitopatógenos F1 (*Fusarium spp*) y F2 (*Pleurostoma spp*), con el objetivo de probar las propiedades antifúngicas de actinas y levaduras, los pasos del ensayo son los siguientes: primero se prepararon cajas Petri se sembró medio PDA. en el centro y luego el hongo fitopatógeno, se seleccionaron 3 testigos y 6 pares de tipos fúngicos, de ahí se dejó crecer los hongos fitopatógenos durante 3-5 días, luego se cultivaron con 4 cepas actina de hongos fitopatógenos. obtenido aislando la forma cardinal y finalmente analizó la evolución de las actinobacterias y cómo afectan el crecimiento de un hongo fitopatógeno.

### Resultados y discusión

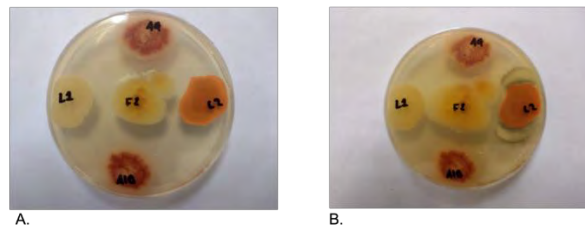
Se tomaron tres muestras de suelo a una profundidad de 1 metro. La primera muestra corresponde a suelo arcilloso, seco y con poca materia orgánica. En cambio, la segunda y tercera muestras corresponden a suelo con alta humedad, fertilizante artificial y una cantidad importante de materia orgánica. Esas dos últimas muestras produjeron la mayor cantidad de esporas. Se recogieron un total de 10 actinomicetos (A1-A10) y 2 muestras de levadura (L1 y L2) y mostraron un crecimiento excelente en medio PDA. Todas las muestras se sembraron en agar PDA, pero se observó una inhibición fúngica esporádica durante el proceso de aislamiento. Debido a esta situación, se han llevado a cabo experimentos cruzados contra fitopatógenos. En relación con experimentos cruzados con hongos fitopatógenos, solo se encontró que algunos actinomicetos tienen la capacidad de reducir el crecimiento de hongos fitopatógenos durante los primeros 3 días de incubación (Figuras 1 y 2). Cabe señalar que estos actinomicetos se encontraban en condiciones de incubación artificial sin acceso a la luz. El Cuadro 1 describe la actividad inhibidora del crecimiento de *Pleurostoma spp.* en contra, marcando con una x las que tuvieron reacción.

**Cuadro 1.** Capacidad de inhibición del crecimiento de hongos fitopatógenos: F1: *Fusarium* spp; F2: *Pleurostoma* spp.

	F1	F2
A1	X	X
A2	X	X
A3	X	X
A4	X	X
A5		
A6		
A7		
A8		
A9		
A10		X
L1		
L2		X



**Figura 1.** Prueba de inhibición cruzada de las cepas aisladas de la rizosfera de *Moringa oleifera* contra *Fusarium* spp. Al centro la cepa fitopatógena de *Fusarium* spp., en los extremos las cepas A9, A10, L1 y L2. Panel A. Efecto a las 48h de cultivo; Panel B después de 2 semanas de cultivo.



**Figura 2.** Prueba de inhibición cruzada de las cepas aisladas de la Rizosfera de *Moringa oleifera* contra *Pleurostoma* spp. Al centro la cepa fitopatógena de *Fusarium* spp., en los extremos las cepas A9, A10, L1 y L2. Panel A. Efecto a las 48h de cultivo; Panel B después de 2 semanas de cultivo.

## Conclusiones

Los microorganismos en la rizosfera de *Moringa oleifera* mostraron una notable adaptación al estrés causado por un ambiente rico en fenoles. Esto implica una alta diversidad de microorganismos en la rizosfera de *Moringa oleifera* que pueden ser útiles en otros procesos. Entre las cepas encontradas, se identificaron las cepas A1, A2, A3, A4, A10 y L2 como las más efectivas contra los fitopatógenos *Fusarium* spp. y *Pleurostoma* spp.

Es necesario caracterizar los compuestos liberados al ambiente por los actinomicetos y realizar la identificación molecular de estos compuestos. Esto permite una mejor comprensión de sus actividades y mecanismos de acción contra patógenos de plantas y proporciona información importante para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas.

## **Agradecimientos**

Por el gran apoyo y financiamiento para poder seguir con mis estudios y desarrollo profesional en la investigación al Dr. Víctor Aguirre y al Laboratorio de Biotecnología Microbiana del CIDIA en la Facultad de Agronomía.

## **Referencias bibliográficas**

Almaraz-Suárez, J., González-Mancilla, A., Ferrera-Cerrato, R., Rodríguez-Guzmán, M., Taboada-Gaytán, O., Hernández-Cuevas, L., Alarcón, A. & Trinidad-Santos, A. (2021). Hongos micorrízicos arbusculares en la rizósfera de plantas nativas y su efecto en el crecimiento de chile poblano. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 44 Núm. 4. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.4.571>

Ejaz, A., Hanif, A., & Dawar, S. (2017). Management of root rot fungi of crop plants by moringa oleifera lam. Torres-Castillo, JA & Sinagawa-García, SR, Martínez, G., López, A., Sánchez-González, E., Aguirre-Arzola, V., Acosta-Reyna I., Olivares-Sáenz, E., Osorio-Hernández, E. & Gutiérrez-Díez, A. (2013). Moringa oleifera: Phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *Phyton (Buenos Aires)*. 82. 193-202.



## APROVECHAMIENTO DEL MEZQUITE ASOCIADO A CAMBIOS SOCIOAMBIENTALES EN EL ALBERTO, IXMIQUILPAN, HIDALGO

Hortencia Guarneros-Manoatl<sup>1\*</sup>, Esteban Valtierra-Pacheco<sup>1</sup>, Ricardo Romano-Garrido<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo; Posgrado en Estudios del Desarrollo Rural,

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tlaxcala, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias sobre Desarrollo Regional.

\*Autor para correspondencia: [guarneros.hortencia@colpos.mx](mailto:guarneros.hortencia@colpos.mx)

**Palabras clave.** Deforestación, fertilidad de suelo, servicios ecosistémicos.

### Introducción

El concepto de sustentabilidad ha tomado gran relevancia desde diferentes enfoques epistemológicos y marcos metodológicos, el cual relaciona el aprovechamiento de los recursos naturales inmersos con los modos de vida de las comunidades (Folke *et al.*, 2002). La teoría de los sistemas socioambientales muestra la relación existente entre el ser humano y la naturaleza, reconociendo que los desequilibrios bajo estas dimensiones tienen estrecha relación entre sí (Norberg y Cumming, 2008). Este marco ofrece una visión plural que enmarca la comprensión de las problemáticas ambientales asociadas a variables socioeconómicas, culturales y políticas presentes en las comunidades, las cuales están en continua transformación histórica (Spangenberg, 2011). La percepción social facilita el entendimiento de los modelos de gestión de recursos naturales dentro de las comunidades, debido a que condiciona procesos cognitivos involucrados en la toma de decisiones, los cuales repercuten directamente en las conductas adoptadas hacia el medio ambiente y modifican la visión que existe sobre la apropiación de su territorio. La deforestación que enfrentan algunas zonas del país como lo es el Valle del Mezquital, demuestra que es necesario identificar los desequilibrios económicos y sociales que motivan a este hecho. La gestión de los recursos naturales asociada a cada contexto plantea la transición hacia un uso sustentable que sea capaz de mantener el capital natural, la disminución de brechas económicas y la planificación nuevos escenarios ligados a la conservación (Cotler y Balvanera, 2007). Escalera-Reyes y Ruiz-Ballesteros (2011) definen el concepto de resiliencia socioecológica como una nueva concepción de sistemas no lineales articulados desde múltiples variables que incluyen el ámbito sociocultural. Esta capacidad de respuesta explora la adaptabilidad y transformación que tienen las dimensiones socioecosistémicas, dando énfasis a las características socioculturales que marcan aspectos clave sobre las formas de apropiación de los recursos a partir del manejo tradicional. El mezquite (*Prosopis* spp.) es un árbol o arbusto espinoso perenne que llega a medir hasta 10 m de altura, de acuerdo con la profundidad del suelo. Es una leguminosa que pertenece a la familia botánica de las Mimosáceas y dentro de la comunidad El Alberto se encuentra la especie *Prosopis laevigata*. Desde épocas remotas esta especie ha constituido un recurso valioso para los habitantes de zonas áridas, quienes encontraron en él múltiples beneficios, ya que todas las partes de la planta son susceptibles de ser utilizadas. A pesar de la relevancia de esta especie, la problemática de deforestación se ha acrecentado en los últimos años en el Valle del Mezquital y dentro de la comunidad “El Alberto” en Ixmiquilpan Hidalgo, por lo que el estudio de los factores que motivan este hecho puede permitir un mejor manejo de esta especie.

### Objetivo

El objetivo del estudio es analizar los factores ecológicos, económicos y socioculturales, que han determinado directa e indirectamente la percepción de la comunidad hñähñu sobre el mezquite (*Prosopis laevigata*). Los cuales han condicionado y modificado su aprovechamiento en El Alberto en Ixmiquilpan Hidalgo.

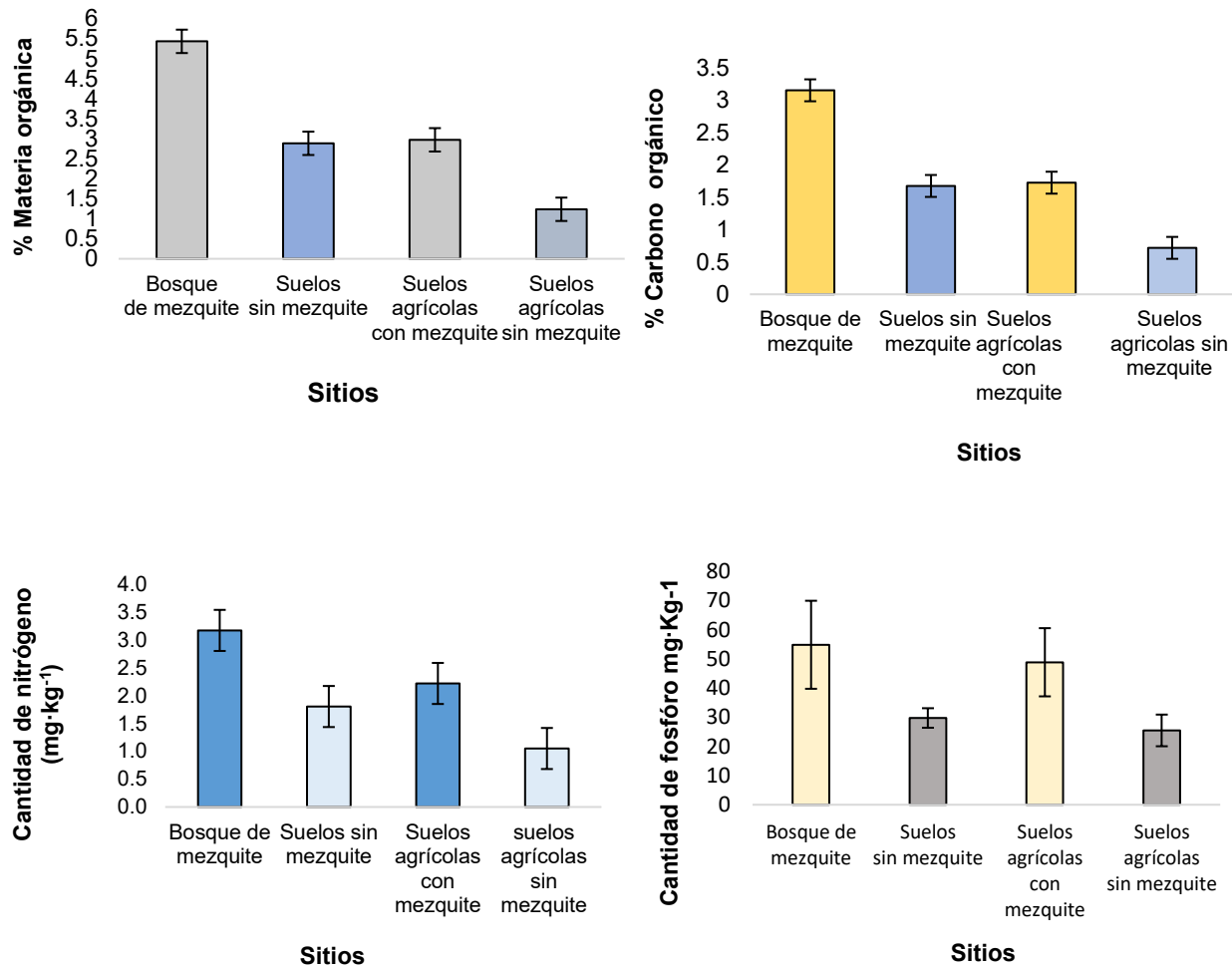
### Materiales y métodos

El estudio se realizó en la comunidad El Alberto localizada a 12 km de la cabecera municipal de Ixmiquilpan (Hidalgo, México). Sus coordenadas son 20° 29' latitud norte y 99° 13' de latitud oeste, con una altitud de 1700 a 2250 (msnm) y una extensión de aproximadamente 22 km<sup>2</sup> (2,224.30 ha); colinda al Norte con la localidad de Cantinela; al oeste con Panales; al suroeste con el municipio de Alfajayucan; al sur con las

localidades Dadhó, Boxaxni y La Loma y; al sureste con La Estancia (Del Valle-Martínez, 2017). La metodología combinó métodos cuantitativos y cualitativos. La primera etapa consistió en análisis fisicoquímicos de los suelos en 4 sitios de la comunidad (suelos conservados y agrícolas, con y sin mezquite n=36) aplicando la NOM-021-SEMARNAT-2000 para determinar la relación de esta especie con la fertilidad de los suelos de la región. Los datos fueron analizados estadísticamente a partir de una prueba t student ( $p < 0.05$ ). La segunda etapa consistió en entrevistas semiestructuradas sobre la percepción de uso del mezquite (n=53) que fueron analizadas mediante la técnica semi cualitativa Q sort (modificada).

## Resultados y discusión

Los resultados muestran la relación directa entre la cobertura vegetal de esta especie y la conservación de la fertilidad de los suelos de la región. Los principales resultados se muestran en la figura 1.



**Figura 1.** Medición de fertilidad de suelos basados en la NOM-021-SEMARNAT- 2000 en sitios con y sin mezquite (n=9 por sitio)

La deforestación de *Prosopis Laevigata* dentro del Valle del Mezquital tiene una relación estrecha con los cambios de uso de suelo producidos por la expansión urbana y la reconversión agrícola centrada en la horticultura de riego. Actualmente no existen medidas compensatorias vinculadas a la reforestación o manejo integrado de podas, aunque la leña es muy valorada y es el principal recurso aprovechado pese a la diversidad de usos que presenta este árbol. La migración en El Alberto es uno de los factores sociales

que ha representado una mezcla simbólica en el tránsito de dos territorios e identidades geográficas modificando el uso de esta especie. Por ello en el caso de la comunidad, es necesario priorizar un plan de manejo para especies vegetales prioritarias como el mezquite asociado a la revaloración cultural de su aprovechamiento, debido a que su permanencia define ciertas prácticas en la gestión y conservación del uso del mezquite.

### **Conclusiones**

El árbol de mezquite es un recurso valioso debido a los múltiples productos y servicios ecosistémicos que proporciona. A nivel ecológico es una especie que permite conservar la fertilidad de los suelos de la región y proveer productos ampliamente valorados como la leña o las vainas y semillas. Los principales detonantes de la deforestación dentro de la comunidad de estudio son los cambios de la vocación del suelo debido a la expansión agrícola y la expansión urbana sobre las zonas de mezquital. Los procesos sociales como la migración han ocasionado la erosión de la cultura relacionada con ciertos usos del mezquite. Actualmente, no existe con un plan de manejo integrado al aprovechamiento de esta especie a través de sistemas agroforestales u otro tipo de estrategias para especies forestales del área.

### **Agradecimientos**

Laboratorio de Ecología Microbiana Funcional del Suelo y Protección Ambiental (UNAM), Posgrado en Sostenibilidad UNAM, Comunidad El Alberto en Ixmiquilpan Hidalgo.

### **Fuente financiadora**

CONACYT mediante apoyo a Becarios de Posgrado.

### **Referencias bibliográficas**

- Cotler, H. & Balvanera, P. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, Vol. 8, No. 15, pp. 84-85.
- Escalera-Reyes, J., & Ruiz-Ballesteros, E. (2011). Resiliencia socioecológica: Aportaciones y retos desde la antropología. *Revista de Antropología Social*, Vol. 20, pp. 109-135
- Folke, C., Colding, J., & Berkes, F. (2002). Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. En: J. Berkes, C. Folke, & J. Colding. *Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change* (pp. 352-387). Cambridge: Cambridge University Press.
- Norberg, J., & Cumming, G. S. (Eds.) (2008). *Complexity Theory for a Sustainable Future*. New York: Columbia University. 312 p.
- Spangenberg, J. (2011). Sustainability science: A review, an analysis and some empirical lessons. *Environmental Conservation*, 38(03) 275 - 287.

## NIVELES DE SALINIDAD DEL SUELO, UTILIZANDO IMÁGENES DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS, REDES NEURONALES Y ÁRBOLES DE DECISIÓN

Mario Francisco Santoyo de la Cruz<sup>1\*</sup>, Héctor Flores Magdaleno<sup>1</sup>, Abdul Khalil Gardezi<sup>1</sup>, Juan Enrique Rubiños Panta<sup>1</sup>, Oscar Raúl Mancilla Villa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados campus Montecillo. Departamento de Hidrociencias, <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur. Departamento de Producción Agrícola.

\*Autor para correspondencia: marfrasant@gmail.com

**Palabras clave.** Agricultura de precisión, drones, imágenes multiespectrales.

### Introducción

La salinidad del suelo es un problema mundial que amenaza el crecimiento y rendimiento de los cultivos e impide el desarrollo sostenible de la agricultura moderna. Más de un tercio de las parcelas de riego del mundo están afectadas por la salinidad. Las principales causas son el aumento de los niveles de agua subterránea con un alto contenido de sal, sistemas de riego y drenaje de mala calidad. Los principales cultivos básicos no pueden completar su ciclo de vida cuando las concentraciones de NaCl en el suelo superan los 200 mM, como consecuencia es la baja producción de alimentos agrícolas. La agricultura de precisión tiene como objetivo adaptar el manejo agronómico de una manera coherente y holística, especialmente explotando la alta variabilidad espacial y temporal de los rasgos del cultivo y ambientales. Estas tecnologías como la teledetección, internet, vehículos aéreos no tripulados (VANT), análisis datos y aprendizaje automático son prometedoras y pueden tener un gran potencial en la agricultura. Los VANT ofrecen una alternativa viable a las plataformas convencionales para adquirir datos de teledetección de alta resolución a menor costo, mayor flexibilidad operativa y mayor versatilidad. La capacidad de los VANT para capturar imágenes concurrentes con observaciones de campo, resuelven un problema común de la teledetección. La teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, el cual está basado en la radiación electromagnética, su interacción con los materiales de la superficie terrestre y la capacidad de capturar información en suelos afectados por la salinidad. Las últimas décadas se ha mapeado la salinidad del suelo con éxito con el uso de sensores remotos en combinación con datos de campo, además se han incorporado varios algoritmos y modelos que han sido desarrollados para procesar datos de teledetección. Sin embargo, el tamaño del terreno, el suelo fragmentado y las prácticas contrastantes que conducen a una alta variabilidad espacial de la degradación del suelo; por consiguiente, los métodos de baja resolución espectral plantean desafíos importantes (Daliakopoulos y Tsanis, 2014). Las redes neuronales están formadas por neuronas conectadas entre sí; a su vez, cada conexión de una red neuronal es asociada con un peso que dicta la importancia de esta relación en la neurona cuando se multiplica por el valor de entrada, cada neurona tiene una función de activación que define la salida de la neurona. Otro método de clasificación son los árboles de decisión, que se han aplicado en varios dominios. Estos necesitan una discriminación multinivel para determinar a qué clase pertenece un patrón específico, son flexibles para la clasificación de múltiples clases y binarios (Wang *et al.*, 2020).

### Objetivo

Consistió en la detección y clasificación de la salinidad del suelo mediante el uso de imágenes multiespectrales capturadas mediante un VANT y dos métodos para obtener clasificadores en un suelo agrícola de la región del valle de México.

### Materiales y métodos

Se obtuvieron 156 muestras de suelo de acuerdo con la NOM-021-RECNAT\_2000. La superficie de estudio es de cuatro hectáreas, suelo con arcillas esmectitas de origen lacustre, pH de 8.2, conductividad eléctrica de 65 dS m<sup>-1</sup> y es un terreno de uso agrícola, ubicado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Texcoco, México. Posteriormente se midieron las coordenadas geográficas de alta precisión con el uso de la estación receptora GPS-GNSS, marca Hi Target en cada estación de muestreo, el trabajo se realizó en el año 2020. Se utilizó el proceso analítico de laboratorio de (Clesceri *et al.* 1998)

para salinidad de suelos: pH (potenciométrico); conductividad eléctrica (conductimetría); calcio y magnesio (volumetría); sodio y potasio (flamometría); carbonato, bicarbonato y cloruro (volumetría) y sulfato (turbidimetría). En la verificación de la exactitud de los datos obtenidos se utilizaron los procedimientos del balance anión-cation; conductividad eléctrica medida y la suma de cationes y aniones.

Posteriormente se calculó la Relación Adsorción de Sodio ajustada (RASaj que considera únicamente la precipitación de  $\text{Ca}^{2+}$ ; es decir, esta ecuación no tiene en cuenta la disolución de cationes de los minerales del suelo:

$$\text{RASaj} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} [1 + (8.4 - \text{pHc})]$$

Se calculó el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) que expresa el porcentaje de  $\text{Na}^+$  respecto a los demás cationes adsorbidos en el complejo de cambio.

$$\text{PSI} = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 \text{RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{RAS})}$$

Después de la recolección de las muestras, se realizó el sobrevuelo con el dron marca SenseFly eBee plus, que cuenta con un sensor con bandas multiespectrales consta de cuatro sensores monocromáticos sincronizados, de banda estrecha de 1,2 millones de píxeles (Green, Red, Red edge y Near infrared) y RGB. Posteriormente las imágenes y la creación de ortomosaico se generaron con el software Pix4Dmapper. Después se extraen los valores de reflectancia con el uso del programa de sistemas de información geográfica QGIS. Se utilizaron índices de salinidad y vegetación propuestos en la literatura para la detección de salinidad.

Se utilizaron redes neuronales perceptrón multicapa en el programa Statgraphics centurión 19 (Statgraphics Technologies, Inc ©. The Plains, Virginia, EUA). Para la clasificación con árboles de decisión se utilizaron los Árboles de Decisión Frugales y Rápidos (ADFR) se utilizó el software FFTrees (Fast and Frugal Trees) versión 1. 3. 2. disponible en versiones 2.1.0 de R o mayor

La idea es utilizar un porcentaje de los datos de laboratorio (RASaj, PSI y sodio) para generar el modelo y otro porcentaje para validar el modelo y de esa manera hacer clasificaciones con nuevos datos de reflectancia. Se propone utilizar redes neuronales y árboles de decisión como método de clasificación y relación.

Al conjunto de datos originales se les aplicaron cuartiles estadísticos para eliminar los datos atípicos y se seleccionaron aleatoriamente para los dos métodos (RASaj 67 datos de entrenamiento y 23 datos de prueba); (PSI 67 datos de entrenamiento y 23 datos de prueba) y (Sodio 64 datos de entrenamiento y 23 de prueba).

Con sus respectivos índices de salinidad y los valores de reflectancia de las bandas multiespectrales mencionadas con anterioridad, se entrenaron y probaron modelos de árboles de decisión y redes neuronales para clasificar la RASaj, PSI y  $\text{Na}^+$  (Sodio en  $\text{mEq L}^{-1}$ ) y se seleccionaron los mejores porcentajes de aciertos correctos.

## Resultados y discusión

En el (Cuadro 1) se presentan los resultados obtenidos en laboratorio de las variables de salinidad, donde el ion sodio es más representativo en los cationes mientras que en aniones los es el ion sulfato.



**Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables de salinidad obtenidas en laboratorio.**

	CE	pH	Na <sup>+1</sup>	K <sup>+1</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>3</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	RAS <sub>aj</sub>	RAS	PSI <sub>aj</sub>	PSI
	dS m <sup>-1</sup>		mEq L <sup>-1</sup>											
Media	65,47	8,20	49,03	9,76	6,28	9,76	0,59	6,88	18,19	53,75	40,42	20,00	35,51	21,42
Mediana	61,40	8,19	44,05	9,26	5,50	8,80	0,60	6,66	17,02	51,25	34,39	16,61	33,09	18,85
Moda	42,10	8,05	46,60	9,40	4,00	6,00	0,40	6,00	12,80	31,28	N/A	N/A	N/A	N/A
Des.Est.	25,69	0,25	16,68	4,10	2,26	2,97	0,19	1,70	4,70	17,36	16,51	8,01	8,89	6,67
Varianza	659,83	0,06	278,31	16,78	5,12	8,81	0,04	2,87	22,12	301,39	272,58	64,19	79,04	44,53
Rango	107,90	1,21	64,63	17,29	8,35	9,80	0,70	8,04	15,22	70,20	62,86	31,77	32,40	24,99
Mínimo	28,00	7,58	27,87	3,01	3,65	6,00	0,30	3,14	12,58	30,67	20,55	11,36	22,51	13,41
Máximo	135,90	8,79	92,50	20,30	12,00	15,80	1,00	11,18	27,80	100,87	83,41	43,13	54,91	38,41

Arboles de decisión frugales y rápidos (ADFR) de cuatro bandas espectrales y varios índices de salinidad para realizar la estimación del nivel de la relación de sodio ajustada (RASaj)

El conjunto de datos de entrenamiento constó de 67 datos, de los cuales 40 estimaron un RASaj medio y 27 estimaron un RASaj elevado para el terreno estudiado según la clasificación de los (ADFR). Esto significa que 60% de los datos es medio y el 40% es elevado. En este caso el umbral fue la señal red edge, que indica menor o igual a 0.1453 que estima a un RASaj elevado y la segunda señal near infrared mayor a 0.1471 estima un RASaj medio. En la prueba se corrieron 23 datos, de los cuales 61% estimaron RASaj medio y 39% un RASaj elevado. La frugalidad del árbol ignoró las demás señales, seleccionando el umbral de red edge menor o igual a 0.1453 decide RASaj medio y near infrared mayor a 0.1471 que estima un RASaj medio. El rendimiento de este proceso es  $bacc = 67$ . Según (Alexakis *et al.*, 2018) encontraron que concentraciones elevadas de sal pueden inferirse mediante la detección de firmas espectrales a través de malezas y plantas halófitas, y que algunos minerales como el hierro o sales de sodio exhiben una mayor reflectancia sobre longitudes de onda largas de infrarrojo cercano.

Redes neuronales utilizando normalized difference vegetation index (NDVI) y soil adjusted vegetation index (SAVI) para realizar la estimación del nivel de la relación de adsorción de sodio ajustada (RASaj)

En este clasificador bayesiano se estimó el nivel de la RASaj a partir de los índices de salinidad NDVI y SAVI. El experimento consto de 67 datos de entrenamiento de los cuales se clasificaron 17 elevados y 50 medios (25.33% y 74.5% de los casos respectivamente), por lo tanto, el porcentaje de casos correctamente clasificados fue de 80.6% Este procedimiento utiliza una red probabilística neural para clasificar, basándose en dos variables de entrada. Se probó el modelo con 23 datos de los cuales se clasificaron correctamente 19 (82.11%) e incorrectamente 4 (17.89%). Se demostró que los índices NDVI y SAVI son adecuados para distinguir las áreas con vegetación y sin vegetación del suelo con problemas de ensalitramiento.

Arboles de decisión rápidos y frugales (ADRF) de cuatro bandas espectrales y la estimación del nivel del por ciento de sodio intercambiable (PSI)

La principal señal de entrenamiento se refiere a la banda red edge, el procedimiento sugiere que si es mayor a 0.1453 es de PSI medio. Los datos de prueba muestran que, de las 23 muestras, 12 son de PSI medio y 11 de PSI elevado. La matriz de confusión muestra la precisión general del modelo en los datos de prueba y equivalen al 65% de las señales de PSI medio y 35% de la señal de PSI elevado. La banda red edge presenta la mejor sensibilidad de 62, mientras que la especificidad es de 60, el promedio de estas anteriores es  $bacc = 61$ .

Redes neuronales utilizando normalized differential vegetation index (NDVI) y soil adjusted vegetation index (SAVI) en la estimación del nivel del por ciento de sodio intercambiable (PSI)

En este apartado se analiza los resultados obtenidos con el conjunto de datos de estudio donde se probó el NDVI y SAVI con el PSI, dando su mejor rendimiento en 76.12% de casos clasificados correctamente. De los 67 casos analizados de entrenamiento, 19 fueron clasificados como PSI elevado y 48 como PSI medio. El conjunto de datos de prueba considero 23 datos, de estos 17 casos son correctos (14 de PSI medio y 3 de PSI elevado), el algoritmo falló en seis casos, lo que corresponde a 73.91% de casos

clasificados correctamente y 26.08% de casos clasificados incorrectamente respectivamente.

Árboles de decisión frugales y rápidos (ADFR) de cuatro bandas espectrales y varios índices de salinidad para realizar la estimación del nivel de sodio

En la prueba las señales con los dos valores más altos de *waac* se seleccionaron como nodos para la predicción de resultados de clasificación de sodio, 59% de las muestras son de clasificación elevada de sodio (6 correctos aciertos y 3 falsas alarmas). El 41% de las muestras son clasificación media de sodio (6 aciertos y 7 fallos). El ADFR decidió a NDSI como umbral y decidió que si es mayor a -0.0786 es clasificación elevada y la segunda señal RNIR expresó que si es menor o igual a 0.8542 es de clasificación de sodio media. Cabe mencionar que, aunque el modelo ADFR es simple, su precisión era comparable a la de otros algoritmos de clasificación de otras variables de salinidad, por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que el modelo FFTrees no solo es rápido y frugal, si no también útil para predecir los resultados de clasificación de sodio a pesar de que *bacc* no es tan cercano a 1. Este patrón se ha encontrado en varias plantas sometidas a estrés por salinidad. Por lo tanto, con base en este hallazgo, se han utilizado varios índices de vegetación como el NDVI, SAVI, NDSI y SI.

Redes neuronales utilizando los índices normalized differential salinity index (NDSI) y red-near infrared (RNIR) en la estimación del nivel del sodio

En este método se divide el entrenamiento con 80% de los datos y la prueba en 20% de los datos. Los datos de entrenamiento tienen 71.88 % de clasificación correcta mientras que los de prueba 72%. Las clasificaciones de entrenamiento correctas mostraron 21 miembros de concentración de sodio elevada y 43 media. En el resultado del set de prueba se encontró que 12 de clasificación de concentración de sodio media y 11 para elevada. Según (Zewdu *et al.*, 2017) lograron clasificar con 66% de precisión, varias clases de suelos salinos (suelos no salinos; ligeramente salinos, moderadamente salinos y fuertemente salinos) utilizando imágenes de satélite y modelos digitales de elevación junto con modelos de clasificación supervisada de NDSI, observándose que la precisión de entrenamiento de este trabajo es superior. El índice RNIR junto con NDSI han mostrado buen desempeño utilizando redes neuronales en la estimación de los niveles de sodio.

Comparación de los modelos de árboles de decisión y redes neuronales en la estimación de los niveles de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), relación de adsorción de sodio ajustado RASaj y Sodio

En la (Figura 1) se muestra la precisión encontrada en la determinación de los niveles de RASaj, PSI, y sodio para los modelos de árboles de decisión y los modelos de redes neuronales. Se puede apreciar que los modelos de redes neuronales presentaron la mejor precisión para los tres indicadores de salinidad de suelo estudiados en el presente trabajo.

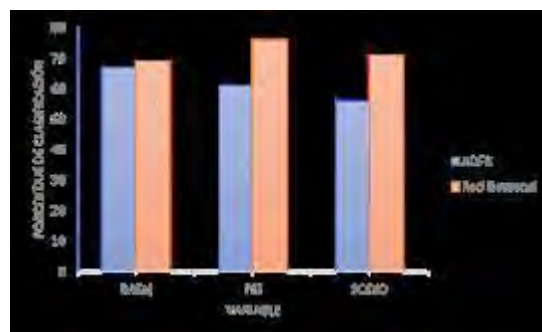


Figura 1. Comparación de las precisiones entre el modelo ADFR y las redes neuronales.

## Conclusiones

El trabajo de investigación demostró que es posible clasificar la salinidad del suelo en niveles propuestos con aceptable precisión a partir de las imágenes capturadas con vehículos aéreos no tripulados. Los modelos de redes neuronales mostraron una mejor precisión en la estimación de los tres indicadores de salinidad utilizados en este estudio (Porcentaje de Sodio Intercambiable, Relación de Adsorción de Sodio y concentración de sodio) con respecto a los árboles de decisión. Los rangos de precisión encontrados para

los modelos de redes neuronales fluctuaron entre 69 y 76% mientras que los árboles de decisión mostraron precisiones entre 56% y 67%. El modelo propuesto y el grado de precisión obtenido, lo convierten en una herramienta prometedora para su uso en la predicción y clasificación de la salinidad del suelo.

### **Agradecimientos y fuente financiadora**

Al Centro de Tecnología Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid. A la Dra. Consuelo Gonzalo Martín y Dr. Mario Lillo por sus recomendaciones que ofrecieron para este trabajo de investigación. Al Colegio de Posgraduados y al CONACHyT por el apoyo económico brindado.

### **Referencias bibliográficas**

- Alexakis, D. D., Daliakopoulos, I. N., Panagea, I. S. and Tsanis, I. K. (2018). "Assessing soil salinity using WorldView-2 multispectral images in Timpaki, Crete, Greece". *Geocarto International*, 33: (4) 321–338. DOI: 10.1080/10106049.2016.1250826.
- Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D. (1998) Estandar methods for examination of water and wastewater. Washington, D. C. U.S.A 20 ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association. Water Pollution Control Federation.
- Daliakopoulos, I.N. and Tsanis, I. K. (2014) Greece: Agro-pastoral over-exploitation and its implications in Messara Valley (Crete). Paris, CIHEAM. CIHEAM Watch Letter 28, Land issues in the mediterranean countries.
- Wang, F., Nie, F., Li, Z., Yu, W. and Ren, F. (2020) "A linear multivariate binary decision tree classifier based on K-means splitting". *Pattern Recognition*, (107): 107521. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107521>
- Zewdu, S., Suryabhagavan, K. V. and Balakrishnan, M. (2017) "Geo-spatial approach for soil salinity mapping in sego irrigation farm, South Ethiopia". *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: (1), 16-24. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.12.003>.

## CONTROL BIOLÓGICO DE LA MARCHITEZ DEL CHILE JALAPEÑO POR BACTERIAS DEL GÉNERO *Bacillus*

Naomi D. López-Montoya<sup>1</sup>, Amelia C. Montoya-Martínez<sup>1</sup>, Karem M. Figueroa-Brambila<sup>1</sup>, Alina Escalante-Beltrán<sup>1</sup>, Fannie<sup>1</sup>. Parra-Cota<sup>2</sup>, Sergio de los Santos-Villalobos<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora, <sup>2</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug, INIFAP.

\*Autor para correspondencia: sergio.delossantos@itson.edu.mx

**Palabras clave.** Microorganismos benéficos, agricultura sustentable, biocontrol.

### Introducción

El chile jalapeño representa uno de los cultivos más importantes en México. Sin embargo, muchas enfermedades de las plantas, como la marchitez provocada por cepas del género *Fusarium* principalmente dentro del complejo de especies de *Fusarium oxysporum* (FOSC, por sus siglas en inglés), reducen su rendimiento. Estos hongos son uno de los patógenos más comunes que inducen la marchitez y uno de los grupos de hongos fitopatógenos más importantes conocidos en la agricultura. Diversas especies del complejo *Fusarium oxysporum* causan enfermedades que afectan a más de 100 especies de plantas, siendo responsable del 50% de pérdidas en rendimiento, incluso hasta el 80% en condiciones ambientales favorables para el desarrollo fúngico, y se ubica como el quinto fitopatógeno más letal en términos científicos y económicos.

Se ha comprobado que el uso de agroquímicos como insecticidas, pesticidas y fertilizantes inorgánicos para maximizar el rendimiento de los cultivos y controlar plagas y enfermedades, ha generado consecuencias adversas en el medio ambiente y la salud humana; además, ha llevado al desarrollo de resistencia a patógenos, complicando aún más su control. Una alternativa sustentable para el control de enfermedades es el uso de microorganismos benéficos como agentes de control biológico (ACB), por ejemplo, cepas del género *Bacillus*. Se ha comprobado que las cepas de éste género se pueden reproducir rápidamente, resistir a ambientes con condiciones adversas, y cuentan con un amplio espectro de habilidades de control biológico debido a su potencial para inhibir la proliferación de fitopatógenos a través de la producción de moléculas como enzimas que degradan la pared celular, antibióticos, biosurfactantes lipopeptídicos, y mediante la activación de señales de defensa en la planta (Penha *et al.*, 2020).

*Bacillus cabrialesii* es una nueva especie que ha demostrado su potencial como agente de control biológico que además promueve el crecimiento vegetal. Recientemente, en 2023, se describió una nueva subespecie de *Bacillus cabrialesii*, llamada *B. cabrialesii* subsp. *tritici* cepa TSO2T la cual se ha reportado con resultados prometedores como ACB contra *Bipolaris sorokiniana* TPQ3; además, ésta cepa de *B. cabrialesii* ha sido inoculada a plantas de trigo, mostrando resultados positivos como promotora de crecimiento en este cultivo. Debido a la habilidad para control de fitopatógenos y promoción de crecimiento, a su vez, se han realizado otros estudios de esta cepa en diferentes cultivos (de los Santos-Villalobos *et al.*, 2023).

### Objetivo

Identificar cepas del género *Bacillus* como potenciales agentes de control biológico contra *Fusarium languescens*, causante de la marchitez del chile jalapeño en el Valle del Yaqui, Sonora.

### Materiales y métodos

Aislamiento, identificación y patogenicidad de aislados de *Fusarium*.

En febrero del 2022 se realizaron muestreos en un campo comercial de chile jalapeño (*Capsicum annuum* var. Jalapeño) en el Valle del Yaqui, Sonora, México (N 27°17'40.308", W 109°51'50.5"), donde se colectaron plantas con síntomas de marchitez, que fueron transportadas y almacenadas a 4° C en bolsas de plástico hasta su procesamiento en laboratorio. Se realizaron aislamientos fúngicos a partir del tejido radicular, para lo cual, las raíces fueron lavadas y desinfectadas superficialmente, posteriormente se cortaron explantes pequeños y se colocaron en un medio de cultivo a base de peptona suplementado con antibióticos. Estos fueron incubados a 30° C por siete días; se purificaron los aislados por punta de hifa, para después ser caracterizados morfológicamente. Estos aislados de *Fusarium* sp. fueron identificados molecularmente sometiendo a BLASTn sus secuencias parciales del gen factor de elongación 1a (TEF1).

Se realizó una prueba de patogenicidad en plantas sanas de chile jalapeño, utilizando tres aislados identificados como parte de los complejos de especies *F. oxysporum* (CE2), *F. solani* [(FSSC) CE6] y *F. incarnatum-equiseti* [(FIESC) CE3]. Aquellos aislados que resultaron ser patogénicos fueron identificados filogenéticamente utilizando secuencias parciales del TEF1 y segunda subunidad más grande de la ARN polimerasa II (RPB2).

Evaluación y selección de cepas bacterianas con biocontrol.

Se evaluaron seis cepas bacterianas del género *Bacillus*, resguardadas en la Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos del Instituto Tecnológico de Sonora (COLMENA-ITSON), las cuales previamente han demostrado tener actividad de control biológico y/o promoción de crecimiento vegetal: i) *Bacillus cabrialesii* subsp. *cabrialesii* TE3T, ii) *B. cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T, iii) *B. paralicheniformis* TRQ65, iv) *Bacillus* sp. FSQ1, v) *Bacillus* sp. TE3T-UV25, y vi) *Bacillus* sp. TSO22. Estas fueron evaluadas en confrontaciones *in vitro* contra el aislado patogénico *Fusarium* CE2. Para esto, las bacterias seleccionadas se incubaron en caldo nutritivo (CN) a 30°C con agitación a 180 rpm por 24h, para obtener, por centrifugación, un pellet de biomasa el cual fue resuspendido y ajustado a 0.3 DO630nm. También se obtuvo una suspensión de esporas del aislado fúngico CE2, mediante cultivos en agar dextrosa de papa (PDA), que se ajustaron a una concentración de  $1 \times 10^6$  esporas ml<sup>-1</sup>. Para la prueba, se inocularon 20 µl de la suspensión de esporas de *Fusarium* CE2 en el centro de cajas petri con PDA, y, a su vez, se inocularon 20 µl de la suspensión de biomasa bacteriana de cada cepa de *Bacillus* en tres puntos equidistantes del hongo fitopatógeno. Para el control solo se inoculó al patógeno en el centro de la caja. Las cajas fueron incubadas a 30° C en oscuridad por siete días. Después de este tiempo, el crecimiento del hongo se determinó midiendo el radio de la colonia hacia la dirección de cada bacteria biocontroladora. Al finalizar, se seleccionó *B. cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T como la cepa con mejor biocontrol contra *Fusarium* CE2 y se evaluó un ensayo de confrontación dual. Para esto, se obtuvo la biomasa de la cepa TSO2T y esporas de *Fusarium* CE2 de la manera previamente descrita. El ensayo de confrontación dual entre *Fusarium* CE2 y la cepa TSO2T se realizó en cajas Petri con PDA, colocando 20 µl de suspensión de esporas y de biomasa bacteriana en lados opuestos de la caja de Petri (a 10 mm del borde). Para el tratamiento control se colocaron 20 µl de la suspensión de esporas del patógeno, con 20 µl de agua destilada estéril en la misma posición descrita previamente. Los tratamientos se incubaron a 30° C bajo oscuridad por 10 días, midiendo el crecimiento radial del patógeno diariamente.

Análisis estadísticos.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando STATGRAPHICS Plus v. 5.1. Los datos se analizaron mediante ANOVA simple y prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) ( $p \leq 0.05$ ). Los valores mostrados expresan la media entre repeticiones o experimentos independientes y las barras representan la desviación estándar (DE).

## Resultados y discusión

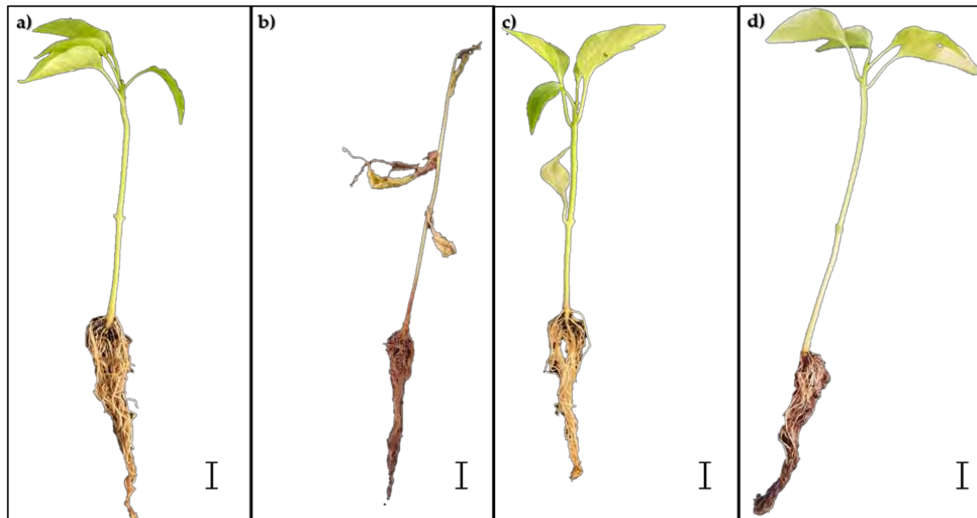
Aislamiento, identificación y patogenicidad de aislados de *Fusarium*.

De las doce plantas de chile jalapeño con síntomas de marchitez muestreadas, se obtuvieron seis aislados con las características macro y microscópicas típicas del género *Fusarium*: conidióforos aéreos y abundantes conidios en forma de canoa, dispuestos en cabezas falsas cabezas, abundante micelio aéreo de color blanco, rosa a salmón pálido. Los análisis en BLASTn, utilizando secuencias parciales de TEF1, identificaron que estos seis aislados pertenecen a tres complejos de especies de *Fusarium*: cuatro aislamientos en FOSC, uno en FIESC y uno en FSSC, con porcentajes de similitud superiores al 98%.

Se probaron tres aislados de *Fusarium* (uno de cada complejo de especies de *Fusarium* aislado) para determinar su capacidad para causar síntomas de marchitez en plántulas de chile jalapeño. A los 10 días después de la inoculación (ddi), algunas plantas del tratamiento con CE2 comenzaron a mostrar síntomas de marchitez; a los 20 ddi, el 100% de las plantas de este tratamiento se marchitaron. Los tratamientos con el aislado CE3 y CE6 presentaron solo un 10% de plantas con síntomas, mientras que el tratamiento control no presentó síntomas de marchitez. En general, los síntomas observados fueron marchitez y caída de hojas que se tornan amarillas, luego marrones y finalmente murieron (Fig. 1). La marchitez en chile puede ser causada por *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici*, aislados de FOSC y FSSC, y en este estudio se encontró que un aislado, perteneciente a FOSC, fue el agente causal de esta enfermedad. Además, se



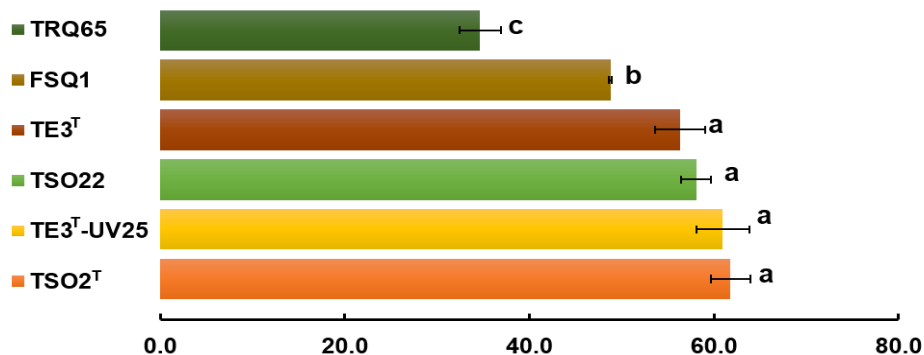
realizó un análisis filogenético de la cepa fitopatógena CE2, utilizando secuencias parciales de TEF1 y RPB2, donde el aislado CE2 se anidó cercanamente con aislados de la especie *F. languescens*. Se ha reportado previamente que esta especie causa marchitez en el tomate y también ha sido aislada del maíz (Lombard *et al.*, 2019).



**Figura 1.** Pruebas de patogenicidad de *Fusarium* en plántulas de chile jalapeño. a) Control no inoculado; b) CE2 (FOSC); c) CE3 (FIESC); d) CE6 (FSSC). La barra de escala representa 1 cm.

#### Evaluación y selección de cepas bacterianas con biocontrol.

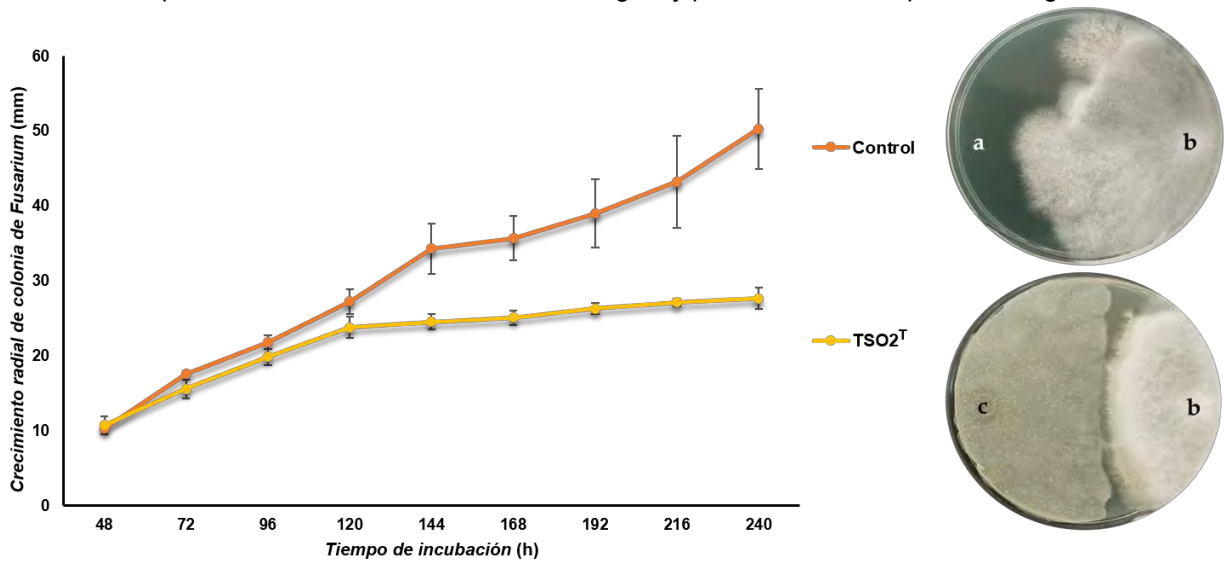
Para evaluar el biocontrol de *F. languescens* CE2, se examinaron 6 cepas bacterianas del género *Bacillus* seleccionadas de COLMENA, mediante un ensayo de confrontación *in vitro*. Un análisis estadístico ( $p \leq 0.05$ ) se usó para determinar diferencias en el crecimiento radial de las colonias de *F. languescens* CE2 en relación con las bacterias inoculadas. En los resultados se observó que las cepas bacterianas que tienen movilidad tipo swarming fueron las que inhibieron en mayor medida el crecimiento del patógeno; debido a que ésta movilidad está relacionada con la síntesis y secreción de surfactantes como los lipopéptidos, lo que le permite esparcirse en la superficie para competir por el espacio y los nutrientes, y además dichos lipopéptidos tienen actividad antimicrobiana (Ongena *et al.* 2008). Las cepas TSO2T, TE3T-UV25, TSO22, y TE3T presentaron el mejor biocontrol, con porcentajes de inhibición de 61.8%, 60.94%, 58.07%, y 56.35%, respectivamente (Figura 2).



**Figura 2.** Porcentajes de inhibición de crecimiento de colonias de *F. languescens* CE2 en confrontación con agentes de control biológico del género *Bacillus*, comparadas con el control sin inocular, después de siete días de incubación. Las diferentes letras muestran las diferencias significativas entre los tratamientos.

Después de probar el biocontrol de varias cepas de *Bacillus* contra *F. languescens* CE2, *B. cabrialesii* subsp. *triticum* TSO2T fue seleccionado como ACB para ensayos *in vitro* adicionales, debido a que ha sido

previamente reportada como bacteria de control biológico y por su movilidad tipo swarming.



**Figura 3.** Crecimiento radial de la colonia de *F. languescens* CE2 en confrontación con el agente de control biológico seleccionado *B. cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T hasta 10 días de incubación, y las fotos muestran la confrontación en cajas Petri. a) Control no inoculado; b) *Fusarium languescens* CE2; c) *B. cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T.

Para el ensayo de confrontación dual in vitro se midió el crecimiento radial de las colonias fúngicas cada 24 horas durante diez días (Fig. 3). El análisis estadístico resultó en diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en el último día del ensayo, entre el tratamiento control ( $50.3 \pm 5.345$  mm) y el tratamiento con células bacterianas de la cepa TSO2T ( $27.6828 \pm 1.3833$  mm), resultando una inhibición del crecimiento fúngico del 44.9%; en otros trabajos, ya se ha evaluado la actividad de biocontrol de la cepa TSO2T en confrontaciones duales in vitro contra el patógeno de trigo *Bipolaris sorokiniana* TPQ3, resultando que produce una importante zona de inhibición ( $8.0 \pm 0.2$  mm), comparado con rizobacterias de potencial control biológico (Villa *et al.* 2019).

## Conclusiones

En este estudio, se reporta la capacidad de biocontrol de diversas cepas de *Bacillus* contra *F. languescens* CE2, el agente causal de la marchitez del chile jalapeño en el Valle del Yaqui, México; *B. cabrialesii* subsp. *tritici* TSO2T inhibió en mayor medida el crecimiento de CE2 (61.8% de inhibición). Al confrontarse ambos microorganismos uno a uno in vitro, se observó claramente que TSO2T posee una movilidad tipo swarming que podría estar involucrada en el biocontrol, lo que sugiere que el mecanismo de acción es la antibiosis y la competencia de nutrientes y espacio. El estudio destaca la importancia de bioprospectar cepas bacterianas con más de un mecanismo de acción, para aprovechar mejor su potencial para controlar la marchitez en chile jalapeño de manera sostenible.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores agradecen a todos los miembros de la LBRM-COLMENA por su dedicación y compromiso con el desarrollo de todos los proyectos de investigación. A.C.M.M. fue agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) para una beca posdoctoral (número de solicitud: 2306476). Esta investigación fue financiada por la Asociación de Productores de Hortalizas del Yaqui y Mayo (APHYM) y por el Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora (PIAES) bajo el proyecto: "Identificación de agentes de control biológico contra *Meloidogyne* sp., *Fusarium* sp. y *Streptomyces* sp.". También fue financiado por el proyecto PROFAPI ITSON 2023\_027.

## Referencias bibliográficas

- de los Santos-Villalobos, S.; Valenzuela-Ruiz, V.; Montoya-Martínez, A.C.; Parra-Cota, F.I.; Santoyo, G.; Larsen, J. *Bacillus cabrialesii* subsp. *cabrialesii* subsp. nov. and *Bacillus cabrialesii* subsp. *tritici* subsp. nov., plant growth-promoting bacteria and biological control agents isolated from wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) in the Yaqui Valley, Mexico. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 2023, 73, doi:10.1099/ijsem.0.005779.
- Lombard, L.; Sandoval-Denis, M.; Lamprecht, S.C.; Crous, P.W. Epitypification of *Fusarium oxysporum* – Clearing the taxonomic chaos. *Persoonia Mol. Phylogeny Evol. Fungi* 2019, 43, 1–47, doi:10.3767/persoonia.2019.43.01.
- Ongena, M.; Jacques, P. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol.* 2008, 16, 115–125, doi:10.1016/j.tim.2007.12.009
- Penha, R.O.; Vandenberghe, L.P.S.; Faulds, C.; Socol, V.T.; Socol, C.R. *Bacillus* lipopeptides as powerful pest control agents for a more sustainable and healthy agriculture: recent studies and innovations. *Planta* 2020, 251, doi:10.1007/s00425-020-03357-7
- Villa-Rodríguez, E.; Parra-Cota, F.; Castro-Longoria, E.; López-Cervantes, J.; de los Santos-Villalobos, S. *Bacillus subtilis* TE3: A promising biological control agent against *Bipolaris sorokiniana*, the causal agent of spot blotch in wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum*). *Biol. Control* 2019, 132, 135–143, doi:10.1016/j.biocontrol.2019.02.012

## CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS DE LA PRIMERA SECCIÓN DEL BOSQUE DE CHAPULTEPEC, CIUDAD DE MÉXICO

Berenice Barrientos-Ojeda\*<sup>1,2</sup>, Gilberto Vela-Correa<sup>2</sup>, Alethia Vázquez-Morillas<sup>3</sup>, Jaime Diaz-Ortega<sup>4</sup>, Judith Castellanos-Moguel<sup>5</sup>, José Alonso Aburto-Enríquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ecología Aplicada. Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco, <sup>2</sup>Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica. Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco, <sup>3</sup>Laboratorio de Tecnologías Sustentables. Universidad Autónoma Metropolitana – Azcapotzalco, <sup>4</sup>Taller de Laminación. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma Metropolitana. <sup>5</sup>Laboratorio de Micología. Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco.

\*Autor para correspondencia: 2222801687@alumnos.xoc.uam.mx

**Palabras clave.** Áreas verdes, áreas de valor ambiental, parques urbanos, servicios ambientales.

### Introducción

La Ciudad de México es una de las más grandes del mundo, situación que se traduce en un gran número de habitantes, donde las áreas verdes funcionan como una estrategia de gran valor para la sociedad, porque indirectamente hace que las urbes se vuelvan más habitables, inclusivas y sostenibles. Esto se puede traducir en una serie de beneficios ambientales como la reducción de la contaminación del aire, regulación de microclimas, mitigación y/o disminución de desastres naturales, incremento de la biodiversidad, reducción del ruido y una adecuada integración social (Cotler *et al.*, 2021).

El bosque de Chapultepec es uno de los parques urbanos más antiguos de América, donde se ubican valiosas construcciones de diversas épocas de México. Toda esta herencia ganó poco a poco terreno a la cobertura vegetal que predominaba en el área, siendo modificada poco a poco por el hombre (Martínez *et al.*, 2019). Actualmente se busca mantener algunas de las condiciones ambientales originales del bosque, situación que es prioridad para las organizaciones que lo conforman. Esto se vuelve un gran reto ya que por su valor histórico y ambiental es un área visitada diariamente por miles de personas de todo el mundo, lo que dificulta su conservación. La gran afluencia de visitantes es un factor que provoca una presión constante sobre las áreas verdes, causando un deterioro paulatino de los suelos en el arbolado dentro del bosque. Por lo tanto, un manejo adecuado puede ser la diferencia entre perder o mantener estas áreas con cobertura vegetal de alto valor en buen estado.

### Objetivos

Determinar las características físicas y químicas de los suelos de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec en Ciudad de México.

### Materiales y métodos

La toma de muestras se realizó en octubre de 2022, en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec que está ubicado al noroeste de la alcaldía Miguel Hidalgo en la Ciudad de México. Las muestras de suelo fueron obtenidas con una barrena tipo holandés a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) y en la Figura 1, se indican los sitios muestreados. También, se midió la compactación del suelo con un penetrómetro y se identificó el arbolado de cada sitio de muestreo. En laboratorio, se determinó el color, humedad, densidad, porosidad, textura, pH, MO, CIC; Nt, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> intercambiables realizaron los con base en Semarnat (2002) y posteriormente estos fueron analizados con una regresión lineal simple en el programa Excel.

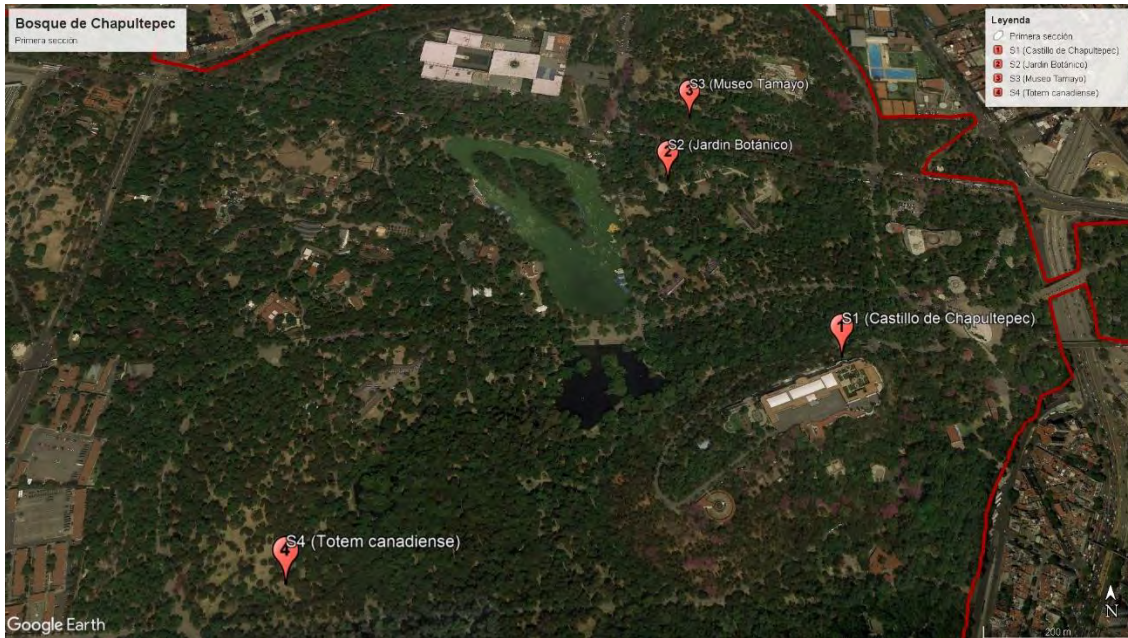


Figura 1. Sitios muestreados.

## Resultados y discusión

Los suelos del Bosque de Chapultepec son de origen aluvial provenientes de la Cierra de las Cruces, por esta razón se infiere la alta proporción de arcillas (Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2006). La textura del suelo en los cuatro sitios fue franco arcillosa (Figura 2). En los casos donde la proporción de arenas fue >50%, se relaciona directamente con la observación de fragmentos de roca (escoria volcánica), los cuales son utilizadas en las áreas verdes para que la gente pueda caminar o realizar actividades deportivas, estos pudieron alterar la proporción de arenas en el suelo, ya que por efecto del intemperismo se transforman en pequeños fragmentos de roca que son considerados arenas.

La compactación del suelo permite conocer el estado de aireación y la facilidad con que las plantas enraízan

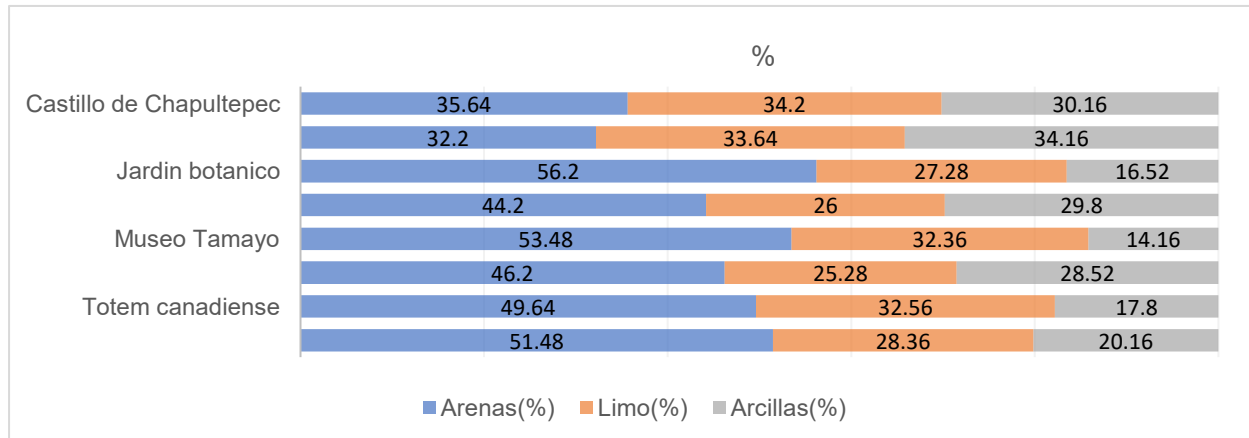
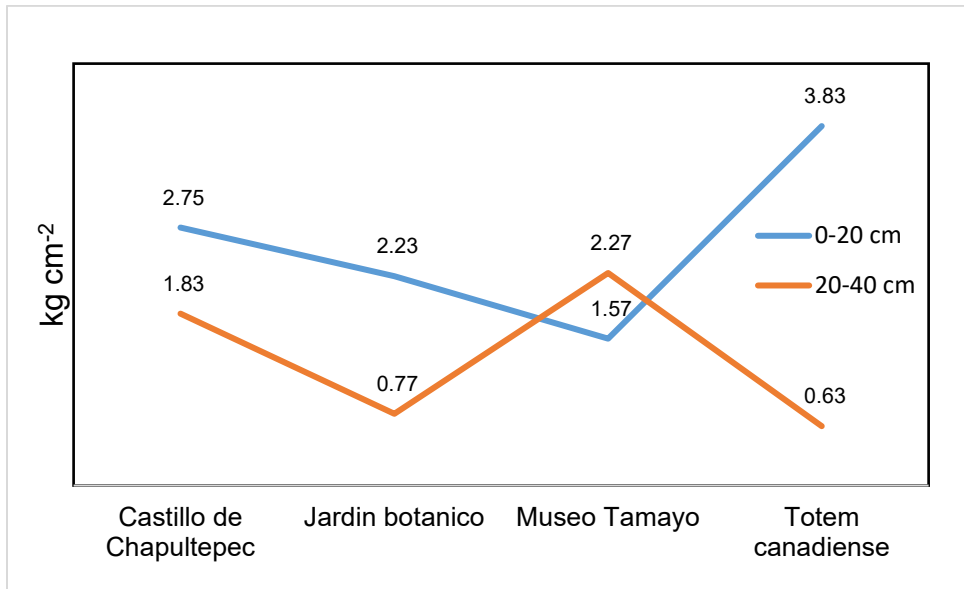


Figura 2. Textura del suelo en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

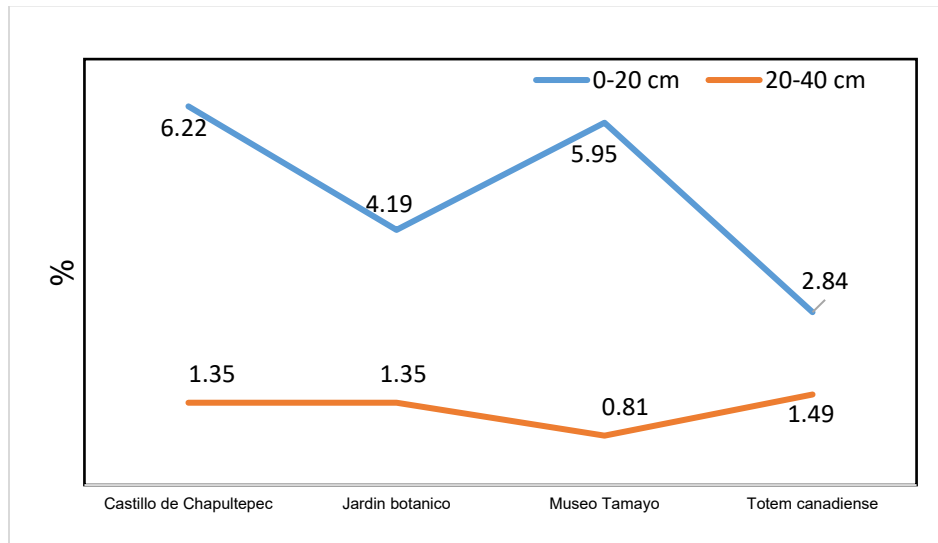
en él. Los sitios con mayor afectación en este aspecto fueron el Castillo de Chapultepec y el Museo Tamayo. Estos dos sitios no tienen cobertura vegetal de herbáceas y gramíneas, derivado de la cobertura vegetal y el proceso alelopático de las especies arbóreas del sitio que está conformado por árboles de pino, acacias, cedros entre otros. Además, son áreas con alta afluencia de visitantes, provocando que el pisoteo



constante disminuya la porosidad. Asimismo, la textura arcillosa del suelo vuelve estos lugares muy susceptibles a pérdida de raíces del arbolado cuando disminuye la humedad del suelo. Los suelos en general tienen un pH neutro y su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es baja, aunque el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  se encuentran dentro de la categoría de alta y media (Semarnat, 2002). En cuanto a la materia orgánica, esta muestra valores bajos en el Jardín Botánico y el Totem Canadiense (Figura 4), donde se observaron trozos de corteza y ramas de árboles, ricos en celulosa, por lo que la liberación de nutrientes es lenta. Este efecto no se observa a la profundidad de 20-40 cm, donde el porcentaje disminuye notablemente y disminuye la CIC. Es conveniente indicar que los suelos del Totem Canadiense presentan mayor compactación, menor porosidad (40%) y menor cantidad de materia orgánica, de CIC y de Calcio y magnesio intercambiable.



**Figura 3.** Compactación del suelo en la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.



**Figura 4.** Porcentaje de materia orgánica del suelo Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

## **Conclusiones**

Los suelos en general son de texturas franco-arcillosas, contenidos medios de materia orgánica, con una acidez tendiente a la neutralidad, fueron las características más representativas de las condiciones del suelo.

Los suelos del Totem Canadiense presentaron la mayor compactación y por lo mismo la menor porosidad, así como la menor cantidad de materia orgánica, CIC y Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> intercambiables, lo que los califica como los suelos más sensibles de la Primera Sección del Bosque de Chapultepec.

## **Agradecimientos**

Se agrade al CONAHCYT por el otorgamiento de la Beca para la realización de los estudios de maestría de la primera autora. Así como al Área Técnica del Bosque de Chapultepec por las facilidades otorgadas para realizar el trabajo en campo. Así como a los ayudantes y servidores sociales del Laboratorio de Edafología y Absorción Atómica por el apoyo en el procesamiento de las muestras.

## **Fuente financiadora**

Fondo Mixto CONAHCYT

## **Referencias bibliográficas**

- Cotler, H., Cram, S., Mendoza Ruiz, L., & Ramírez Beltrán, M. Á. (2021). Sellamiento del suelo en el Bosque de Chapultepec y propuestas de restauración. *Investigaciones Geográficas*. 105: 1-12.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2006). Acuerdo por el que se aprueba el Programa de Manejo Del Área de Valor Ambiental del Distrito Federal, con la Categoría de Bosque Urbano denominada "Bosque De Chapultepec".
- Martínez, F. R., Delgado, L. I. G., Mateo, M. R., Rojas, M. G., y Juárez, D. R. (2019). Salud forestal del arbolado de la segunda sección del bosque de Chapultepec de la Ciudad de México. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*. 19(37): 27-27.
- SEMARNAT. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. *Diario Oficial de la Federación* 31-12-2002, 2a Sección, México.

## CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA DE LAS MICROCUENCAS PRODUCTORAS DE FRIJOL EN EL MUNICIPIO DE LA TRINITARIA CHIAPAS

Francisco J. Cruz-Chávez<sup>1\*</sup>, Eduardo R. Garrido-Ramírez<sup>1</sup>, Bulmaro de J. Coutiño-Estrada<sup>1</sup>, Isidro Fernández-González<sup>1</sup>

Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP

\*Autor para correspondencia: [cruz.francisco@inifap.gob.mx](mailto:cruz.francisco@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Caracterización, microcuenca, frijol

### Introducción

En la región fronteriza del estado de Chiapas, se ubica el municipio de La Trinitaria, el Servicio de información agropecuaria y pesquera (SIAP) reporta que, en el año 2020, se cultivaron 3015 hectáreas de frijol, bajo condiciones de temporal, la producción de grano fue de 0.74 toneladas por hectárea, producción insuficiente para cubrir las necesidades. Se sabe que la superficie dedicada a este cultivo puede incrementarse, gracias a estudios hechos en este municipio para determina el potencial productivo de áreas sin cultivar, e indican que hay posibilidades. Como consecuencia se incrementaría el volumen de producción, es decir se incrementaría la oferta de grano de este cultivo y beneficiaría a los productores. El cultivo de frijol es un sistema productivo importante que combinado con el maíz constituyen la dieta básica de los habitantes de este municipio, además de generar ingresos económicos a muchas familias, esto hace necesario generar y poner a disposición de los productores, tecnologías para hacer más sostenible la producción del cultivo, amigables con el medio ambiente y que contribuyan a incrementar la productividad del sistema y recursos asociados sin menoscabo del suelo y agua.

### Objetivo

Por ello, el objetivo de esta investigación fue conocer las características biofísicas del municipio de La Trinitaria para determinar el potencial productivo del frijol cultivado en temporal.

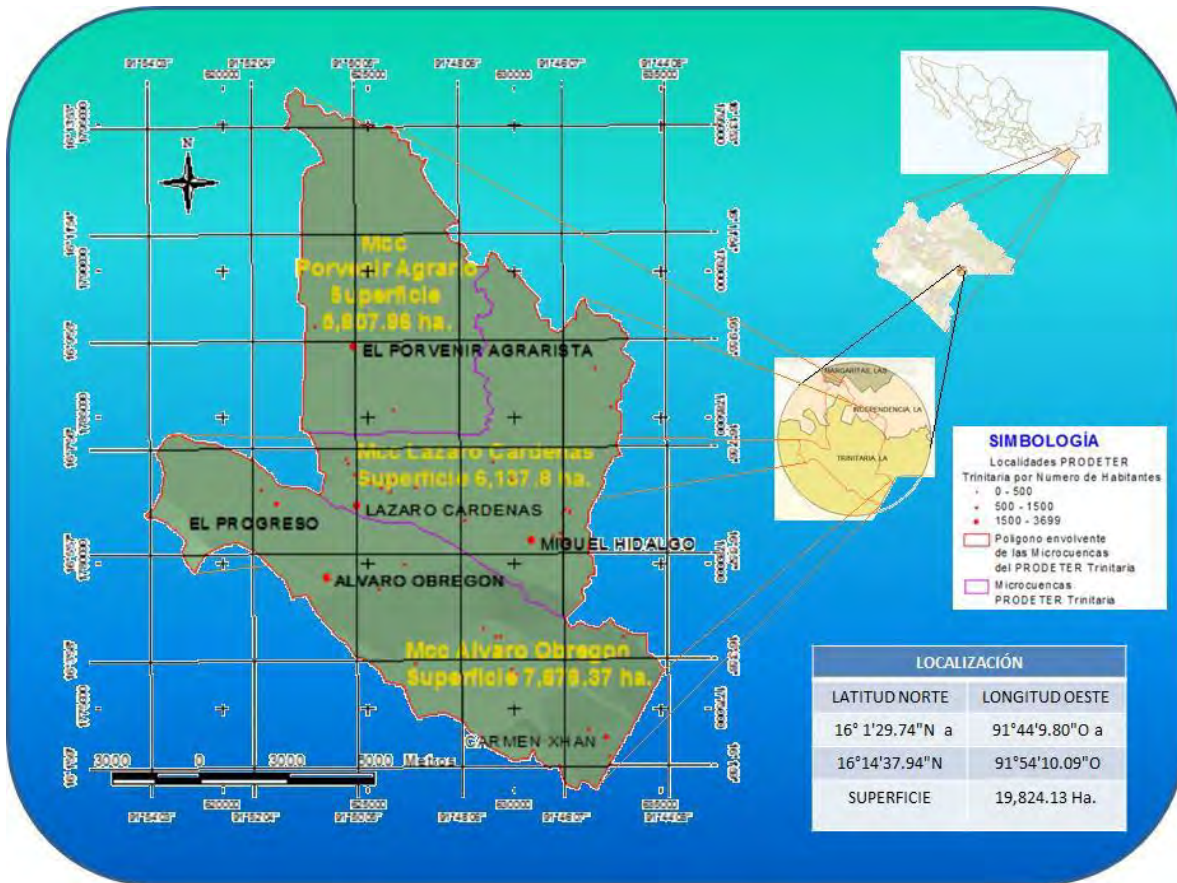
### Materiales y métodos

La presente investigación fue realizada en el año 2020 en el municipio de La Trinitaria Chiapas, el primer paso fue generar un mapa donde se ubicaran las cuencas productoras de frijol dentro de este municipio, para ello se usó el mapa de cuencas hidrográficas de Chiapas (CONAGUA, 2017), después de haber determinado las microcuencas existentes en el municipio, se procedió a la caracterización de las mismas, para realizar esto, se hizo uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) y la base de datos de suelo y clima con que cuenta el INIFAP (Villar *et al*, 2010) la información que se generó fue la siguiente: A) Ubicación y Delimitación de las microcuencas. Para esto, se usaron modelos hidrológicos que permitieron delimitar las microcuencas junto con sus índices y parámetros de las unidades de escurrimiento. B) Aspectos climáticos como tipo de clima, precipitación pluvial, temperaturas (máxima, media y mínima), evaporación, para ello se usó la información registrada en la estación climática 7101 durante un periodo de 10 años. C) Aspectos edafológicos como tipo de suelos, altura sobre el nivel del mar. D) Hidrología, uso del suelo y evaluación de la erosión hídrica actual. Para la identificación de las áreas con riesgo de erosión, se usó la ecuación universal de pérdida universal de pérdida de suelo (EUPS). Para la elaboración de gráficas y cuadros, se empleó el programa Excel 2016.

### Resultados y discusión

Ubicación y delimitación de las microcuencas. Se determinaron tres microcuencas (Figura 1) a las cuales se le denominó El porvenir agrarista, Lázaro Cárdenas y Álvaro Obregón. Estas microcuencas hidrológicas determinadas se encuentran ubicada geográficamente entre los 91°44'9.80" a 91°54' 10.09" de longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich y los paralelos 16°1' 29.74" a 16°14'37.94" de latitud Norte. La microcuenca El Porvenir Agrarista se encuentra dentro del territorio que pertenece a los municipios de La Trinitaria, La independencia y Las Margaritas. Consta de una superficie total de 5, 807.98

has. La microcuenca Lázaro Cárdenas se encuentra dentro del territorio que la Trinitaria, Consta de una superficie total de 6137.8 hectáreas y la microcuenca Álvaro Obregón presenta una superficie de 7878.3 hectáreas.



**Figura 1.** Ubicación Geográfica de las microcuencas en el municipio de La Trinitaria, Chiapas.

A) Aspectos climáticos

Son cuatro los tipos de clima que prevalecen en estas microcuencas, y se atribuye en gran parte a las condiciones fisiográficas, vegetación y altitud, el clima que predomina en la mayor superficie (35.95%) es el C(w2).

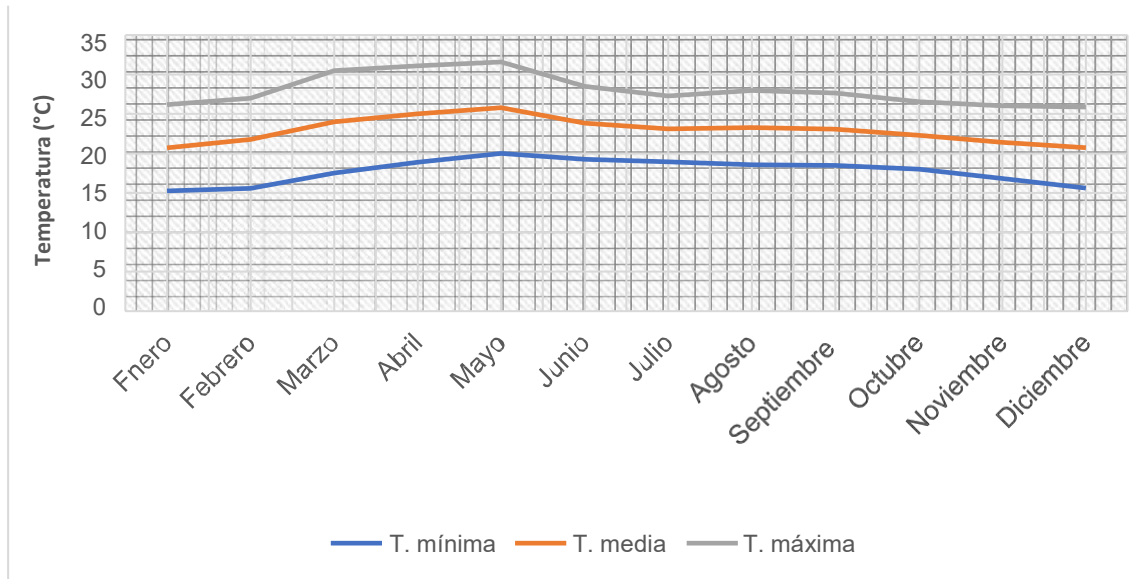
**Cuadro 1.** Tipos de climas y la superficie en que se presenta en el Mpio. de La Trinitaria, Chis.

Tipo de clima	Superficie en Ha.	Superficie ( %)
(A)C(w1)	4143.	20
C(m)(f)	3452.9	17.
C(w1)	5101.8	25.
C(w2)	7126.2	35.
<b>TOTAL</b>	<b>19,824.1</b>	<b>1</b>

De acuerdo con la información recabada en la estación climatológica 7101, la precipitación anual acumulada que prevalece en La Trinitaria es de 824.8 mm, la época de mayor precipitación va de junio a octubre con lluvias promedio de 141.4 mm, los meses de mayo y noviembre presentan una precipitación

de 44 mm, la época seca va de diciembre a abril, donde las precipitaciones son del orden de 7.8 mm mensuales.

Con relación a la temperatura media que prevalece durante el año, (Figura 2), se observa que al inicio de año, esta se ubica en los 20°C aproximadamente, y empieza a incrementarse en los siguientes meses hasta llegar a los 25-26°C en mayo, y de ahí decrece hasta los 15°C en el último trimestre del año, lo que podría ser adverso para el cultivo del frijol, porque se generan condiciones para la presencia de enfermedades fungosas, que pueden afectar al cultivo en su etapa de llenado y secado de vainas.



**Figura 2.** Temperatura mínima, media y máxima prevaleciente en el municipio de La Trinitaria, Chis.

La evaporación que se registra en las microcuencas de La Trinitaria, indica que es mayor a la precipitación pluvial que ocurre, esto es característico de zonas semi áridas. Lo que supone, podría ser un problema para el buen desarrollo y producción del frijol, esto hace necesario incorporar tecnologías que permitan al cultivo desarrollarse de manera óptima, igualmente esto es válido para otros cultivos como el maíz, jitomate etc. Sería pertinente evaluar hasta donde este factor puede ser una limitante de la producción del frijol y que opciones se le podrán dar al productor para reducir los efectos negativos.

C). La altura sobre el nivel del mar de las microcuencas, se ubican entre los 1200 hasta los 1797.4 metros, para su mejor estudio, se determinaron seis estratos con intervalos a 100 metro, la altitud predominante está en el rango de 1500 a 1600 metros sobre el nivel del mar (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Rangos de elevación del suelo sobre el nivel del mar en el PRODETER de La Trinitaria, Chis.

Rangos de elevaciones en msnm	Superficie en ha	Superficie (%)
1200 - 1300	478.2	2.
1300 - 1400	1014.5	5.
1400 - 1500	2289.2	11.
1500 - 1600	15820.49	79
1600 - 1700	189.	0.
1700 - 1797.4	32.0	0.
<b>TOTAL</b>	<b>19824.13</b>	<b>1</b>

El grado de pendiente de los suelos de las microcuencas reconocidos en base a rangos o intervalos a cada 10%, se determinaron seis estratos (Cuadro 3) y se relacionaron con la superficie que presenta



determinado grado de pendiente. Se encontró que la mayor superficie presenta una pendiente no mayor al 5%.

**Cuadro 3.** Porcentaje correspondiente de la superficie en hectáreas del polígono que ocupan las microcuencas del municipio de La Trinitaria, Chis.

Rangos de pendientes en %	Superficie en ha	Superficie (%)
0 – 5	16266.5	82.
5 – 10	1221.9	6.16
10 – 20	2067.8	10.
20 -30	266.7	1.
30 – 40	0.	0.00
40 - 57.8	0.	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>19824.1</b>	<b>1</b>

Por último y de acuerdo con el mapa edafológico, en las microcuencas de la Trinitaria, se observan dos tipos de suelos prevaletentes; el Litosol y el Luvisol, el primero está presente en el 66.4% de la superficie en tanto que el Luvisol se encuentra en el 31.47% restante.

#### D) Evaluación de la Erosión Hídrica Actual

En base al mapa de erosión hídrica, el área que abarcan las microcuencas de La Trinitaria, se hallaron diferentes rangos de erosión ocasionada por la combinación de varios factores como son el grado de pendiente, uso y manejo del suelo, lluvias y tipo de suelo.

En el Cuadro 4, se muestra que dentro de las microcuencas existe una superficie de aproximadamente 8442 hectáreas, que es el equivalente al 42.59% del área que presenta un grado de erosión catalogada como extrema, así también existe una superficie del 49.4% que presenta una erosión catalogada como baja.

**Cuadro 4.** Rangos y clases de erosión presente en las microcuencas de La Trinitaria, Chis.

<b>EROSIÓN HÍDRICA</b>			
Categoría	ton ha <sup>-1</sup> *año	Superficie (ha).	Superficie (%)
<b>Baja</b>	< 5	9793.29	49.4
<b>Alta</b>	50 - 100	559.52	2.82
<b>Severa</b>	100 - 500	600.05	3.03
<b>Extrema</b>	> 500	8442.34	42.59
<b>Área Urbana</b>		103.57	0.52
<b>Cuerpo de Agua Perenne interior</b>		325.36	1.64
<b>Total</b>		<b>19,824.13</b>	<b>100.00</b>

#### Conclusiones

El cultivo de frijol en La Trinitaria Chiapas, enfrenta problemas edafoclimáticos, agronómicos que repercute en la economía de los productores.

La producción del frijol, se puede mejorar mediante la incorporación de nuevas tecnologías además de realizar prácticas de conservación del suelo por la dinámica que presenta la erosión en los suelos de esa zona, la otra opción es el cambio de cultivos alternativos (aguacate, maíz) que se adaptan a las condiciones edafoclimáticas de la zona.

Hay posibilidad de incrementar la superficie dedicada a la producción de frijol, los estudios muestran una superficie de aproximadamente 2882 hectáreas con capacidad para ser cultivada.

## **Agradecimientos**

Al personal técnico de la SADER y Secretaría de agricultura y pesca (SAGyP) del Estado de Chiapas, que colaboraron en el desarrollo de los trabajos de campo.

A todos los productores que colaboraron para que ese lograra realizar eficazmente el proceso de la encuesta aplicada por el INIFAP.

## **Fuente financiera**

SADER e INIFAP

## **Referencias bibliográficas**

Comisión Nacional del agua (CONAGUA).2018. Estadísticas del agua en México. Edición 2018. Cd. de México. 280p.

SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2020 Estadísticas de producción agrícola. [http://infosiap.siap.gob.mx//Estadísticas de producción](http://infosiap.siap.gob.mx//Estadisticas%20de%20produccion), datos abiertos. (Consultado el 15 de junio de 2023).

Villar, S.B., E.R. Garrido-Ramírez. A. López- Luna y F.J. Cruz – Chávez. 2002. Manual para la producción de frijol en el estado de Chiapas. Publicación Especial No. 1. CECECH-CIRPAS-INIAF. Ocozocoautla de Espinosa Chiapas. 165 p.

## ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICA DE DOS MICROCUENCAS PRODUCTORAS DE MAÍZ DEL MUNICIPIO DE NICOLÁS RUIZ, CHIAPAS

Francisco J. Cruz-Chávez<sup>1\*</sup>, Isidro Fernández-González<sup>1</sup>, Bulmaro de J. Coutiño-Estrada<sup>1</sup> y Eduardo R. Garrido-Ramírez<sup>1</sup>

Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP

\*Autor para correspondencia: [cruz.francisco@inifap.gob.mx](mailto:cruz.francisco@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Caracterización, microcuenca, maíz

### Introducción

El municipio de Nicolás Ruiz se ubica en la región centro del estado de Chiapas, el Servicio de información agropecuaria y pesquera (SIAP) reporta que, en el año 2020, se cultivaron 2135 hectáreas de maíz bajo condiciones de temporal, el rendimiento de grano por hectárea fue de 2.38 toneladas, rendimiento ligeramente superior al de la media estatal que es de 1.8 t, sin embargo esta producción es insuficiente y los productores requieren comprar maíz adicional para satisfacer sus necesidades básicas, porque el maíz junto con el frijol, constituyen la dieta básica de los habitantes de este municipio, tampoco se puede decir que genere ingresos económicos, por ello es necesario buscar alternativas que permitan incrementar la producción. Existen al menos dos posibilidades para poder cubrir esos faltantes de grano, una; sería el incremento de la producción por hectárea y la otra, ampliar la superficie cultivada en este municipio. Estudios efectuados para determinar el potencial productivo de áreas sin cultivar, indican que hay posibilidades de ello, pero también es necesario generar y poner a disposición de los productores, tecnologías para hacer más sostenible la producción del cultivo, que sea de fácil acceso a los productores y que contribuyan a incrementar la productividad del sistema sin menoscabo del suelo y agua. El objetivo de esta investigación fue conocer las características biofísicas de dos microcuencas del municipio de Nicolás Ruiz para determinar el área potencial para cultivar maíz de temporal e incrementar su superficie.

### Materiales y métodos

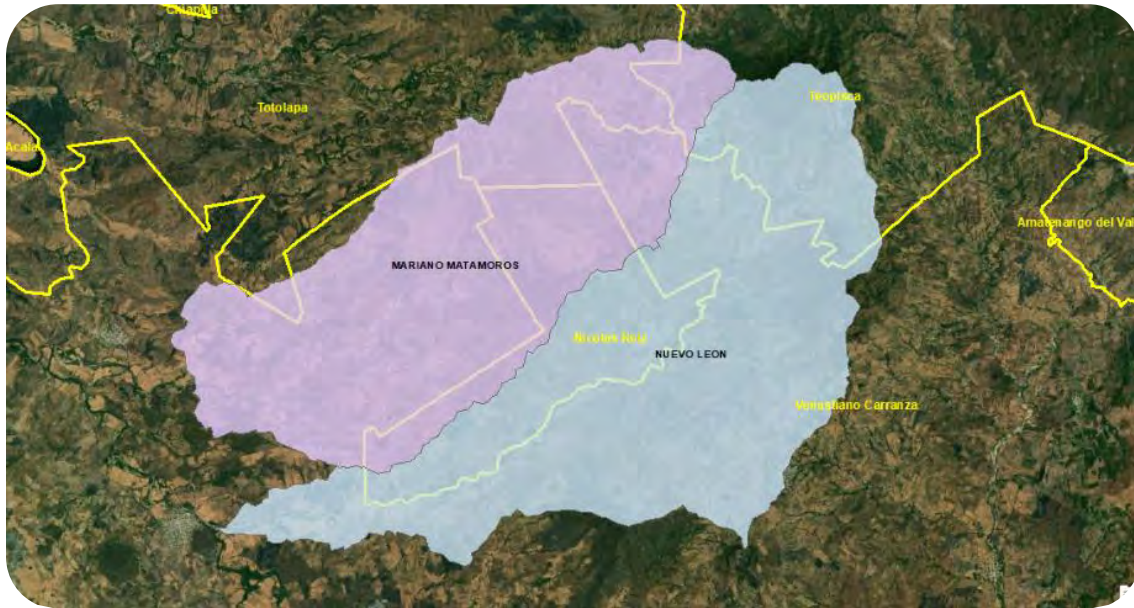
La presente investigación se realizó en el año 2020 en el municipio de Nicolás Ruiz, ubicado en la región centro del estado. La primera actividad fue elaborar un mapa para ubicar y delimitar las microcuencas donde se produce maíz en este municipio, para tal fin se usó el mapa de cuencas hidrográficas de Chiapas (CONAGUA, 2017), una vez determinadas las microcuencas, se procedió a la caracterización de las mismas, para ello, se usó del Sistema de Información Geográfica (SIG) y la base de datos de suelo y clima con que cuenta el INIFAP (López *et al.*, 2008), generándose la siguiente información: A) Ubicación y Delimitación de las microcuencas. Para esto, se usaron modelos hidrológicos que permitieron delimitar las microcuencas junto con sus índices y parámetros de las unidades de escurrimiento. B) Aspectos climáticos: tipo de clima, precipitación pluvial, temperaturas (máxima, media y mínima), evaporación. Para la determinación de estas variables, se utilizó información de un periodo de 42 años de registros de las estaciones climáticas 7062 y 7358. C) Aspectos edafológicos: tipo de suelos, altura sobre el nivel del mar. D) Uso del suelo, evaluación de la erosión hídrica actual y áreas potencial para producir maíz. Para la identificación de las áreas con riesgo de erosión, se usó la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS). Para la elaboración de gráficas y cuadros de datos, se empleó el programa Excel 2016.

### Resultados y discusión

#### a) Ubicación y delimitación de las microcuencas

Se determinaron dos microcuencas a las cuales se le denominó Mariano Matamoros y Nuevo León respectivamente (Figura 1), se encuentran ubicadas geográficamente entre los 92°31'38.05" y 92°41'56.84" de longitud Oeste con respecto al meridiano de Greenwich y los paralelos 16°23'2.49" a 16°30'25.50" de latitud Norte. La mayoría de la superficie de la microcuenca Nuevo León se ubica dentro del municipio de Nicolás Ruiz, aunque abarca pequeñas partes de territorio de los municipios de Teopisca y Venustiano Carranza, además en esta microcuenca, se encuentran la mayoría de las comunidades habitadas, consta de una superficie total de 8,636 hectáreas. Por otra parte, la microcuenca Mariano Matamoros está inmersa

en los municipios de Nicolás Ruiz, Totolapa, Teopisca y Venustiano Carranza y consta de una superficie total de 7,548.75 hectáreas.



**Figura 1.** Ubicación Geográfica de las microcuencas en el municipio de Nicolás Ruiz, Chiapas.

b) Aspectos climáticos

La precipitación pluvial en las Microcuencia hidrológica Mariano Matamoros y Nuevo León varía de 1,156.4 mm a 1,392.6 mm de precipitación promedio anual. El ciclo de lluvia inicia en el mes de mayo hasta el mes de octubre, que es el periodo donde se concentran la mayor cantidad de precipitación pluvial

La información cartográfica digital del INEGI (2000) para el estado de Chiapas, indica que, en las microcuencas de Nicolás Ruíz, existen dos tipos de climas predominantes. El cálido subhúmedo que se encuentra en el 79.19% de la superficie de las microcuencas y el Templado subhúmedo que se encuentra en el 21.81% de la superficie (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tipos de climas y superficie en que se presenta, en el municipio de Nicolás Ruiz, Chiapas.

Tipo de clima	Clave	Superficie en ha	Superficie en %
Cálido subhúmedo	Aw1(w)	12816.55	79.19
Templado subhúmedo	(A)C(w2)(w)	3368.20	20.81
<b>TOTAL</b>		<b>16,184.75</b>	<b>100</b>

La temperatura media anual en las microcuencas hidrológicas Mariano Matamoros y Nuevo León, varía de 20.4 °C según registros de la estación climatológica 7062 a 26.7 °C según registros de la estación climatológica 7358., en tanto que las temperaturas mínimas van de los 6°C registrados en enero hasta los 12°C registrados en los meses de julio y agosto, en tanto que la temperatura máxima que se registra es de 39°C en enero, esta se incrementa por arriba de los 40°C en los siguientes cuatro meses y de ahí vuelve a disminuir hasta los 37°C.

La evaporación anual en estas microcuencas, varía de 1400.3 mm a 1,123.6 mm, los meses de mayor evaporación son marzo, abril y mayo, siendo abril el más alto. Los meses de menor evaporación son de junio a febrero, y de noviembre y diciembre los meses con la evaporación más baja.

Un análisis de balance hídrico entre los factores precipitación – evaporación de la zona en que se encuentran estas microcuencas, indica que el periodo con balance hídrico positivo se da entre los meses de junio a octubre, y el balance hídrico negativo se da entre los meses de noviembre a mayo.

c) Aspectos edafológicos

Elevación

En las microcuencas existe una variación en la elevación debido a lo accidentado de la topografía, la altitud va de los 583.6 a los 1600 metros sobre el nivel del mar (msnm), la mayor superficie (36.85%) se encuentra entre los 583.6 y 650 msnm, 10.9% está entre los 650 y 750 msnm, en tanto 22.78% se ubicó entre los 750 y 850 msnm, 18.7% se ubica entre los 850 y 1000 msnm, la superficie restante está por arriba de los 1000 msnm.

Pendiente

La elevación está asociada a la de la pendiente, y lo que se halló al respecto fue que en general, esta va de 0 hasta más de 40%, al ser clasificada en rangos, se halló que 50.53% de la superficie presenta una pendiente que va de 0 a 5%, 15% de la superficie tiene un rango de pendiente entre 5 y 10%, otra superficie equivalente al 19% está en un rango de 10 a 20%, el resto de la superficie va más allá de este último valor.

d) suelo

Uso del suelo

En base a la información generada en febrero del 2003 a partir de imágenes de satélite Landsat de 1993 y cartas 1:250,000 publicada en 2003 por el INEGI, el uso de suelo y vegetación en la microcuenca en microcuencas del PRODETER Nicolás Ruíz, estaba distribuida de la siguiente manera, 4.81% está ocupada por bosque de encino-pino, 46.85% por vegetación secundaria de selva baja caducifolia, 24.76% por áreas agrícolas de temporal y 23.57% por bosques de encino.

Evaluación de la Erosión Hídrica Actual

En el Cuadro 2, se aprecia que cerca del 25% de la superficie potencial, presenta un grado de erosión catalogada como extrema, en el resto de la superficie la erosión se considera como baja.

**Cuadro 2.** Rangos y clases de erosión del suelo presente en Nicolás Ruíz

<b>EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL</b>			
<b>Clase</b>	<b>ton ha<sup>-1</sup>*año</b>	<b>Superficie en hectáreas</b>	<b>Superficie (%)</b>
<b>Extrema</b>	>500	4,011.02	24.78
<b>Baja</b>	<5	12,173.73	75.22
<b>TOTAL</b>		<b>16,184.75</b>	<b>100</b>

Potencial productivo de maíz

En la Figura 2, se muestra que existe un área potencial de 5531.71 hectáreas y aproximadamente el 79.6% tiene un potencial catalogado de muy bueno, el otro 20.4% de la superficie está clasificado como de mediano potencial.



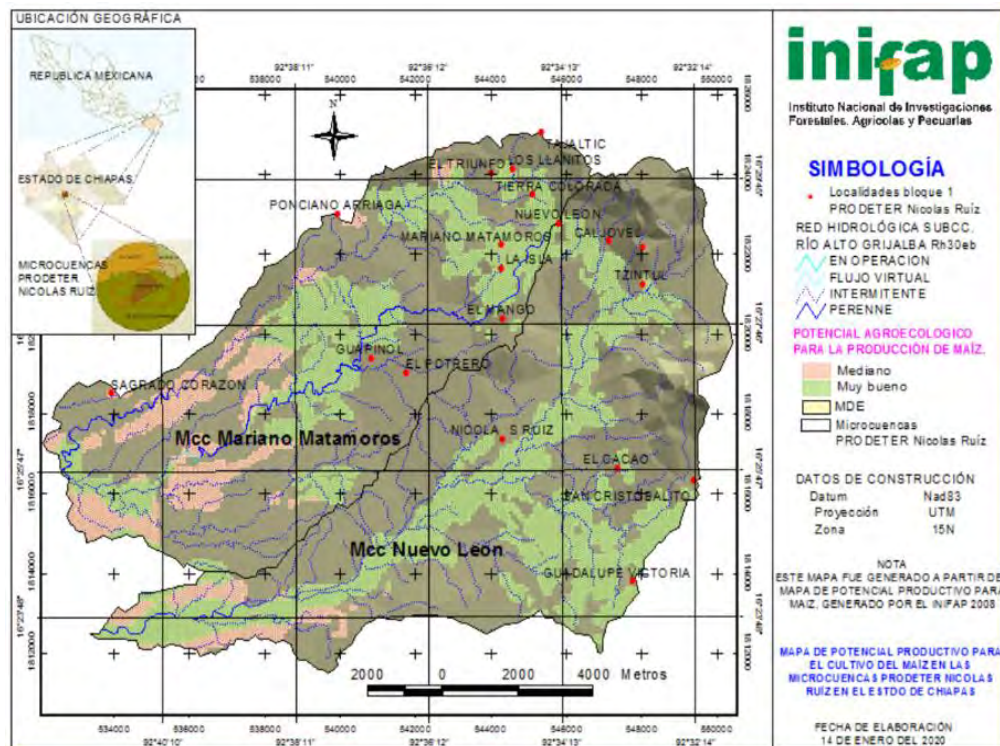


Figura 2. Áreas con potencial agroecológico para la producción de maíz en las microcuencas del municipio de Nicolás Ruíz, Chiapas.

## Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se halló que en el municipio de Nicolás Ruíz hay posibilidades de incrementar la superficie dedicada al maíz en aproximadamente dos mil hectáreas.

De las áreas potenciales determinadas la que predomina en mayor superficie es la catalogada como de muy buen potencial.

La producción actual del maíz en este municipio es catalogada como baja, pero puede ser mejorada mediante la incorporación de nuevas tecnologías y prácticas de conservación del suelo.

También es necesario señalar que es prioritario promover y realizar prácticas de conservación para disminuir el riesgo de erosión que enfrentan los suelos de este municipio.

## Agradecimientos

Al personal técnico de la SADER y Secretaría de agricultura ganadería y pesca (SAGyP) del Estado de Chiapas, que colaboraron en el desarrollo de los trabajos de campo.

A todos los productores que colaboraron para que se lograra realizar eficazmente el proceso de la encuesta aplicada por el INIFAP.

## Fuente financiera

SADER e INIFAP

## Referencias bibliográficas

Comisión Nacional del agua (CONAGUA). 2018. Estadísticas del agua en México. Edición 2018. Cd. de México. 280 p.

SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. 2021. Estadísticas de producción agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx//Estadisticas> de producción, datos abiertos. (Consultado el 19 de junio de 2023).

López, B. W.; A López-Luna; B. Coutiño-Estrada; R. Camas-Gómez; B. Villar-Sánchez; J. López-Martínez; V. Serrano-Altamirano; P. Cadena-Iñiguez; A. Zamarripa-Moran y C. Sandoval-Morado. 2008. Zonas potenciales y recomendaciones técnicas para la producción sustentable de maíz en Chiapas. Libro técnico No. 1. Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 228 p.

## MANEJO AGRÍCOLA EN *Agave angustifolia* HAW. BAJO DOS SISTEMAS DE CULTIVO EN ZIMATLÁN, OAXACA

Brenda Regina Apaez-Becerril, Verónica Martínez-Gallegos\*, Laura Martínez-Martínez, Celerino Robles-Pérez, Mario César Lavariega-Nolasco  
Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR OAXACA).

\*Autor para correspondencia: vmartinezg@ipn.mx.

**Palabras claves.** Maguey espadín, monocultivo, manejo agroecológico.

### Introducción

En el estado de Oaxaca, México, el *Agave angustifolia* Haw. (*A. Angustifolia*) se utiliza como materia prima para producir mezcal. El sistema agrícola dominante desarrollado por productores campesinos de agave mezcalero en la “región del mezcal” ubicada en los Valles Centrales de Oaxaca es el monocultivo de *A. Angustifolia* que se caracteriza por un alto grado de intensificación de prácticas de cultivo, extensas superficies cubiertas por agave y alteración de diversos ecosistemas, los cuales conllevan a diversos efectos negativos en la biodiversidad e incertidumbre en la comercialización de la producción de agave por la falta de políticas públicas de fomento y desarrollo de conocimiento de prácticas agrícolas que contribuyan a la sustentabilidad ambiental y productiva (Antonio y Smit, 2012). De acuerdo con algunos productores las prácticas tradicionales en el cultivo de agave se han modificado, ocasionando la especialización y el monocultivo; condición que canceló las diversas prácticas y labores conservacionistas y de preservación de los recursos naturales, eliminando los periodos de descanso de los suelos, la rotación y asociación de cultivos, el control manual de malezas y plagas. En cambio, se intensificó el monocultivo y la utilización de agroquímicos destacando los fertilizantes minerales, herbicidas e insecticidas; prácticas y elementos tecnológicos que no favorecen el cuidado del medio ambiente, particularmente de los suelos y de la actividad agrícola desarrollada por productores campesinos en la “región del mezcal”.

En el distrito de Zimatlán, Oaxaca, se realizan dos formas de manejo del sistema agrícola de agave; a) agrosistema convencional en monocultivo (ACM) caracterizado por: terrenos mayormente planos exclusivamente dedicado al cultivo de *A. Angustifolia* mecanizado y b) agrosistema tradicional con policultivo (ATP) en el que los productores realizan prácticas agrícolas tradicionales que intercalan maíz y frijol. Las prácticas agrícolas difieren después de la plantación ya que los agaveros que intercalan cultivos como maíz ó frijol y realizan un número mayor de labores, pero tienen también mayor productividad por diversificar cultivos.

Por lo tanto, la evaluación de la fertilidad del suelo es fundamental para sugerir las condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas. Determina el crecimiento y la productividad de los cultivos y, en consecuencia, determina la productividad y la sostenibilidad del suelo en la zona productiva de agave de Zimatlán, Oaxaca.

### Objetivo

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de las prácticas de manejo agrícola sobre algunas propiedades físicas y químicas las zonas agaveras del municipio de Zimatlán, Oaxaca.

### Materiales y métodos

La zona de estudio está situada en el distrito de Zimatlán de Álvarez en el Estado de Oaxaca, latitud 16° 53' - 17° 02' N, longitud entre 96° 39' - 96° 52' O, con temperatura media anual de 20 y 22 °C y precipitación media de 600-700 mm, los climas predominantes son semiseco semicálido (97.93%), semicálido subhúmedo (2.07%), con valle de laderas tendida con lomerío (100%) y suelo dominante Vertisol (43.67%), Fluvisol (9.74%) y Luvisol (0.05%). El uso del suelo de la zona se caracteriza por la agricultura campesina de temporal con producción agrícola diversa (53.46%) y zona urbana (46.54%) (INEGI, 2022).

Muestreo de suelo

Se seleccionaron cinco sitios priorizando aquellos que mostraron una mayor cobertura de cultivo de agave de aproximadamente dos años y que hayan sido extendidos por el cambio de uso de suelo durante los últimos 20 años y como sitio de referencia un suelo en descanso (SD). Para identificar las prácticas agrícolas en cada sitio se identificaron los tipos de manejo del sistema agrícola de *A. Angustifolia*: el agrosistema tradicional con policultivo (ATP) y el agrosistema convencional con monocultivo (ACM) (cuadro 1). En cada parcela se colectaron 20 submuestras, que formarían cinco muestras compuestas de suelo rizosférico. Los análisis físicos y químicos se realizaron de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-021 RECNAT-2000. El pH se determinó por el método AS-02 en una relación suelo: agua (1:2, peso, volumen) utilizando un instrumento de medición portátil, adicionalmente se midió la conductividad eléctrica, salinidad y sólidos disueltos. La textura del suelo por el procedimiento de bouyoucos a través del método AS-09; el contenido de materia orgánica (MO) por el método AS-07, de Walkley y Black (1934). Para ello, se hizo reaccionar un gramo de suelo con una mezcla de 10 ml de dicromato de potasio 1 M y 20 ml de 96 por ciento  $H_2SO_4$ . El exceso de solución de dicromato se tituló frente a sulfato ferroso 1 M después de la adición de aproximadamente 150 ml de agua destilada, 10 ml de ácido fosfórico al 85 por ciento y 1 ml de solución indicadora (sulfato de difenilamina de bario al 0,16 por ciento). El contenido de materia orgánica del suelo del estudio se calculó multiplicando el contenido de carbono orgánico del suelo por un factor de 1,724; el fósforo (P) disponible se analizó en función del pH del suelo por el método Olsen AS-10, para suelos neutros y alcalinos las concentraciones de calcio ( $Ca_2$ ), nitratos ( $NO_3$ ) y potasio (K) se determinó utilizando con medidores de iones de la marca HORIBA scientific.

**Cuadro 1.** Tipos de manejo del sistema agrícola de *A. Angustifolia* en Zimatlán, Oaxaca.

Sitio	Sistema agrícola	Cobertura	Manejo	Tipo de fertilización
Zi1	ACM	MAGUEY	Mecanizado	Ninguno
Zi2	ATP	MAGUEY + PASTO	Mecanizado	Ninguna
Zi3	ACM	MAGUEY	Tracción animal	Orgánica (abono estiércol)
Zi4	ACM	MAGUEY	Mecanizado	Orgánica (abono estiércol + restos vegetales)
Zi5	ATP	MAIZ + FRIJOL	Mecanizado	Orgánica (abono estiércol restos vegetales)
Zi6	SD	SUELO DESNUDO	Mecanizado	Ninguna

ATP =Agrosistema tradicional con policultivo, ACM= agrosistema convencional con monocultivo, SD= suelo en descanso

#### Análisis estadístico

Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) para probar los efectos de la zona agrícola sobre las propiedades físicas y químicas del suelo utilizando el paquete estadístico (SPSS) versión 20.0. Se probó la distribución normal de los datos antes del análisis.

#### Resultados y discusión

Los resultados mostraron que las propiedades físicas del suelo se vieron significativamente afectadas por la diferencia en los tipos de manejo. Las fracciones de limo y arcilla del suelo variaron significativamente entre los sitios estudiados, mientras que la fracción de arena no mostró una diferencia significativa (Cuadro 2). Se registró una fracción de arcilla significativamente más alta ( $2,12 \pm 0,01$  %) en el suelo de referencia SD y una fracción de arena más baja ( $84,99 \pm 9,84$  %) en Zi3 con sistema convencional con monocultivo de manejo con tracción animal y abonado orgánico. Esto indica que los agricultores en el área de estudio practican medidas biológicas de conservación del suelo que incluyen el abonado orgánico del suelo para mejorar la textura, aireación del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y estimular el desarrollo saludable de las raíces (Sisay y Sisay, 2019). Se encontró que el valor medio de pH presentó una variabilidad significativa entre los sitios y su sistema de manejo agrícola, el valor más alto se presentó en el Zi1 (7,9, moderadamente alcalino) y el valor más bajo en Zi2 (6,45, moderadamente ácido), Zi3, Zi4 y Zi5 presentaron pH neutros, según con la clasificación de la NOM-021 RECNAT-2000 (cuadro 3). En general, los valores de pH actuales indican que el pH del suelo es una variable clave para monitorear los efectos de los diferentes tipos manejos (tradicionales y convencionales) y fertilización para el cultivo de *A. Angustifolia*, debido a que el pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las

plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados, la presencia elevada de calcio en los suelos básicos hace que el 80% del P que contiene un suelo reaccione con él, formando fosfatos cálcicos [generalmente  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ] insolubles, y, por lo tanto, no aprovechables por las plantas.

**Cuadro 2.** Resultado de parámetros obtenidos para los porcentajes de arena, limo y arcilla en los sitios estudiados

Sitio	Textura		
	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)
Zi1	0.6±0.1c	3.64±0.00e	95.66±0.01a
Zi2	1.7±0.1b	2.64±0.01d	95.66±0.01a
Zi3	1.7±0.1b	6.65±0.01b	84.99±11.54a
Zi4	0.12±0.01d	5.27±0.01c	94.6±0.1a
Zi5	0.12±0.01d	5.27±0.01c	94.5±0.1a
Zi6	2.12±0.01a	7.27±0.01a	90.6±0.1a

Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

La concentración media de carbono orgánico del suelo (COS) de los sitios de estudio varió de 0.74 a 1.92% (cuadro 3), la cual estuvo en el intervalo de bajo a alto según la clasificación realizada por Hazelton y Murphy (2016) quienes clasificaron al COS como muy bajo (<0,6), bajo (0,6–0,99), moderado (1–1,59), alto (1,6–1,99) y muy alto (>1,99 por ciento). La mayoría de los suelos cultivadas con *A. angustifolia* son pobres en su contenido de COS debido a la baja cantidad de materiales orgánicos aplicados al suelo y la eliminación completa de la biomasa del campo. Sin embargo, en sitio de estudio Zi3 ocurre lo contrario debido a que prácticas de manejo orgánico como la adición de estiércol de ganado y la labranza reducida en el área se devuelve al suelo contribuyendo a un rango adecuado de COS y aumenta la actividad biológica del suelo. Esto podría ser la razón por la que el COS se utiliza como un indicador importante en la productividad del suelo (Iqbal *et al.*, 2014 ). El valor medio de P disponible del suelo en el área de estudio varió de 9.97 a 24.27 mg kg<sup>-1</sup> (cuadro 3), el cual se puede categorizar de medio a alto según la clasificación de la NOM-021 RECNAT- 2000. Clasificando los valores de P disponible como bajos (< 5.5), medios (5.5-11) y altos (>11). El contenido medio de potasio intercambiable (Ki) del suelo de la capa superficial (0-30 cm), de los sitios evaluados, osciló entre 0,46 y 0,74 (cmol(+)/kg) (cuadro 3), que fue de medio a alto de acuerdo con la clasificación realizada por la NOM-021 RECNAT-2000 que la tasa de K como baja (<0,2), media (0,3-0.6) y mayor (>0.6 cmol(+)/kg). El nivel más alto de P disponible y Ki, se obtuvo en el suelo de Zi3.

**Cuadro 3.** Propiedades químicas del suelo de estudio con diferentes tipos de manejo del sistema agrícola de *A. Angustifolia* en Zimatlán, Oaxaca.

Sitio	pH		COS (%)		P disponible	K (cmol(+)/kg)
Zi1	7.99±0.02a	Medianamente alcalino	1.08±0.46b	Moderad	9.97±0.7cd	Medio 0.64±0.00b
Zi2	6.455±0.16	Moderadamente ácido	0.89±0.33b	Bajo	16.672.2b	Bajo 0.46±0.0e
Zi3	6.89±0.09b	Neutro	1.92±0.13a	Alto	24.27±2.4a	Medio 0.740±00a
Zi4	6.75±0.05b	Neutro	0.89±0.27b	Bajo	15.97±0.5b	Medio 0.61±0.00c
Zi5	6.54±0.04c	Neutro	0.74±0.17b	Bajo	12.37±0.7d	Bajo 0.53±0.00
Zi6	6.48±0.08d	Moderadamente ácido	0.77±0.27b		16.07±0.8b	Bajo 0.53±0.00

Valores medios con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Estos resultados podrían atribuirse a las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo por la adición de fuentes orgánicas evitan la formación de complejos insolubles del P con iones como el calcio o magnesio en suelos neutros ó básicos, haciéndolo más disponible. El P es uno de los nutrientes más limitantes en los sistemas agrícolas, por ello los agricultores dependen del estiércol y el compost como fuentes de P, para acumular depósitos de P orgánico en el suelo, en particular el ligado a la biomasa microbiana



(Richardson y Simpson, 2011 ). El potasio es uno de los nutrientes de ciclo fuerte y se concentra principalmente en los 20 cm superiores.

### **Conclusión**

La fertilidad del suelo es uno de los factores importantes que afectan la seguridad alimentaria en los países en desarrollo. Entre muchos factores que determinan la fertilidad del suelo, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo de la fertilidad del suelo se consideran factores importantes. Esta investigación tuvo como objetivo examinar los efectos de los tipos de manejo del sistema agrícola de *A. Angustifolia* (que sobre algunas propiedades físicas y química del suelo en los sitios de estudio. El resultado mostró que la diferencia en las prácticas de manejo y los diferentes sistemas agrícolas, tiene un efecto significativo tanto en las propiedades físicas como químicas del suelo. Las propiedades físicas como fracción arcillosa del suelo fueron significativamente mayores en los sitios con agrosistema convencional con monocultivo de *A. angustifolia*, manejo animal y adición de enmiendas orgánicas. Del mismo modo, COS, P disponible y Ki fueron mayores en el mismo sitio con sistema agrícola convencional con monocultivo de *A. Angustifolia* en comparación con el resto de los sitios. El conocimiento acerca de los beneficios de la adición de materia orgánica al suelo por parte de los pequeños productores es un factor importante que determina las prácticas de manejo para mejorar de la fertilidad del suelo.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a los productores de *Agave angustifolia* de la Ciénega, Zimatlán Oaxaca por su apoyo brindado para realizar el estudio en sus parcelas.

### **Financiamiento**

Esta investigación fue financiada por el Instituto Politécnico Nacional a través del proyecto: Aislamiento, caracterización y evaluación en la promoción del crecimiento vegetal de cepas nativas de *Rhizobium* asociadas a la rizosfera del frijol común en Oaxaca. SIP 20230604.

### **Referencias bibliográficas.**

- Bautista, J.A. & Smit, Mascha A. (2012). Sustentabilidad y agricultura en la "región del mezcal" de Oaxaca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 5-20.
- Antonio, B. J. y Ramírez, J. J. 2008. Agricultura y pluriactividad de los pequeños productores de agave en la región del mezcal, Oaxaca, México. *Agric. Téc. Méx.* 4(34):443-451.
- Iqbal, M., van Es, H.M., Hassan, A., Schindelbeck, R.R., & Moebius-Clune, B.N. (2014). Soil health indicators as affected by long-term application of farm manure and cropping patterns under semi-arid climates. *International Journal of Agriculture and Biology*, 16(2), 242-250.
- Richardson, A.E., & Simpson, R.J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant physiology*, 156(3), 989-996.
- Sisay, A. & Sisay, T. (2019). The Principal Role of Organic Fertilizer on Soil Properties and Agricultural Productivity A Review. *Agri Res& Tech: Open Access J.* 2019; 22(2): 556192. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2019.22.556192.

## EFFECTIVIDAD DE UN CONSORCIO MICORRÍCO ARBUSCULAR EN INTERACCIÓN CON FÓSFORO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE *STEVIA REBAUDIANA* BERTONI EN CONDICIONES DE CIELO ABIERTO

Rodrigo Cauich-Cauich<sup>1</sup>, Mónica Guadalupe Lozano-Contreras<sup>2\*</sup>, Elizabeth Herrera-Parra<sup>2</sup>, Jairo Cristóbal-Alejo<sup>1</sup>, José María Tun-Suárez<sup>1</sup>, Rubén Andueza-Noh<sup>1</sup>, Genovevo Ramírez-Jaramillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. División de estudios de posgrado e investigación,

<sup>2</sup> Campo experimental Mocochoá, INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [lozano.monica@inifap.gob.mx](mailto:lozano.monica@inifap.gob.mx)

### Introducción

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son una alternativa biológica para aumentar la absorción del fósforo y reducir el uso excesivo de fertilizantes fosfatados (Bañuelos *et al.*, 2017). Además, pueden aumentar la tolerancia de las plantas a diversos factores de estrés abióticos, tales como sequía, niveles excesivos de elementos tóxicos, salinidad y desequilibrios o deficiencias de nutrientes. Por todas esas cualidades, actualmente son aplicados en la agricultura.

Con base en el uso práctico de los inoculantes en la agricultura, es pertinente mencionar que cada especie de HMA que conforma a un consorcio micorrízico puede tener diferente función (Trejo *et al.*, 2011) y pueden presentar mayor compatibilidad hacia algunas especies vegetales (Van der Heijden *et al.*, 1998). Dando como resultado, que el uso de inoculantes basados en consorcios integrados por más de una especie de HMA tengan especial importancia para asegurar mayores efectos benéficos en sus hospedantes.

### Objetivo

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de un consorcio nativo de HMA en interacción con niveles de fósforo en la promoción del crecimiento de *S. rebaudiana* en condiciones de campo.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en condiciones de cielo abierto en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, Campo Experimental Mocochoá). Se evaluó un consorcio de HMA integrado por *Glomus ambisporum* G.S.Sm. y *N.C. Schenck*, *G. pustulatum* Koske, *Friese*, *C. Walker* y *Dalp*, *Claroideoglomus claroideum* C.Walker y *A. Schussler*, *Funneliformis geosporum* y *Ambispora gerdemannii* C. Walker (identificado previamente a nivel morfológico), que provenía del suelo de la Reserva Cuxtal, en el estado de Yucatán, México donde predominan comunidades vegetales de selva baja caducifolia.

Los HMA se propagaron en macetas de 10 Kg de capacidad donde se sembraron semillas de *Zea mays* L. y *Sorghum bicolor* L. cv. Criollo como cultivos trampa. Después de 112 días, se tomó una muestra de 100 g de cada maceta de propagación y se extrajeron los HMA por el método de tamizado y decantación en húmedo por centrifugación. La concentración de los inóculos fue de 120 esporas por mL. Se utilizaron plantas de *Stevia rebaudiana* Bertoni variedad Ch'ujuk. El trasplante se realizó el 7 de octubre de 2022. El sustrato utilizado fue una mezcla de suelo franco arcillosa (arena: 41.88%, limo: 20%, arcilla: 38.12%. C.O: 7.68%, pH: 7.4, C.E: 0.816 dS m<sup>-1</sup>, C.I.C: 15.71 Cmol/Kg, nitrógeno total: 0.72%, fósforo disponible: 16.89 mg kg<sup>-1</sup> y potasio intercambiable: 0.154 Cmol(+)/Kg), el cual se esterilizó por vapor de agua a 126°C durante 7 horas.

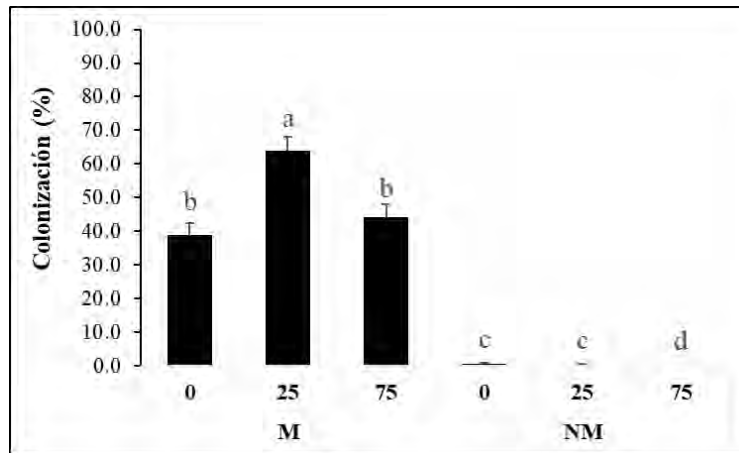
Se estableció un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron dos niveles de fósforo (25, 75% y como control 0%, con resultados promisorios en invernadero) suministrado como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en función de la exigencia nutricional del cultivo, en interacción con el consorcio de HMA más un control sin inocular. La interacción de los factores totalizó 6 tratamientos con 16 unidades experimentales. A los 120 días después del trasplante (ddt) se estimó el porcentaje de colonización total, longitud y volumen radicular, altura de la planta, número de ramificaciones, diámetro del tallo y rendimiento de hoja seca. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza, para el caso de porcentaje de colonización, los datos

fueron transformados para homogenizar varianzas mediante la función de arco seno;  $y = \arcsin(\sqrt{x/100})$ . Se aplicó como comparador de medias el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) mediante el paquete estadístico InfoStat versión 2019 (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina).

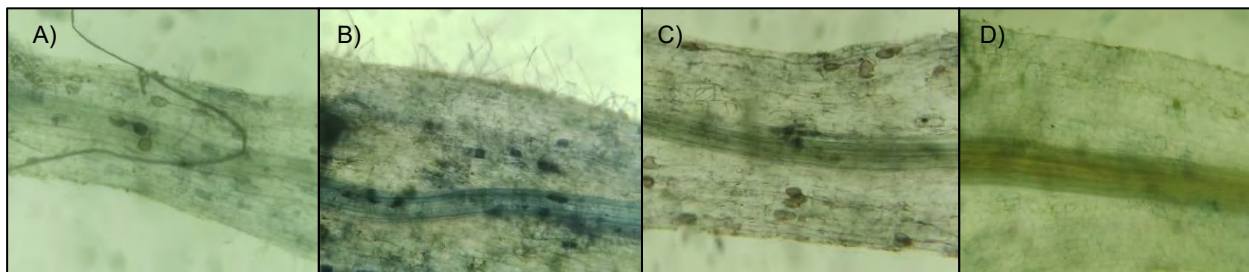
## Resultados y discusión

### Colonización micorrícica

El porcentaje de colonización micorrícica total por el consorcio de HMA en las raíces de *S. rebaudiana* var. Ch'ujuk aumentó cuando se fertilizó con 25% de P, sin embargo, disminuyó significativamente cuando la dosis fue elevada a 75%. En este estudio, el nivel de fósforo que permitió la mayor colonización en raíces fue 25% (Figura 1). En este sentido, es bien reportado que la disponibilidad de fósforo en la fertilización de un cultivo puede influir en la simbiosis de los HMA y, en consecuencia, en el rendimiento esperado (Balzergue *et al.*, 2013). Por otra parte, los tratamientos control (NM) no mostraron colonización.



**Figura 1.** Porcentaje de la colonización micorrícica total en raíces de *S. rebaudiana* var. Ch'ujuk con HMA en consorcio y niveles de fósforo a los 120 ddt. Las letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ , prueba de Tukey),  $n = 5$ .



**Figura 2.** Raíces de *Stevia rebaudiana* var. Ch'ujuk colonizadas con un consorcio nativo de HMA (10X). A) M+0%P, B) M+25%P, C) M+75%P, D) NM.

### Crecimiento radicular

La longitud de raíz no tuvo diferencias estadísticamente significativas por efecto de ningún factor evaluado, sin embargo, el volumen de raíz mejoró significativamente en las plantas micorrizadas con 25% de P (Cuadro 1), lo que sugiere que con este nivel de fósforo probablemente se alcance una adecuada arquitectura del sistema radicular en plantas de *S. rebaudiana* micorrizadas con el consorcio evaluado, lo que favorecería su estado nutricional en términos de área de absorción de nutrientes.

### Crecimiento vegetativo y Rendimiento

La respuesta de las plantas de *S. rebaudiana* var. Ch'ujuk en el crecimiento vegetativo se determinó a los 120 ddt. Las plantas más altas fueron las inoculadas y fertilizadas con 25% P, alcanzando una altura final

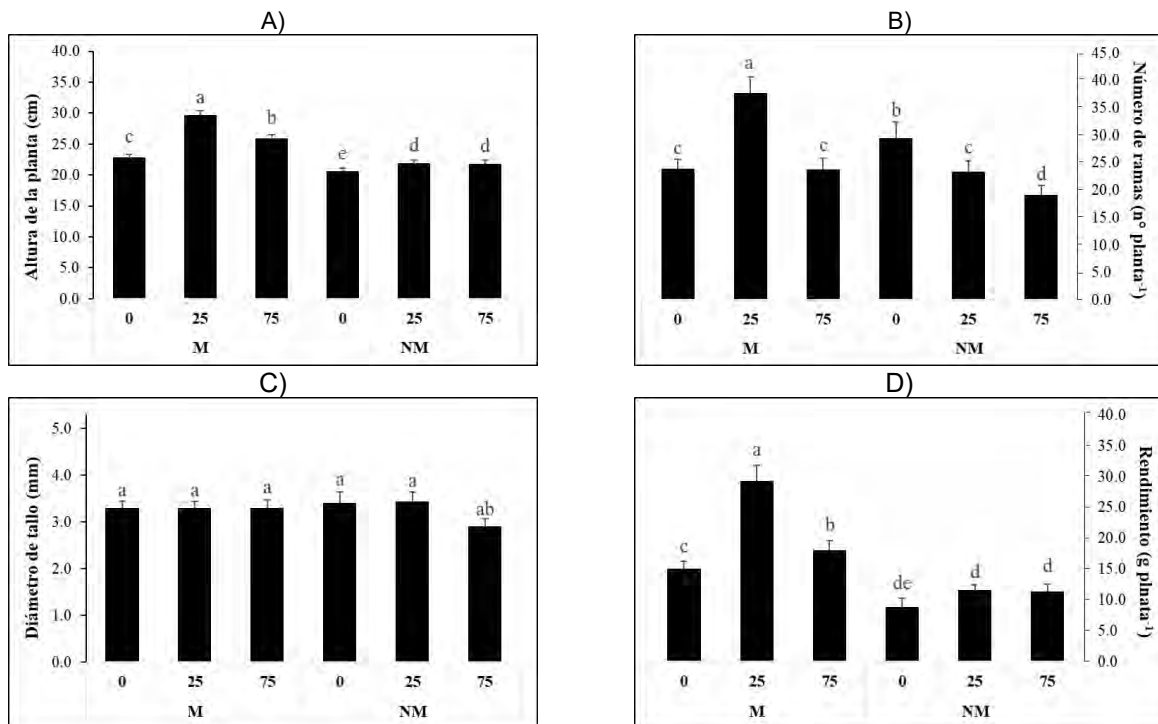
En este estudio realizado en condiciones de campo, los factores evaluados no tuvieron efecto sobre el diámetro de la base del tallo (Figura 3C), es decir, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en comparación a los resultados obtenidos en condiciones de invernadero por Cauch-Cauch *et al.* (2023) donde la aplicación de bajos niveles de P aumentó el diámetro de las plantas de *S. rebaudiana* var. Morita II inoculadas con HMA.

de 29.7 cm (Figura 3A). La sola inoculación no causó diferencias estadísticamente significativas, lo que supone que en el uso de consorcios HMA se requiere de la sinergia con un nivel adecuado de fósforo para lograr beneficios en el crecimiento de estevia.

**Cuadro 1.** Efecto de la inoculación de HMA en consorcio con niveles de fósforo en el crecimiento radicular de *Stevia rebaudiana* var. Ch’ujuk.

Variable	P (%)	M	NM	Media
Longitud de raíz (cm)	0	28.5 ± 1.6 a	25.1 ± 1.3 ab	26.8 ± 1.0 A
	25	26.8 ± 1.1 a	27.0 ± 1.1 a	26.9 ± 0.8 A
	75	28.1 ± 1.5 a	24.5 ± 1.1 ab	26.3 ± 1.0 A
<b>Media</b>		27.8 ± 0.8 A	25.5 ± 0.7 A	
Significancia: M x P= ns; M= ns; P= ns				
Volumen de raíz (cm <sup>3</sup> )	0	236.7 ± 0.8 c	234.9 ± 0.5 d	235.8 ± 0.5 B
	25	240.7 ± 1.0 a	236.4 ± 0.7 c	238.6 ± 0.7 A
	75	238.6 ± 0.8 b	236.2 ± 0.6 c	237.4 ± 0.5 A
<b>Media</b>		238.7 ± 0.5 A	235.8 ± 0.4 A	
Significancia: M x P= *; M= ns; P= *				

Medias (n= 5) ± DE. Letras minúsculas indican el efecto de la interacción M\*P. Letras mayúsculas en fila indican el efecto del consorcio HMA. Letras mayúsculas en columna indican el efecto del nivel de fósforo. La significancia se indica como: ns: no significativo, \*: significativo a P≤0.05.



**Figura 3.** A) Altura de la planta, B) Número de ramas, C) Diámetro del tallo y D) Rendimiento de *S. rebaudiana* var. Ch’ujuk con HMA en consorcio y niveles de fósforo a los 120 ddt. Las letras distintas indican diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ , prueba de Tukey),  $n = 5$ .

Los efectos beneficiosos de la simbiosis del consorcio HMA sobre el aumento de ramas y la adecuada formación en el crecimiento se vieron reflejados en las plantas inoculadas con 25% de P aplicado. La interacción de HMA\*P superó en un 38% a la sola fertilización con 25% de P registrando en promedio 37.7 ramas por planta (Figura 3B). Por otro lado, 75% de P disminuyó el número de ramificaciones tanto en plantas M como en plantas NM, en este sentido, lograr mejoras en el crecimiento vegetativo con dosis menores a las recomendadas, reduce el impacto económico y ambiental de los fertilizantes químicos.

El rendimiento de hoja seca en *S. rebaudiana* var. Ch'ujuk estuvo influenciado significativamente por el consorcio de HMA, las plantas micorrizadas mejoraron la producción de biomasa seca de hoja en comparación con plantas no inoculadas, no obstante, las plantas micorrizadas con 25% de P tuvieron el mayor rendimiento con 29.2 g planta<sup>-1</sup> superando en un 62% a plantas no micorrizadas con el mismo nivel de fósforo (Figura 3D). En este contexto, el aumento en los rendimientos favorecidos al uso de HMA se atribuye a una mejor respuesta en el transporte de nutrientes y agua desde lugares en el suelo donde la raíz no puede explorar.

### **Conclusiones**

Los resultados obtenidos mostraron que, en *Stevia rebaudiana* Bertoni var. Ch'ujuk, la simbiosis del consorcio nativo HMA más el 25% de P en base a su requerimiento nutricional recomendado, influyó en la arquitectura de la planta sobre el suelo a los 120 ddt., al estimular la altura de la planta, el número de ramificaciones y el rendimiento de hoja seca, demostrando su potencial para favorecer el crecimiento. Así mismo, el 25% de P aplicado en forma de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> causó mayor porcentaje de colonización, por lo que, es una alternativa para disminuir la cantidad de fósforo en la fertilización.

### **Agradecimientos**

Al CONAHCYT por la beca otorgada al primer autor para sus estudios de posgrado, al TecNM, campus Conkal y al INIFAP por el apoyo financiero brindado para la realización del proyecto.

### **Referencias bibliográficas**

- Cauich-Cauich, R. A., Tun-Suárez, J. M., Cristóbal-Alejo, J., de los Ángeles Herrera-Parra, E., Andueza-Noh, R., & Contreras, M. G. L. (2023). Evaluación de consorcios micorrícicos arbusculares nativos en interacción con niveles de fósforo en la promoción del crecimiento y fotosíntesis de *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Biotecnia*, 25(1), 67-80.
- Balzerque, C., Chabaud, M., Barker, D. G., Bécard, G., & Rochange, S. F. (2013). High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. *Frontiers in plant science*, 4, 426.
- Bañuelos, J., Sangabriel Conde, W., Gavito, M. E., Trejo Aguilar, D., Camara, S., Medel Ortíz, R., & Carreon Abud, Y. (2017). Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1509-1520.
- Trejo, D., Ferrera-Cerrato, R., Garcia, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcon, A. (2011). Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 23-31.
- Van Der Heijden, M. G., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., ... & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69-72.



## EVALUACIÓN DEL EFECTO DE RESIDUOS DE COSECHA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ EN UN CAMBISOL DE LA REGIÓN FRAILESCA, CHIAPAS

Jaime López-Martínez<sup>1\*</sup>, Andrés López-Ovando<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP; <sup>2</sup>PSP

\*Autor para correspondencia: lopez.jaime@inifap.gob.mx

**Palabras clave.** Abono, fertilidad, productividad.

### Introducción

En Chiapas se encuentran 15 regiones agroecológicas en donde se cultivan más de 650 hectáreas de maíz bajo condiciones de temporal, convirtiendo a este grano en el producto alimenticio de mayor importancia en la entidad. En La Frailesca, una de las regiones productoras de maíz más importante en Chiapas, en el ciclo primavera-verano 2022 se reportó una superficie sembrada de 68,010 hectáreas y una producción de 163,224 toneladas. (SIAP, 2022). El rendimiento promedio es de 2.4 ton ha<sup>-1</sup> y es considerado el más alto 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). Resultados de trabajos de investigación en la región destacan que los suelos cultivados con maíz presentan una baja fertilidad que está 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 que todavía hacen los productores; esta actividad está ligada al proceso de erosión y a la pérdida de fertilidad del suelo. Específicamente, López *et al.*, 2019 encontró que el 94% de los suelos tiene un bajo contenido de MO y concluye que la capacidad de almacenamiento de nutrientes depende del contenido de arcilla. Además, que el 79% de parcelas que tienen menos de 25% de arcilla y mayor contenido de MO, la CIC también es influenciada por el pH del suelo; que 59 y 58% de las parcelas muestreadas requieren tratamientos de Ca y K, respectivamente, para elevar la CIC a niveles no críticos. 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 hídrica. 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.

### Objetivo

El trabajo presenta resultados de un ensayo exploratorio que tuvo como objetivo evaluar el efecto de dos tipos de residuos a dosis crecientes sobre el rendimiento de maíz en un suelo representativo de la región Frailesca.

### Materiales y métodos

Se estableció un ensayo en verano de 2022 en una parcela de un productor cooperante que cultiva maíz con manejo convencional con las coordenadas 16° 16' 47" N y 93° 12' 30" W y que se localiza en la microcuenca Cuauhtémoc de la región Frailesca, municipio de 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 del sitio experimental corresponde a un Cambisol que fisiográficamente se ubica 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 arenosa 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 el Al intercambiable (31.9%) y baja CIC (5.21 me/100g).

Para evaluar dos fuentes de residuos y su mezcla, cada una con tres dosis, se utilizó el diseño experimental bloques completos al azar con cuatro repeticiones y un arreglo de tratamientos de parcelas divididas; en la parcela grande se alojaron los tipos de residuos (rastreo de maíz, canavalia *Canavalia ensiformis* L. y la mezcla de ambos) y en las parcelas chicas las dosis de residuos (0, 5 y 10 ton ha<sup>-1</sup>). 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 grano blanco se realizó a espeque el 11 de junio; la fertilización con la fórmula 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 después de sembrado el maíz. Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron, para el caso del Nitrógeno la Urea (46% N) y para Fósforo el DAP (18%N y 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Los residuos se aplicaron sobre la superficie del suelo, esto es, el experimento se manejó bajo el sistema de labranza de conservación. Se tomaron datos de planta y rendimiento de grano; las variables fueron analizadas con el paquete estadístico SAS versión 9.1; para comparación de medias se utilizó la prueba del rango estudentizado de Tukey,  $\alpha=0.05$  (HSD).

### Resultados y discusión.

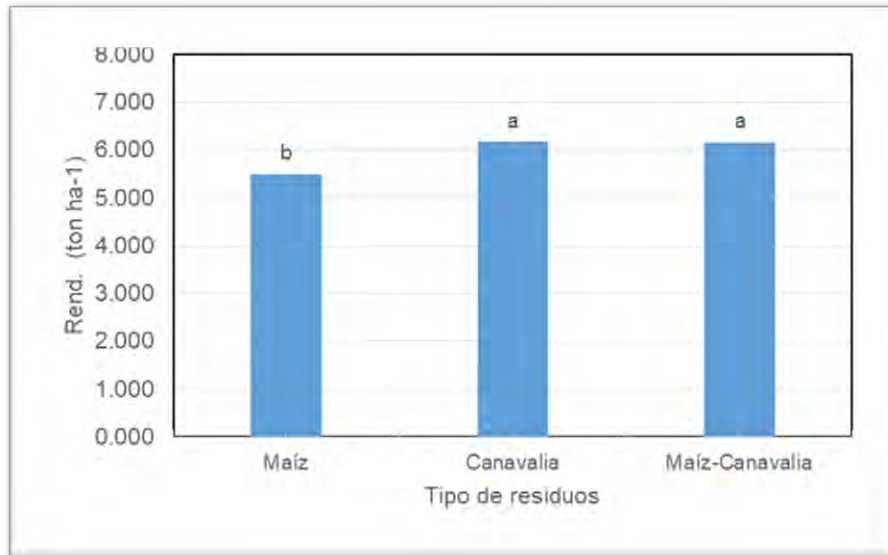
Como se aprecia en el cuadro 1, el ANVA de rendimiento de grano detectó diferencias significativas entre los tratamientos de parcelas grandes (tipos de residuos) y altamente significativas entre tratamientos de parcelas chicas (dosis de residuos). La interacción del efecto parcela grande por parcela chica resultó no significativa, lo cual indica que el rendimiento de maíz resultó igual con la aplicación de residuos de maíz, de canavalia o con la mezcla de ambas especies e independientemente de la dosis aplicada.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza del rendimiento de grano (ton ha<sup>-1</sup>). Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2022.

F de V	G L	SC	CM	F	Pr > F
<b>PG (residuos)</b>	2	3.48896022	1.74448011	3.95	0.0377*
<b>Rep.</b>	3	34.00373878	11.33457959	25.69	<0.0001**
<b>Rep * PG</b>	6	1.18214822	0.19702470	0.45	0.8380 ns
<b>PCh (dosis)</b>	2	7.02157756	3.51078878	7.96	0.0033**
<b>PG * PCh</b>	4	1.42992511	0.35748128	0.81	0.5348 ns

Coefficiente de variación: 11.08%; rendimiento medio general: 7.76 ton ha<sup>-1</sup>

El efecto positivo que tuvieron los tipos de residuos aplicados sobre la superficie del suelo sobre el rendimiento de grano de maíz se puede observar gráficamente en la figura 1. El mayor rendimiento (más de 6 ton ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la incorporación superficial de residuos de leguminosa tanto sola como mezclada con rastreo de maíz. Los beneficios de la incorporación de leguminosas como cobertera se atribuyen a que en corto plazo se acelera la descomposición de residuos y se incrementa la disposición de nutrientes (principalmente N) para la planta. No obstante, otros estudios señalan que la productividad de maíz y la eficiencia de la fertilización nitrogenada se afecta con la incorporación acumulada por dos años de la combinación de residuos de maíz, canavalia y *Cratylia argentea* (López y Rodríguez, 2022).

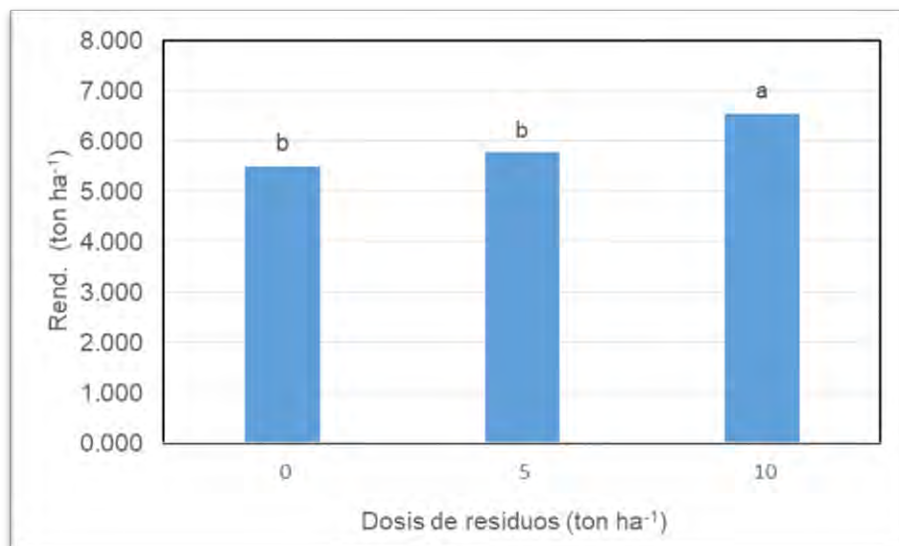


**Figura 1.** Efecto de residuos sobre el rendimiento de maíz. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2022. Rendimientos con la misma letra son iguales (Tukey, 5%)

En la figura 2 se aprecia la respuesta del maíz a las diferentes dosis de residuos aplicadas; el mayor rendimiento (6.54 ton ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la incorporación superficial de 10 toneladas por hectárea. Esta respuesta positiva de los rastrojos sobre el rendimiento de maíz puede atribuirse, por un lado, a una rápida descomposición de los residuos y su aporte de nutrientes en el corto plazo y, por otro, a que la cobertura del suelo propició condiciones favorables para incrementar la eficiencia del fertilizante aplicado. También que los residuos propician mejores condiciones de las características del suelo como la materia orgánica que gobierna muchos de los procesos relacionados con el almacenamiento de agua, la disponibilidad de nutrientes y con el incremento de la eficiencia de absorción del nitrógeno y fósforo.

En general, hipotéticamente se esperaba que al bajar la relación Carbono Nitrógeno (C/N) de 100/1 del rastrojo de maíz a 58/1 de la mezcla de maíz-leguminosa, se lograría incrementar la disponibilidad de nutrientes para la planta, sin embargo, los resultados no fueron concluyentes. Posiblemente serán necesarios estudios más detallados donde se evalúen proporciones más altas de la leguminosa (y su disponibilidad por los agricultores) para que se mejore paulatinamente la C/N a niveles óptimos. La C/N deseable en el suelo debería acercarse a 24/1, pues bajo esta condición los microorganismos encuentran el Carbono y el Nitrógeno suficiente para tener una dieta adecuada y mantener activos los procesos de inmovilización y mineralización. (USDA, 2022).

En resumen, 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 la dinámica de los microorganismos en ambientes que incluyan los diversos sistemas productivos y de usos de residuos de cosecha que manejan los productores.



**Figura 2.** Efecto de dosis de residuos sobre el rendimiento de maíz. Cuauhtémoc, Villaflores, Chiapas. 2022. Rendimientos con la misma letra son iguales (Tukey, 5%)

### Conclusiones

El mayor rendimiento de maíz (6.54 ton ha<sup>-1</sup>) se obtuvo con la dosis de 10 toneladas por hectárea de residuos, de esta manera, se corroboró que el rastrojo de maíz es una opción tecnológica para incrementar el rendimiento de maíz, si bien, en combinación con una leguminosa se obtendrían otros beneficios al suelo. 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. y Rodríguez E. B. J. 2022. Efecto de la cobertura del suelo por los residuos generados en diferentes de producción de maíz. XII Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Villahermosa, Tabasco. Pp 30-33.
- 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 físico-química 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/>
- USDA. 2011. Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. Natural Resources Conservation Service. East National Technology Support Center, Greensboro, NC, in cooperation with Nort Dakota NRCS.

## ALTERNATIVAS AGROECOLÓGICAS SOBRE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS DEL FRUTO SECO DE COCOTERO (*Cocos nucifera* L.)

Edgar Enrique Sosa-Rubio <sup>\*</sup>, Matilde Cortazar-Ríos <sup>1</sup>, Gilbert José Herrera-Cool<sup>1</sup>, María del Carmen Silverio-Gómez<sup>2</sup>, María del Carmen Zavaleta-Cordoba<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Campo Experimental Chetumal, CIRSE. INIFAP, <sup>2</sup> Campo Experimental Huimanguillo, INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [cortazar.matilde@inifap.gob.mx](mailto:cortazar.matilde@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Cocotero, abonos verdes, acolchado.

### Introducción

La Península de Yucatán cuenta con aproximadamente 2,000 hectáreas sembradas con cocotero, el interés sobre este cultivo va en aumento, debido a la oportunidad que representa para la explotación de productos altamente rentables como el agua y el aceite de coco; en Q. Roo se procesan alrededor de 10,000 cocos semanalmente. Desafortunadamente la productividad del cultivo se ve afectada por el uso continuo del suelo, lo que es causa de que ciertos elementos nutritivos formen nuevas combinaciones químicas que ya no son de utilidad para las plantas (Carrillo y Cortazar, 2001). En los últimos cinco años se han observado desordenes nutricionales en las plantaciones de cocotero de la Península de Yucatán, posiblemente originadas por la falta o escasa fertilización que realizan los productores. Esta situación es potencialmente grave ya que las plantas se están tornando más sensibles al ataque de plagas y enfermedades, factores que contribuyen a la reducción de la producción y productividad del cultivo. Ciertas prácticas agroecológicas que pueden aportar mejora y nutrientes al suelo son el uso de abonos verdes y residuos orgánicos de la misma plantación de coco. La fertilización o abono verde, es una práctica empleada para reducir la fertilización inorgánica y mejorar las características del suelo, uno de los sistemas utilizados consiste en el establecimiento de leguminosas perennes dentro de una plantación. Las ventajas de los abonos verdes desde el punto de vista agronómico son diversas y variadas, aportan nitrógeno a la palma de coco, elevan los contenidos de materia orgánica y protegen contra la erosión. El uso de especies como *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium*, *Clitoria ternatea*, *Mucuna pruriens* var. utilis, son buenas alternativas para usar como abono verde en regiones donde ocurren períodos secos ya que debido a su sistema radicular pivotante ejercen menor competencia con la palma de coco, además de producir alta biomasa (70 t/ha de material verde). Por otro lado, los sistemas de producción de cocotero se generan de manera permanente abundantes residuos orgánicos, los cuales, por lo general, continúan siendo desaprovechados, quemándose o quedando como basura. Pero en realidad, constituyen una fuente de materia orgánica que puede ser reciclada en la misma plantación, a través de cubierta muerta o acolchado y como composta. El uso de cubierta muerta en la agricultura es una práctica sencilla que consiste en cubrir el suelo con un material preferentemente orgánico, con la finalidad de protegerlo, que ofrece beneficios sobre la producción y productividad de los cultivos, principalmente cuando existe una baja disponibilidad de agua, incluso se reducen las prácticas agrícolas y, en consecuencia, los costos de producción (Flores *et al.*, 2012). Debido a lo anteriormente mencionado, el objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos del uso de abonos verdes y acolchado con residuos orgánicos de cocotero sobre los parámetros productivos del fruto seco de cocotero.

### Materiales y métodos

El presente estudio se llevó a cabo en dos plantaciones de cocotero adulto Malayo Enano Amarillo bajo condiciones de temporal, en un diseño tresbolillo 8 m, ubicadas en el Campo Experimental Chetumal, Quintana Roo. Los ensayos iniciaron en el 2018, para el caso de abonos verdes, en el ensayo se evaluaron ocho tratamientos: coco sin ninguna fertilización, como tratamiento testigo (T1); coco + fertilización química (N-P-K), recomendación actual del paquete tecnológico del INIFAP (T2); coco + fertilización química (P-K), recomendación parcial del paquete tecnológico (T3); coco + *Gliricidia sepium* (T4); coco + *Leucaena leucocephala* (T5), coco + *Canavalia ensiformis* (T6); coco + *Tithonia diversifolia* (T7) y coco + *Clitoria ternatea* (T8). Las leguminosas y la Asterácea fueron sembradas sobre la hilera de cocotero, se aplicaron como abono verde en el área de coronamiento o goteo de la palma de coco (alrededor de 30 kg/palma/70 días). El arreglo de la siembra fue de 8 plantas entre coco y coco, distribuidas en dos filas de cuatro plantas cada una, empezando a 2.5 m del tallo de la palma de coco, la distancia entre plantas fue de 1 m. El primer



corte se realizó a la floración, periodo en que se consideran ya establecidas, a una altura de 30 cm del suelo, los siguientes cortes fueron previa floración de cada abono. La unidad experimental estuvo constituida por una palma de coco, la distribución de los tratamientos se realizó mediante un diseño de bloques completamente al azar, con cinco repeticiones. En octubre de 2021 se realizó el muestreo de dos frutos secos de 12 meses de edad en las cuatro repeticiones de los ocho tratamientos. Se evaluaron las siguientes variables: número de frutos secos por racimo, promedio del peso del fruto seco, peso de pulpa seca, promedio de grosor de la pulpa y peso de la pulpa seca. Se realizó análisis de varianza para las variables estudiadas y prueba de Tukey para determinar la diferencia múltiple de medias ( $P < 0.05$ ). En el manejo de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS 9.3.

Para la evaluación de acolchados con residuos orgánicos de coco, se aplicaron cuatro tratamientos sobre las palmas de coco: T1) Sin cubierta ni fertilización, T2) Sin cubierta y fertilización química recomendada en el paquete tecnológico del Campo Experimental Chetumal, T3) Con acolchado o cobertura muerta a base de hojas de coco, T4) Con acolchado inicial a base de diversos residuos de cocotero (angeo, brácteas, inflorescencias, cáscaras, frutos abortados y hojas). Las hojas de coco y los otros residuos orgánicos se colocaron alrededor del área de coronamiento o goteo de la palma, aproximadamente en un radio de 2 m del tallo y cada tres meses se complementó el acolchado únicamente con hojas de coco secas. La unidad experimental fue de una palma de coco, la distribución de los tratamientos fue mediante un diseño de bloques completamente al azar, con ocho repeticiones. En septiembre de 2022, se realizó el muestreo de un fruto seco de 12 meses de edad en las ocho repeticiones de los cuatro tratamientos. Todos los frutos se pesaron, se midió el diámetro polar y ecuatorial, se midió el grosor del endospermo sólido (pulpa), se extrajo la pulpa y se pesó en fresco, se puso a secar en una estufa a 60 °C y luego se pesó en seco. Se realizaron análisis de varianza para las variables registradas. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Los experimentos de abonos verdes y uso de acolchados se analizaron en forma independiente.

## Resultados y discusión

### Abonos verdes

El Cuadro 1 muestra los resultados del análisis estadístico de las variables estudiadas, donde se verifica que hubo diferencia entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) para número de frutos por racimo (NFPR), peso del fruto seco (PFS), peso de pulpa fresca (PPF, grosor de la pulpa (GP), y peso de la pulpa seca (PPS).

Se observó un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) de T5, T7, T6 y T3 para NFPR con valores de 7.3, 6.2, 5.8 y 5.8, respectivamente, valores más bajos a los reportados por Carrillo y Cortazar (2001) al determinar el NFPR en la productividad del enano malayo amarillo. Los valores representados en el Cuadro 1 indican que hubo una variación en NFPR de 3 a 8, considerando todos los tratamientos, alcanzando una media de 6; valor considerado bajo cuando se compara con los resultados reportados por Miranda *et al.* (1999) quienes obtuvieron 11 frutos en la región litoral de Brasil. También se puede observar que T1 (5.3) fue mayor a T2 y T4, con valores de 4.8 y 3.4 NFPR, pero igual a T3 y T8 con 5.8 y 5.7, respectivamente. Esto pudo deberse a que no se alteró la estructura del suelo por algún tipo de manejo, donde generalmente se deposita material orgánico de la misma palma; ya que numerosos estudios muestran que diferentes manejos agrícolas modifican la biodiversidad y alteran la estructura de las comunidades microbiológicas del suelo, responsables de la incorporación de la biomasa al convertirla rápidamente, en sustrato y a que sufra un proceso de mineralización en el suelo y deje disponible los nutrientes para ser absorbidos por la planta de coco. Para la variable PFS se pudo observar diferencias entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) donde el valor más bajo fue para T4, siendo de 393 g. Para el resto de los tratamientos no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre ellos para esta variable. El peso del fruto seco alcanzó el punto máximo de respuesta con el T5 con un valor promedio de 739 g por fruto. El valor medio encontrado en este estudio fue de 656 g por fruto. Este valor está entre los observados por el SNICS (2014) para esta variedad con valores promedio entre 0.650 y 2.0 kg por fruto. Para la variable peso de pulpa fresca o endospermo sólido por fruto (PPF) no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos, donde el valor más bajo correspondió al T5 (232 g) y el valor más alto al T3 (285 g), este valor máximo de PPF fue debido probablemente a la dosis de fertilización recomendada para esta variedad en este tratamiento que es de 0.6 kg de N, 0.4 kg de P y 1 kg de K. También se observó que el valor medio de PPF fue del orden de 257 g, valores similares a los reportados por el SNICS (2014) de 252 y 299 g de pulpa fresca o endospermo sólido por fruto, respectivamente. No hubo efecto significativo ( $P \geq 0.05$ ) para la variable PPS o endospermo sólido seco,

con promedios de 151 g. Estos valores son similares a los reportados en los descriptores varietales para enano malayo por Carrillo y Cortazar (2001) quienes mencionan valores de PPS entre 120 y 179.9 g. Para GP tampoco se observó diferencia entre tratamientos ( $P \geq 0.05$ ) con un promedio de 1.3 mm.

**Cuadro 1.** Parámetros obtenidos en fruto seco de Palma de Coco, utilizando abonos verdes.

Tratamiento	NFPR	PFS (g)	PPF (g)	GP (mm)	PPS (g)
1	5.3±.8 <sup>ab</sup>	596±.20 <sup>b</sup>	275±.30 <sup>a</sup>	1.4±.4 <sup>a</sup>	145±.5 <sup>a</sup>
2	4.8±.4 <sup>ab</sup>	720±.21 <sup>b</sup>	250±.07 <sup>a</sup>	1.6±.6 <sup>a</sup>	133±.5 <sup>a</sup>
3	5.8±.1 <sup>ab</sup>	696±.07 <sup>b</sup>	285±.39 <sup>a</sup>	1.5±.8 <sup>a</sup>	151±.5 <sup>a</sup>
4	3.4±.3 <sup>a</sup>	393±.26 <sup>a</sup>	255±.07 <sup>a</sup>	1.2±.1 <sup>a</sup>	128±.2 <sup>a</sup>
5	7.3±.2 <sup>b</sup>	739±.18 <sup>b</sup>	232±.04 <sup>a</sup>	1.4±.9 <sup>a</sup>	169±.3 <sup>a</sup>
6	5.8±.8 <sup>ab</sup>	724±.11 <sup>b</sup>	247±.07 <sup>a</sup>	1.7±.4 <sup>a</sup>	178±.9 <sup>a</sup>
7	6.2±.6 <sup>ab</sup>	706±.15 <sup>b</sup>	283±.14 <sup>a</sup>	1.1±.8 <sup>a</sup>	141±.9 <sup>a</sup>
8	5.7±.6 <sup>ab</sup>	681±.16 <sup>b</sup>	235±.02 <sup>a</sup>	1.0±.4 <sup>a</sup>	166±.1 <sup>a</sup>

Literales diferentes entre columna son diferentes ( $P \leq 0.05$ ). NFPR: número de frutos por racimo de 12-13 meses, PFS: peso del fruto seco, PPF: peso de pulpa fresca, GP: grosor de la pulpa, PPS: peso de la pulpa seca.

#### Acolchado

Con respecto a los parámetros del fruto seco, solo se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en el diámetro ecuatorial, teniendo el mayor valor T3 (Cuadro 2). Para el resto de las variables en estudio no se observa diferencia entre tratamientos ( $P \geq 0.05$ ), sin embargo, se observa una ligera tendencia de tener los valores más altos en diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso del fruto en el T2, debido probablemente a una rápida disponibilidad de los nutrientes al aplicar fertilizante inorgánico, ya que los fertilizantes inorgánicos son más solubles y de fácil asimilación por las plantas. La ventaja de ello es que los nutrientes están rápidamente disponibles para las plantas, pero esto también supone una desventaja: cuando hay exceso de agua, parte de estos nutrientes se puede desaprovechar como consecuencia de la erosión o la lixiviación, y contaminar el suelo y el agua; a la vez que tienen efectos negativos al incrementar la degradación de los suelos, ya que impacta en los procesos de transformación química, física y biológica (Flores *et al.*, 2012). Por su parte, los fertilizantes orgánicos son menos solubles, por lo que los nutrientes quedan a disposición de la planta de manera gradual, algo que también se considera una ventaja por su **efecto duradero**. Para T3 y T4 se observan diferencias en los valores para todas las variables, siendo los valores más altos para T3, esto puede ser atribuido a que la descomposición de las hojas es más rápida en el T3 en comparación a T4 a base de diversos residuos de cocotero (anexo, brácteas, inflorescencias, cáscaras, frutos abortados y hojas), ya que el aporte de elementos fertilizantes dependen de la dinámica de los procesos de descomposición de los materiales orgánicos, su acción residual y de un conjunto de variables como la naturaleza de los productos, las características del suelo, las poblaciones y actividad de los organismos del suelo, y las características climáticas (Matheus *et al.*, 2007). En los T3 y T4, se notaron los mayores valores, en el grosor de la pulpa y en el peso de la pulpa seca, ambos parámetros influyen en la producción de aceite de coco, aunque cabe mencionar que en general los cultivares enanos son más utilizados para la producción de agua.

**Cuadro 2.** Comparación de medias de parámetros del fruto seco de coco en cuatro tratamientos aplicados a las palmas de coco.

Trat	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Peso del fruto (kg)	Peso pulpa fresca (g)	Grosor de pulpa (ml)	Peso pulpa seca (g)
T1	18.5 <sup>a</sup>	13.1 <sup>b</sup>	0.851 <sup>a</sup>	231.9 <sup>a</sup>	11.4 <sup>a</sup>	101.3 <sup>a</sup>
T2	19.3 <sup>a</sup>	14.1 <sup>a</sup>	0.937 <sup>a</sup>	270.6 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>	120.9 <sup>a</sup>
T3	18.7 <sup>a</sup>	14.2 <sup>a</sup>	0.858 <sup>a</sup>	280.3 <sup>a</sup>	12.4 <sup>a</sup>	123.4 <sup>a</sup>
T4	18.0 <sup>a</sup>	14.0 <sup>ab</sup>	0.858 <sup>a</sup>	253.8 <sup>a</sup>	11.9 <sup>a</sup>	121.8 <sup>a</sup>

Diferentes letras corresponden a las diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). T1: Palmas sin cubierta ni fertilización, T2: Palmas sin cubierta y fertilización química, T3: Palmas con acolchado a base de hojas de coco, T4: Palmas con acolchado inicial a base de diversos residuos de cocotero y completando solo con hojas secas de coco.

## Conclusiones

Los resultados permiten concluir que las leguminosas utilizadas como abono verde permiten obtener valores de producción mayores y/o iguales a los obtenidos con fertilización inorgánica. Y son una alternativa agroecológica en el sistema de producción de coco con características de sostenibilidad y conservación del medio ambiente.

El acolchado a base de residuos orgánicos de coco aplicado a palmas adultas que tuvieron antecedentes de abandono parcial ha tenido, aunque de manera paulatina, un beneficio sobre los parámetros de calidad del fruto seco de coco.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Los resultados se generaron en el proyecto “Diagnóstico de problemas nutricionales en cocotero (*Cocos nucifera* L.) y uso de prácticas agroecológicas como una alternativa de mejora de la fertilidad del suelo y nutrición de la planta”, con financiamiento INIFAP.

## Referencias bibliográficas

- Carrillo, R. H., Cortazar, R. M. (2001). Descriptores varietales de cocotero (*Cocos nucifera* L.) cultivar Malayo Enano Amarillo. Memorias de la Reunión Interamericana. *IX Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas*. Oaxtepec, Morelos. Página 117.
- Flores, A. J. de J., Vázquez, R. R., Solano, V.J.J., Virginio, A. F., Flores, F.I., Bahena, G. M. E., Oliver, G. R., Granjeno, C. A. E., Orihuela, T. A. (2012). Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 213-220.
- Matheus, J., Caracas, M., Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L.). *Agricultura Andina*, 13, 27-31.
- Miranda, F. R., Oliveira, V. H., Montenegro, A. A. T. (1999). Desenvolvimento e precocidade de produção do coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) sob diferentes frequências de irrigação. *Agrotropica*, 11(2), 71-76.
- SNICS. (2014). Guía técnica para la descripción varietal de cocotero (*Cocos nucifera* L.) Guía técnica. 37pag.

## ARREGLO TOPOLÓGICO PARA VARIEDADES MEJORADAS DE MAÍZ EN SUELOS MECANIZABLES DEL ESTADO DE YUCATÁN, MÉXICO

Alejandro de Jesús Cano-González<sup>1</sup>, Nelda Guadalupe Uzcanga-Pérez<sup>2\*</sup>, Jorge Humberto Ramírez-Silva<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>CIRSE INIFAP, <sup>2</sup>C.E. Mocochoá CIRSE INIFAP

\*Autor para correspondencia: [uzcanga.nelda@inifap.gob.mx](mailto:uzcanga.nelda@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Chichen Itzá, rendimiento, mecanización

### Introducción

A pesar que el maíz es un cultivo de importancia socioeconómica para la Península de Yucatán y representa cerca del 65% de la superficie sembrada con respecto a otros cereales (Loeza-Deloya *et al.*, 2016), la producción del sector agrícola a través del uso de semillas mejoradas no ha alcanzado su potencial, sobre todo; en la región sur del país, donde aún se utiliza grano de la cosecha anterior en sustitución de semillas para este fin. Asimismo, se ha comprobado que el uso de semilla mejorada incrementa los rendimientos, por ejemplo, de 1.2 t/ha a 4.3 t/ha media nacional de maíz (DOF, 2020).

El INIFAP ha liberado más de 221 híbridos y variedades mejoradas para su adaptación a las diferentes condiciones agroclimáticas (Espinosa *et al.*, 2002). Para la región de estudio, la variedad nativa mejorada con calidad proteínica denominada Chichén Itzá de grano color amarillo con rendimientos estimados para el sistema milpa de 2.5 t/ha (Lozano-contreras y Ramírez-Jaramillo, 2022). Sin embargo, aún no se cuenta con estimaciones de rendimiento para suelos mecanizables de tipo Luvisol o alto potencial (SAGARPA, 2015), sistema de importancia en la región ya que, 67.4% de los productores de maíz se ubican en estas condiciones (Uzcanga *et al.*, 2015).

### Objetivo

Identificar los arreglos topológicos que expresen mejores rendimientos para la variedad Chichen Itzá en dos ciclos productivos (riego y temporal) en suelos mecanizables.

### Materiales y métodos

Se establecieron parcelas experimentales de maíz variedad Chichén Itzá en el Sitio Experimental Uxmal, Muna Yucatán en dos ciclos: otoño invierno 2021-2022 con riego por goteo y primavera verano 2022 en condiciones de temporal. El manejo agronómico fue con base al paquete tecnológico del INIFAP (SAGARPA, 2015) El manejo agronómico fue con base al paquete tecnológico del INIFAP (SAGARPA, 2015) con las siguientes adecuaciones en las dosis de fertilización para riego: 160-250N-100P-00K-46S (Ramírez *et al.*, 2015). Los requerimientos nutrimentales se determinaron con base al análisis de suelo. La dosis total de nutrientes se distribuyó en dos aplicaciones: 100% del P a la siembra, utilizando Fosfato Di amónico (DAP) 18-46-00 y el resto del N mediante fertirrigación dosificado según las curvas de absorción. Para las dosis de fertilización en temporal se determinaron con base a análisis de suelo aplicando, el 100% de fosforo a la siembra y el nitrógeno en dos aplicaciones a los 40 y 60 días.

El modelo de análisis de varianza fue un diseño factorial o de dos factores. Para la base de datos otoño invierno 2021-2022, se plantearon los siguientes factores: 1) Manejo del cultivo con los siguientes categorías: CMCA=Con manejo del agua (neutralización de bicarbonatos) y con arado (vertical); CMSA= Con manejo del agua y sin arado, SMCA=Sin manejo del agua y con arado, SMSA=Sin manejo del agua y sin arado y 2) Arreglo topológico definido por el número de semillas por metro y ancho del surco en cm; con las siguientes categorías: 4.2 x 60, 5 x 60, 5.9 x 60, 6.1 x 60, 7.1 x 60, 5.1 x 75, 5.9 x 75, 6.1 x 75, 7.1 x 75, 8.4 x 75, 6.1 x 90, 7.1 x 90, 8.4 x 90, 8.7 x 90, 10.1 x 90 y 5.1 x 90 (testigo). Para la base de datos primavera verano 2022, se plantearon los siguientes factores: 1) manejo del cultivo con las siguientes categorías: SA=sin arado y CA=con arado y 2) Arreglo topológico con las 16 categorías definidas anteriormente.

Se estimó el modelo general de la técnica factorial y para precisar donde se encontraron las diferencias se utilizó la prueba post-hoc con el método Bonferroni para ajustar el nivel de significancia en relación con el número de pruebas estadísticas realizadas simultáneamente sobre el conjunto de datos. Los estadísticos se calcularon con el software Predictive Analytical Software and Solutions (PASS) versión 23.

### Resultados y discusión

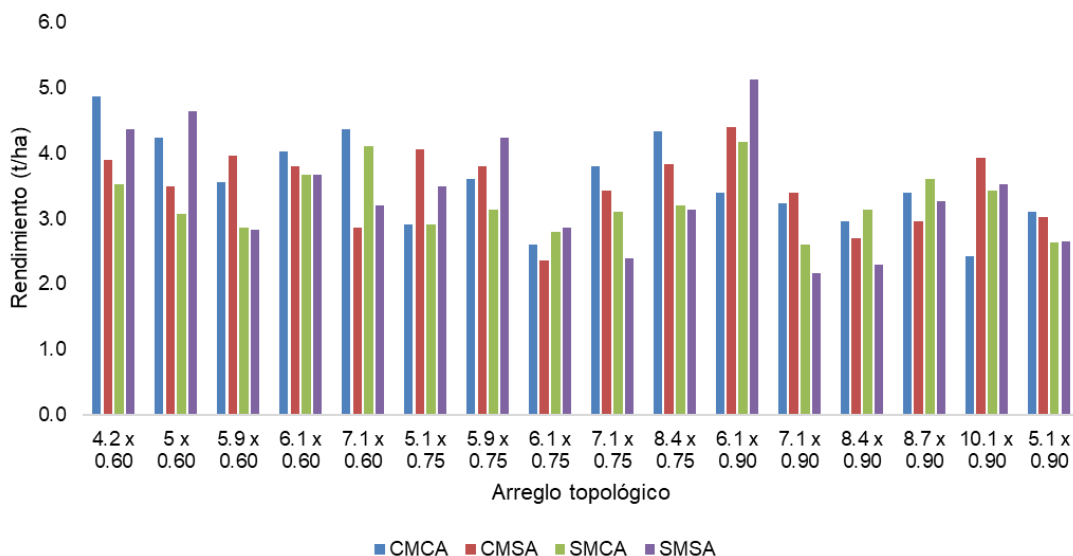
El ANOVA para dos factores con el 5% de significación indicó que el rendimiento medio del híbrido fue igual en los cuatro tipos de manejo. Sin embargo, para al menos un arreglo topológico el rendimiento promedio fue diferente. Con relación a la interacción entre los dos factores, manejo y arreglo topológico, no hubo efecto en el rendimiento de la variedad a un nivel de significancia de 0.05 (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Pruebas de efectos inter-sujetos del rendimiento de la variedad Chichen Itzá OI-2021-2022.

Origen	Tipo II de suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	78.994a	63	1.254	1.435	.046
Intersección	2178.483	1	2178.483	2492.940	.000
Manejo	2.439	3	.813	.930	.428
Arreglo Topológico	39.532	15	2.635	3.016	.000
Mabejo * Arreglo Topológico	37.023	45	.823	.941	.581
Error	104.863	120	.874		
Total	2362.341	184			
Total corregido	183.857	183			

a. R al cuadrado = .430 (R al cuadrado ajustada = .130)

Con las pruebas post hoc, para la comparación múltiple de medias se confirmó que no hubo diferencia significativa entre las medias del rendimiento para el manejo del cultivo, por el nivel crítico encontrado mayor de 0.05, estimado un rendimiento de 3.4 t/ha con un intervalo de confianza ( $3.3 \leq \bar{x} \leq 3.6$ )=0.95 (Figura 1).



**Figura 1.** Rendimiento de la variedad Chichén Itzá por arreglo topológico y manejo ciclo OI 2021-2022.



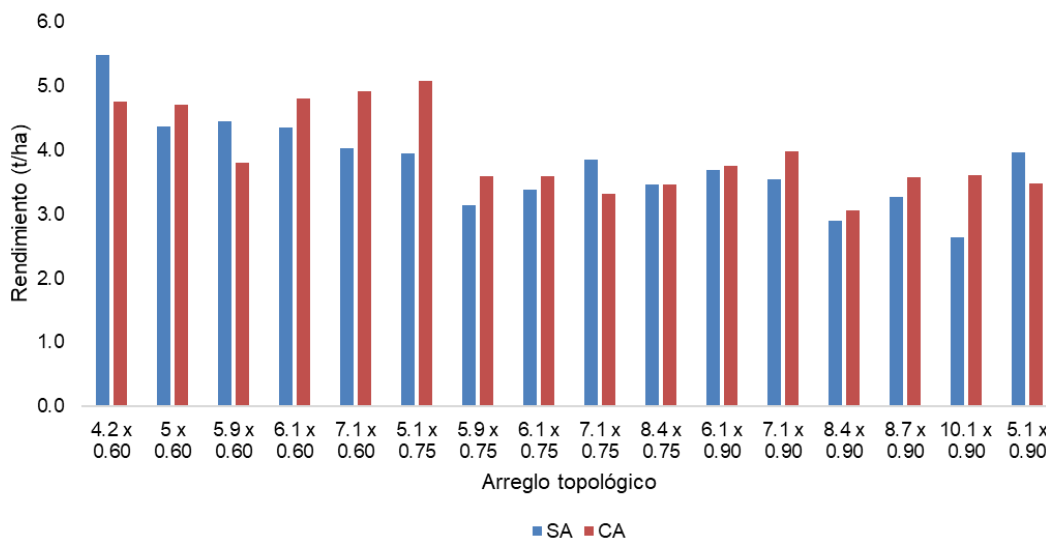
El análisis del ANOVA con el 5% de significación para el ciclo primavera verano 2022, indicó que el rendimiento medio de la variedad fue igual con y sin arado. Sin embargo, para el arreglo topológico el rendimiento promedio de la variedad fue diferente en al menos un arreglo topológico. Con respecto a la interacción con un nivel de significancia de 0.05, no hay efecto entre el arado y el arreglo topológico sobre el rendimiento de la variedad (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Pruebas de efectos inter-sujetos del rendimiento de la variedad Chichen Itzá PV-2022.

Origen	Tipo II de suma de gl	Media cuadrática	F	Sig.	
Modelo corregido	41.811 <sup>b</sup>	31	1.349	1.833	.019
Intersección	1495.137	1	1495.137	2031.565	.000
Arado	.661	1	.661	.898	.347
Arreglo topológico	33.593	15	2.240	3.043	.001
Arado * Arreglo topológico	7.557	15	.504	.685	.791
Error	50.045	68	.736		
Total	1586.993	100			
Total corregido	91.856	99			

b. R al cuadrado = .455 (R al cuadrado ajustada = .207)

Con las pruebas post hoc, para la comparación múltiple de medias se confirmó que no existen diferencias significativas en el rendimiento medio de la variedad 3.9 t/ha por el manejo, con un intervalo de confianza ( $3.7 \leq \bar{x} \leq 4.1$ )=0.95. Similarmente a lo obtenido en el ciclo otoño invierno, también en el ciclo primavera verano el nivel crítico para el arreglo topológico fue menor que 0.05 y por lo tanto en al menos un arreglo el rendimiento medio de la variedad es diferente (Figura 2).



**Figura 2.** Rendimiento de la variedad Chichén Itzá por arreglo topológico y manejo ciclo PV 2022.

Sin embargo, para el arreglo topológico el nivel crítico encontrado en las pruebas fue menor a 0.05 y, por lo tanto, existe diferencia en la media de rendimiento en al menos un arreglo topológico. A continuación, se presentan los arreglos que tuvieron diferencias significativas en toneladas por hectárea: Arreglo (4.2 x 0.60) con respecto al arreglo (6.1 x 0.75) con 1.508 t/ha, el arreglo (6.1 x 0.90) con respecto a los siguientes arreglos (6.1 x 0.75) con 1.617 t/ha, arreglo (7.1 x 0.90) con 1.425 t/ha y el arreglo (8.4 x 0.90) con 1.500 t/ha.

Se identificó que el arreglo (4.2 x 0.60) tiene una diferencia de medias significativa con respecto al arreglo (8.4 x 0.90) de 2.138 t/ha y al arreglo (10.1x0.90) de 1.985 t/ha.

### **Conclusiones**

El manejo del cultivo en ambos ciclos OI 2021-2022 y PV 2022 no tuvo impacto en el rendimiento. Sin embargo, el arreglo topológico 4.2 x 0.60 en ambos ciclos presentó una diferencia de medias significativa con respecto a los otros arreglos de por lo menos 1.508 t/ha.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen al INIFAP por el financiamiento del proyecto 11102035339 “Componentes tecnológicos para la producción sostenible de maíz en el estado de Yucatán”.

### **Referencias bibliográficas**

Diario Oficial de la Federación (2020). Programa Nacional de Semillas 2020-2024. Disponible en: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5608920&fecha=28/12/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5608920&fecha=28/12/2020#gsc.tab=0), consultado: 15/08/2023.

Espinosa, A., Sierra, M. y Gomez, N. (2002). Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*, 14 (1), 117-121.

Loeza-Deloya, V., Uzcanga-Pérez, N.G, Cano-González, A.J., Ramírez-Jaramillo, G., Ramírez-Silva, J.H. y Aguilar-Duarte, Y. (2016). Cadenas de importancia socioeconómica para el desarrollo agrícola e industrial de la Península Yucatán México. *Agroproductividad* 9(5), 3-8.

Lozano-Contreras, M.G. y Ramírez-Jaramillo, G. (2022). Comportamiento Agronómico de la Variedad Chichén Itzá: maíz de alta calidad proteica desarrollada en Yucatán. Desde el Herbario CICY14: 201–205 (22/septiembre/2022).

Ramírez, J.H., Tun, J., Cano, A. y Aguilar, Y. (2015). Heterogeneidad del nitrógeno, fosforo y potasio en luvisoles rodicos de la Península de Yucatán. En *Memorias XL Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo: San Luis Potosí, México*.

SAGARPA (2015). *Agenda Técnica Yucatán. Segunda Edición: México. Pág. 83.* [https://vun.inifap.gob.mx/VUN\\_MEDIA/BibliotecaWeb/\\_media/agendas/3109\\_4814\\_Agenda\\_Tecnol%c3%b3gica\\_Yucat%c3%a1n\\_2015.pdf](https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/agendas/3109_4814_Agenda_Tecnol%c3%b3gica_Yucat%c3%a1n_2015.pdf). Consultado 15(08/2023).

Uzcanga, N., Cano, A., Ramírez, J. y Tun, J. (2015). Características socioeconómicas y rentabilidad de los sistemas de producción de maíz bajo condiciones de temporal de la Península de Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 37, 173-183.

## DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE CONTROL DE LA TRISTEZA DEL AGUACATERO (*Phytophthora cinnamomi* Rands.) EN TETELA DEL VOLCÁN, MORELOS

Víctor Leonardo Olmedo-González <sup>1\*</sup>, Marcos Espadas-Reséndiz <sup>1</sup> y Jonathan Alfredo Fernández-Mendiola <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM

\*Autor para correspondencia: [leolmedog.vc97@gmail.com](mailto:leolmedog.vc97@gmail.com)

**Palabras clave.** Diagnóstico, *phytophthora*, aguacate

### Introducción

México tiene el primer lugar en la producción y exportación de aguacate (*Persea americana*), durante el año 202 la superficie sembrada por el cultivo fue de 241 mil hectáreas, para el año 2021 se generó un volumen de producción de 2.4 millones de toneladas. En los últimos 10 años existe una tendencia al alza en la producción, registrando una tasa anual de 7.4%. La producción nacional está liderada por el estado de Michoacán, seguido de Jalisco y el Estado de México. México se posiciona como líder en la producción con 32% del volumen mundial para el año 2021, teniendo como principal destino de exportación a Estados Unidos con un millón 45 mil toneladas, seguido de Canadá con 92 mil toneladas y en tercer lugar Japón con 71 mil toneladas (CITA DEL SIAP PANORAMA, Statisa) (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2021).

Uno de los principales problemas fitosanitarios es la Tristeza del aguacatero (TA), enfermedad ocasionada por el agente causal *Phytophthora cinnamomi*; uno de los patógenos de plantas más devastadores del mundo; infecta a cerca de 5000 especies de plantas, incluidas muchas de importancia en la agricultura, la silvicultura y la horticultura. (Hardham y Blackman, 2018)

Los síntomas foliares de la Tristeza del aguacatero se observan como hojas pequeñas, de color verde pálido o amarillentas. Las hojas a menudo se marchitan y tienen puntas marrones y necróticas. El follaje es escaso y el nuevo crecimiento es raro. Puede haber poca hojarasca debajo de los árboles infectados. Las ramas pequeñas mueren en la parte superior del árbol, exponiendo otras ramas y frutas a las quemaduras solares debido a la falta de sombra del follaje. La producción de frutos disminuye, pero los árboles enfermos frecuentemente dan una gran cosecha de frutos pequeños. Las raíces alimentadoras pequeñas y fibrosas son escasas en las etapas avanzadas de esta enfermedad. Cuando están presentes, las raíces pequeñas son negras, quebradizas y muertas por la infección. El follaje se marchita incluso cuando el suelo debajo de los árboles enfermos está húmedo. (Faber y Marais, 2016).

### Materiales y métodos

En febrero del 2022 se realizó la colecta de material vegetativo enfermo en un predio de aguacate con presencia de síntomas de la enfermedad, se tomaron muestras de raíz y suelo de 3 árboles de aguacate con síntomas característicos de la tristeza del aguacatero (*Phytophthora cinnamomi*) en Tetela del Volcán, Morelos. Se tomaron muestras de suelo a 40 cm de profundidad dentro de la zona radicular, así como trozos de raíces enfermas.

Las muestras fueron llevadas a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, donde se realizaron diferentes técnicas de aislamiento, para poder aislar e identificar al agente causal asociado a los síntomas de la enfermedad.

Se colocaron partes de raíz con síntomas de necrosis en cajas de petri con medio de cultivo Sabouraud-Dextrosa-Agar (SDA). Después de 6 días de crecimiento se observó el crecimiento arrosado típico de *Phytophthora cinnamomi* Rands (Figura 1).



**Figura 1.** Crecimiento de *Phytophthora cinnamomi* Rands con 2 días de crecimiento (izquierda)  
*Phytophthora cinnamomi* Rands con 2 días de crecimiento (derecha).

El crecimiento de micelio y oogonios en medio SDA de las partes vegetales se transfirieron a un medio Agar Harina de Maíz, ya que es selectivo para *Phytophthora cinnamomi* Rands de acuerdo con lo reportado por (Ceja Torres *et al.*, 2000). En medio de cultivo Agar Harina de Maíz se observó el crecimiento arrosetado típico de las colonias de las especies del género *Phytophthora* y se observó abundante micelio por lo que se procedió a utilizar medio V8-agar, medio selectivo para *Phytophthora* (Hernández Pérez *et al.*, 2019) con el cual si se pudieron observar oogonios y esporangios. Posteriormente se elaboraron microcultivos de 72, 168 y 264 horas para realizar las mediciones de las estructuras sexuales (Figura 3).

Para la prueba de patogenicidad se inocularon 8 plantas con 1 año de edad, provenientes del municipio de Uruapan Michoacán, se inocularon con *Phytophthora cinnamomi* Rands de tres medios diferentes SDA, PDA, V8 (Figura 6) utilizando 2 discos de 1.5 cm de diámetro por planta. Se realizaron heridas en la base del tallo para posteriormente colocar los discos con inóculo. Una vez inoculadas se cubrieron con bolsas de plástico hasta el tallo, dejando la parte foliar libre, esto para aumentar la humedad relativa. (Ceja Torres *et al.*, 2000).



**Figura 2.** Inoculación de plantas de aguacate

La humedad relativa que se registró durante un mes fue de 21% a 99%, la temperatura máx. de 40.6 °C y mínima 12.3 °C, lo anterior tomado con higrómetros digitales que fueron colocados aleatoriamente en las plantas dentro de las bolsas.

### **Resultados y discusión**

Por medio de preparaciones permanentes obtenidas a partir de microcultivos se identificó morfométricamente la especie aislada, se midieron los esporangios y oogonios utilizando un microscopio

óptico Leica DM500, junto con el programa LAS EZ® (Cuadro 1); se tomaron medidas del esporangio y oogonio en cepas con 11 días de crecimiento una vez que las estructuras se vieran totalmente maduras, las medidas del esporangio fueron de 12.44x18.79µ y del oogonio de 24.8µ; mientras que Ceja *et al.*, 2000 reporta esporangios de 20-37µ x 12-20µ en extracto de suelo. Por otro lado, Almaraz *et al.*, 2013 obtuvo a partir de muestras de Guereo esporangios de 48.24 x 31.47 µm; muestras aisladas de Colima y Jalisco midieron de 50.10 x 31.61 µm. Las variaciones en las medias pueden deberse debido a que existen factores que afectan la producción y el desarrollo de los esporangios como son la humedad, la tensión de oxígeno, la luz, temperatura y nutrición (Flores, 2015).

**Cuadro 1.** Medidas de esporangios y oogonios

Promedio	V8 72 horas Esporangio		V8 72 horas Oogonio		V8 168 horas Esporangio		V8 168 horas Oogonio		V8 264 horas Esporangio		V8 264 horas Oogonio	
	Ancho	Largo	Diámetro		Ancho	Largo	Diámetro		Ancho	Largo	Diámetro	
	9.65	13.97	10.66		11.43	17.49	20.06		12.44	18.79	24.89	

*Phytophthora cinnamomi* Rands tiene esporangios no papilados, sin pedúnculo con esporangios proliferantes de liminoformes a elipsoidales, esporangióforo no ramificado, con hifas hinchadas, con una estrategia reproductiva heterotálica, muro oogonial liso, acceso anteridial anfigino, espacio entre la oospora y la pared oogonial plerótica, desarrollo con una temperatura óptima de crecimiento de 27±2°C bajo condiciones de laboratorio, lo cual coincide con lo reportado por Martin *et al.* 2012.7. En cuanto a la prueba de patogenicidad los árboles inoculados presentaron marchitamiento en las hojas (Figura 3) y la raíz respecto a la planta testigo, presento en abundancia partes necróticas y brotes nuevos de crecimiento radicular que coincide con lo reportado por (Ceja Torres *et al.*, 2000). Después de 30 días, se aisló nuevamente *Phytophthora cinnamomi* a partir de raíz de las plantas inoculadas con los 3 diferentes medios; haciendo un lavado previo con hipoclorito de sodio al 5% durante 30 segundos a cada tejido, después un enjuague de agua destilada estéril y por último un secado con papel estéril, las partes vegetales se colocaron en medio de cultivo V8, y a los 3 días se observó crecimiento de micelio y al verlas bajo microscopio en preparaciones temporales se pudo observar la presencia de *Phytophthora cinnamomi* y *Fusarium sp.* (Figura 4).



**Figura 3.** Plántula de aguacate defoliada.



**Figura 4.** *Phytophthora cinnamomi* Rands y *Fusarium sp.*

Leal *et al.*, 2014 sugiere que al utilizar Mancozeb, Metalaxil, Fosfito de potasio, *Trichoderma harzaianum* y cobertura orgánica a base de bagazo de caña con alto contenido de celulosa y suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica, disminuye significativamente la enfermedad.

Se han tenido buenos resultados con controladores biológicos de pruebas de antagonismo *Trichoderma sp.*, como lo reporta Almaraz *et al.*, 2012, donde *Trichoderma sp* de reduce el crecimiento y desarrollo de *P. cinnamomi* Rands por mecanismos de competencia, en algunos casos debido a micoparasitismo, por lo



que se considera un buen antagonista como controlador biológico, al igual que las especies de *Cordyceps basiana* y *Paecilomyces* ejercieron también un buen biocontrol.

En el caso de Cibrián, 2009 descubrió que para disminuir la presencia del patógeno en árboles de navidad recomienda buen drenaje en los terrenos impidiendo el encharcamiento de agua por tiempos prolongados, asegurar que la planta no esté infectada en el vivero de donde provenga, antes de plantar realizar un riego pesado de *Trichoderma sp* con aspersiones sobre el sustrato de una mezcla que contenga 3 g de esporas por litro de agua, en plantaciones afectadas se sugiere la remoción de todos los árboles con síntomas, así como la inspección continua de plantas enfermas durante la lluvias, por último menciona el uso de fungicida con base en metalix, ya que este producto tiene poco impacto sobre el hongo antagonista.

Por último, Lara *et al.*, 2011, reporta diferente grado de control de *Phytophthora cinnamomi* Rands con el uso de Ridomil Gold 4E y diferentes cepas de *Trichoderma sp*.

## Conclusiones

El agente causal asociado a la tristeza del aguacatero en predios con cultivo es *Phytophthora cinnamomi* Rands.

A partir del conocimiento sólido del agente causal a través de un diagnóstico fitopatológico, permite poder realizar una propuesta de control integral para disminuir el daño ocasionado por el fitopatógeno.

## Agradecimientos

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y al laboratorio de Fitopatología de la carrera de Ingeniería Agrícola por la gran oportunidad que me brido al ingresar a sus aulas.

## Referencias bibliográficas

- Almaraz, A., Alvarado, D., & de Saavedra, L. L. (2013). Trampeo de *Phytophthora cinnamomi* en bosque de encino con dos especies ornamentales e inducción de su esporulación. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 19(1), 5–12. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.062>
- Almaraz, A., Alvarado, D., Tlapal, B., & Espinoza, D. (2012). Identificación de hongos antagonistas a *phytophthora cinnamomi* rands en bosques de encino del arrayanal, Colima y Tecoaapa, Guerrero. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 341–355. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.09.061>
- Ceja, L. F., Téliz, D., Osada, S., & Morales, J. L. (2000). Etiología, Distribución e Incidencia del Cancro del Aguacate *Persea americana* Mill. en Cuatro Municipios del Estado de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 18(2), 79–86. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61218202>
- Cibrián, D. (2009). Manual para la identificación de plagas y enfermedades en plantaciones de árboles de navidad. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?articulo=6537&grupo=43>
- Faber B, & Marais J.A. (2016, septiembre). UCIPM Pest management guidelines: Avocado diseases. <https://www2.ipm.ucanr.edu/agriculture/avocado/phytophthora-root-rot/>
- Flores, C. U. (2015). Evaluación de la Tasa de Crecimiento de *Phytophthora cinnamomi* Rands en Medios Alternativos [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <https://1library.co/document/zw5ojd7z-evaluacion-tasa-crecimiento-phytophthora-cinnamomi-rands-medios-alternativos.html>
- Hardham, A. R., & Blackman, L. M. (2018). Pathogen profile update *Phytophthora cinnamomi*. *Molecular Plant Pathology*, 19(2), 260–285. <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/mpp.12568>
- Hernández, A., Ochoa, Y. M., Cerna, E., Delgado, J. C., Beltrán, M., Hernández, O., & Tapia, L. M. (2019). Dinámica del crecimiento in vitro de *Phytophthora cinnamomi* en medios de cultivo alternativos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23.
- Lara, M., Guerrero, J. A., Barriga, F. S., Ávila, T. C., Aguirre, S., & Coria, V. M. (2011). Recuperación de árboles de aguacate infectados con *Phytophthora cinnamomi* Rands bajo control biológico y químico. [chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.avocadosource.com/WAC7/Section\\_01/LaraChavezBN2011.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.avocadosource.com/WAC7/Section_01/LaraChavezBN2011.pdf)

Leal, J. M., Castaño, J., & Bolaños, Martha. M. (2014). Manejo de la pudrición radical (*Phytophthora cinnamomi* RANDES). U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 17(1), 105–114. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-42262014000100012&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262014000100012&lng=en&tlng=es)

Martin, F. N., Abad, Z. G., Balci, Y., & Ivors, K. (2012). Identification and detection of phytophthora: Reviewing our progress, identifying our needs. *Plant Disease*, 96(8), 1080–1103. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-11-1036-FE>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Panorama Agroalimentario. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.

## VARIACIÓN EN LA LABILIDAD DEL CARBONO ORGÁNICO POR LA RESTAURACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN BOSQUES TEMPLADOS DEL NORTE DE MÉXICO

Erika Nava-Reyna<sup>1\*</sup>, Erickson Basave-Villalobos<sup>2</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup>, Vicenta Constante-García<sup>1</sup>, José Alberto Urrieta-Velázquez<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA, <sup>2</sup>INIFAP, CIRNOC - Campo Experimental.

\*Autor para correspondencia: [nava.erika@inifap.gob.mx](mailto:nava.erika@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Sierra de Zapalinamé, captura de carbono, reforestación.

### Introducción

El uso de suelo es uno de los principales factores que determinan la cinética de los almacenes de carbono, ya que influencia el balance entre la entrada y salida de la materia orgánica del suelo, a través de su impacto en la composición de la comunidad vegetal y las prácticas de manejo del suelo. Más aún, la deforestación y la agricultura son los usos de suelo que más han contribuido históricamente a la pérdida de carbono en suelos (Hu *et al.*, 2021). No obstante, la conversión de suelos agrícolas a forestales puede incrementar el almacén de carbono orgánico del suelo (COS) a una tasa promedio de 36.67 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> en los primeros 20 cm de suelo (Li *et al.*, 2022), siendo una de las estrategias más eficientes para promover el almacén de C en los ecosistemas terrestres, evitando la erosión del suelo y favoreciendo su calidad. De igual forma, el tipo de vegetación afecta el almacenamiento de COS.

Por otro lado, el COS se puede dividir en dos fracciones: un almacén de carbono lábil (CL), con un tiempo corto de retorno al estar compuesta por azúcares solubles, almidón y otros carbohidratos fácilmente oxidables, y otro de carbono no lábil (CNL) con un gran tiempo de retorno, por lo que la cantidad relativa de ambas fracciones determina la longevidad del secuestro de carbono. En este sentido, la fracción de CL influencia la productividad y calidad del suelo, ya que contiene la energía y los nutrientes claves para el crecimiento vegetal como nitrógeno y fósforo, por lo que es un indicador rápido de la dinámica del COS después de un cambio de uso de suelo.

Así, aunque el efecto del cambio de uso de suelo en el almacén total del COS ha sido ampliamente estudiado, el impacto en las fracciones de COS de diferente estabilidad ha sido poco estudiadas. Igualmente, existe un déficit de la magnitud y distribución de las fracciones de COS por diferentes tipos de vegetación.

### Objetivo

La presente investigación tuvo como objetivo determinar variaciones en el contenido de carbono lábil en suelos degradados bajo prácticas de restauración ecosistémica en bosques de *Pinus cembroides* en la Sierra de Zapalinamé en Coahuila, México.

### Materiales y métodos

Descripción del sitio de estudio y toma de muestra. El estudio se llevó a cabo en el ejido Chapultepec de Arteaga, Coahuila, situado a 22.4 km de la cabecera municipal y que queda dentro de la Sierra de Zapalinamé, que forma parte de la Sierra Madre Oriental, en la región hidrológica Bravo - Conchos No. 24, en la cuenca Río Bravo - San Juan (B). La región presenta un clima frío semiárido y una precipitación total anual de 400 mm. En esta zona se seleccionaron tres sitios que presenten tres condiciones de interés para el propósito del estudio: la primera, es la condición de referencia, que son ecosistemas sin disturbios aparentes y que mantienen un adecuado grado de funcionalidad; la segunda, es la condición de degradación; la tercera condición consiste en sitios con prácticas previas de restauración. Los tres sitios comparten condiciones edafoclimáticas similares. Los bosques en la región son de *P. cembroides*, pertenece al grupo de pinos "piñoneros", los cuales fueron talados desde hace casi 100 años para aprovechar la madera y utilizar las áreas en actividades agropecuarias (en la zona degradada y la restaurada).

Una vez establecidas las parcelas permanentes de muestreo, se tomaron aleatoriamente al azar 5 submuestras de suelo en cada zona de estudio (Cuadro 1), a una profundidad de 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm, para hacer una muestra compuesta de cada profundidad por tratamiento. Las muestras fueron secadas al aire y posteriormente tamizadas por 0.5 mm para el análisis.

**Cuadro 1.** Descripción de las zonas de estudio.

Clave	Descripción	Coordenadas
Rest	Área restaurada por exclusión y reforestación de <i>P. cembroides</i> y crecimiento de pastos nativos desde 2017	25.23786 N, 100.83291 O
Con	Área forestal protegida sin disturbios aparentes	25.24123 N, 100.85435 O
Deg	Zona deforestada para producción agrícola, en reposo para el siguiente ciclo agrícola	25.23746 N, 100.82677 O

Carbono oxidable por permanganato de potasio. El cambio en la concentración de  $\text{KMnO}_4$  0.333 M, determinado por absorbancia en el espectrofotómetro a 565 nm, es usado para la estimación del carbono oxidado, asumiendo que cada 1 mM de  $\text{MnO}_4^-$  es consumido hasta oxidación por 9 mg de C. El resultado fue expresando en g C  $\text{kg}^{-1}$  de suelo, obteniendo así el carbono lábil (CL) oxidado por la concentración de 0.333M de  $\text{KMnO}_4$  (Blair *et al.*, 1995). Lo anterior mencionado, se expresa con la siguiente fórmula:

$$X = \frac{Y \text{ mM MnO}_4^- \times 9 \text{ mgC}}{1 \text{ mM MnO}_4^-}$$

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron analizados empleando el programa IBM SPSS Statistics. Inicialmente se evaluó la normalidad de cada base de datos utilizando la prueba de Shapiro-Wilk al 95% de confianza y la homogeneidad de varianza. Posteriormente, los datos que no fueron normales se transformaron y se analizaron con un ANOVA de una vía al 95% de confianza.

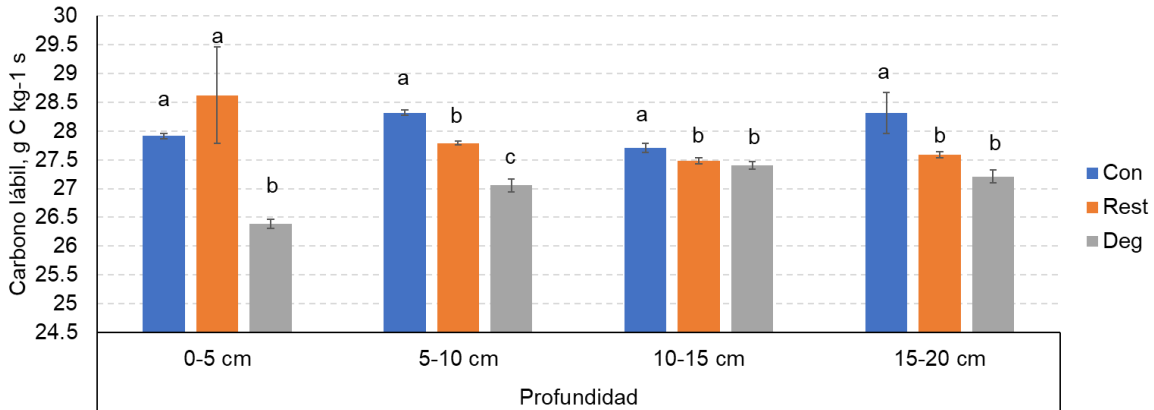
## Resultados y discusión

De manera general, la cantidad de carbono lábil no fue afectada significativamente por la profundidad ( $F=1.197$ ,  $p=0.325$ ), pero si por el sitio de estudio ( $F=64.271$ ,  $p=0.000$ ) y la interacción entre ambos factores ( $F=13.898$ ,  $p=0.000$ ) (Figura 1), donde los suelos del bosque conservado y la zona restaurada fueron los que mayor contenido de C lábil presentaron, en relación con la zona degradada. De acuerdo con de Araújo Filho *et al.* (2017), la mayor concentración de CL en el suelo se encuentra en la capa superficial (0-10 cm), disminuyendo con la profundidad, independientemente del uso de suelo, y se espera que disminuya en áreas que han tenido un manejo de vegetación reciente, como en el área degradada de esta investigación. Más aún, de acuerdo con Wu *et al.* (2022), el carbono oxidable por permanganato es uno de los principales índices y fracciones de C para evaluar el efecto de diferentes manejos de suelo, coberturas y tipos de vegetación, ya que se observó una relación positiva entre el COS y el CL durante la restauración de la vegetación, ya que esta fracción de C es más sensible a la presencia de lignina y compuestos similares y, consecuentemente, al tipo de vegetación, lo cual pudo observarse también en las tres áreas evaluadas en la Sierra de Zapalinamé.

Asimismo, el uso de suelo influyó significativamente en el contenido de carbono lábil en todas las profundidades muestreadas (0-5 cm:  $F=20.941$ ,  $p=0.001$ ; 5-10 cm:  $F=286.184$ ,  $p=0.000$ ; 10-15 cm:  $F=21.918$ ,  $p=0.000$ ; 15-20 cm:  $F=26.738$ ,  $p=0.000$ ), donde los suelos de zonas conservadas fueron siempre los de mayor contenido de CL. No obstante, podemos observar que el nivel de CL en suelos restaurados en la superficie presentó una concentración similar a la zona conservada, lo que indica la influencia de las prácticas de restauración en la dinámica del COS.

Evaluar las reservas de carbono en los ecosistemas en distintos regímenes de perturbación permite comprender su respuesta a actividades antropogénicas y fenómenos naturales bajo diferentes prácticas de manejo (He *et al.*, 2008), así como a valorar el potencial de secuestro de C en el ecosistema, una estrategia

clave para mitigar el calentamiento global. En este sentido, es crucial generar bases de datos sobre el C en suelos de diferentes ecosistemas y manejos, así como su estudio a través del tiempo. Asimismo, el mantenimiento de la fracción de CL dentro de los almacenes de C en el suelo, es primordial para conservar la calidad del suelo y la sustentabilidad de los ecosistemas forestales de zonas áridas y semiáridas (de Araujo Filho *et al.*, 2017).



**Figura 1.** Fracciones de carbono lábil en suelos de bosques conservado (Con), degradado (Deg), restaurado (Res) y uno forestal de referencia (For) en la Sierra de Zapalinamé en el Norte de México. Las barras seguidas por la misma letra para una fracción dada no son diferentes significativamente ( $P < 0.05$ ).

## Conclusiones

La reforestación con *Pinus cembroides* y el crecimiento de pastos nativos, aunado a la exclusión del área en restauración, permitió la acumulación de la fracción lábil de carbono orgánico del suelo, demostrando el efecto positivo del manejo para la recuperación del ecosistema a niveles cercanos a áreas no perturbadas, al menos en el suelo superficial. Asimismo, el carbono lábil puede emplearse como un excelente indicador de la recuperación, calidad y sustentabilidad de los ecosistemas forestales de la región.

## Referencias bibliográficas

- Hu, X., Næss, J. S., Jordan, C. M., Huang, B., Zhao, W., & Cherubini, F. (2021). Recent global land cover dynamics and implications for soil erosion and carbon losses from deforestation. *Anthropocene*, *34*, 100291.
- Li, H., Wu, Y., Liu, S., Zhao, W., Xiao, J., Winowiecki, L. A., Vagen, T.G., Xu, J, Yin, X., Wang, F., Sivakumar, B., Cao, Y., Sun, P., & Zhang, G. (2022). The Grain-for-Green project offsets warming-induced soil organic carbon loss and increases soil carbon stock in Chinese Loess Plateau. *Science of The Total Environment*, *837*, 155469.
- de Araujo Filho, R. N., dos Santos Freire, M. B. G., Wilcox, B. P., West, J. B., Freire, F. J., & Marques, F. A. (2018). Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. *Forest Ecology and Management*, *407*, 210-220.
- Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian journal of agricultural research*, *46*(7), 1459-1466.
- Wu, X., Fu, D., Duan, C., Huang, G., & Shang, H. (2022). Distributions and influencing factors of soil organic carbon fractions under different vegetation restoration conditions in a subtropical mountainous area, SW China. *Forests*, *13*(4), 629.



## IDENTIFICACIÓN DE POTENCIALES PATÓGENOS FÚNGICOS DEL TRIGO EN EL VALLE DEL YAQUI

Ixchel Campos-Avelar<sup>1</sup>, América Alejandra González -Méndez<sup>1</sup>, Rosario Horaldo-Baez- Ruiz<sup>1</sup>, Fannie Parra-Cota<sup>2</sup>, Sergio de los Santos-Villalobos<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora, <sup>2</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug- INIFAP.

\*Autor para correspondencia: sergio.delossantos@itson.edu.mx

**Palabras clave.** Inoculantes microbianos, patógenos fúngicos, cambio climático.

### Introducción

El Valle del Yaqui, en Sonora, es la principal región productora de trigo en la República Mexicana. La alta productividad que lo caracteriza ha sido posible mediante el uso de técnicas agrícolas intensivas durante varias décadas. Sin embargo, dichas técnicas han provocado la degradación de los suelos agrícolas y la pérdida de su agrobiodiversidad. Como consecuencia, actualmente se requiere aplicar mayores cantidades de agroquímicos para mantener los rendimientos, de los cuales sólo un porcentaje es realmente aprovechado por la planta, mientras que el resto se dispersa durante el riego, contaminando el suelo y agua. Frente a esta problemática, es indispensable desarrollar estrategias que permitan el uso optimizado de agroquímicos, así como su progresivo reemplazo por alternativas sostenibles. Los inoculantes microbianos representan una alternativa prometedora para el manejo de cultivos de cereales debido a los efectos benéficos que confieren. Dichos beneficios van desde la promoción del crecimiento vegetal mediante biofertilizantes, hasta la protección contra patógenos brindada por los biopesticidas. Actualmente, existen diversos inoculantes microbianos en desarrollo en la región, algunos de los cuales han demostrado alta efectividad para aumentar el rendimiento de trigo en campos experimentales, lo que permitió la disminución del fertilizante químico empleado en casi 50% (Ibarra-Villarreal *et al.*, 2023). De igual forma, se ha comprobado, mediante pruebas experimentales *in vitro*, la eficacia de diversos microorganismos benéficos para inhibir el desarrollo de patógenos fúngicos de importancia en el cultivo de trigo, tales como *Bipolaris sorokiniana* y *Fusarium* sp., cuya aplicación en campo podría reducir la incidencia de las enfermedades que causan, siendo en este caso la mancha borrosa y la fusariosis, respectivamente (Villa-ET microbianos los sitúan como una herramienta indispensable para favorecer la transición hacia una agricultura sostenible, menos dependiente de productos químicos. Sin embargo, es indispensable determinar la eficacia de dichas biotecnologías ante condiciones edafoclimáticas futuras, ligadas al cambio climático. En este sentido, con el avance del calentamiento global, aumentará el impacto de factores de estrés para los cultivos, provenientes tanto de origen biótico como abiótico. Por ejemplo, se pronostica un aumento en los periodos de sequía y en la incidencia de patógenos fúngicos debido a las altas temperaturas. Así pues, durante el desarrollo de inoculantes microbianos, se debe tomar en cuenta no sólo su eficacia actual, sino también su versatilidad y resiliencia ante los cambios que se avecinan.

Durante el presente trabajo se realizó la toma de muestra foliar en el Valle del Yaqui, a partir de cultivos de trigo exhibiendo lesiones provocadas por patógenos fúngicos. Dichas muestras permitieron el aislamiento de diversas cepas, las cuales fueron caracterizadas morfológicamente y mediante observación microscópica de esporas y cuerpos fructíferos. Posteriormente, se realizó la identificación molecular de una selección de hongos presentando características morfológicas distintas, por medio de la secuenciación del gen ITS.

### Objetivo

Aislar e identificar cepas fúngicas asociadas al cultivo de trigo presentes en el Valle del Yaqui.

### Materiales y métodos

Aislamiento de cepas únicas

Toma de muestras de plantas con lesiones características de enfermedades fúngicas. La hoja fue cortada de forma transversal sobre la lesión para obtener dos segmentos. Un segmento fue colocado directamente

en una caja con medio PDA (Potato Dextrose Agar), mientras que el otro fue desinfectado de la siguiente manera: etanol al 70% por 2 minutos, hipoclorito de sodio al 0.4% por 2 minutos y dos enjuagues con agua estéril antes de colocar el fragmento en PDA. Ambas muestras fueron cultivadas a 25°C con una humedad relativa del 80% y fotoperiodos de 12 horas de luz y 12 de oscuridad. El procedimiento descrito se realizó con cada una de las muestras foliares obtenidas. Se realizaron observaciones cotidianas de las cajas y se tomaron muestras de cada colonia fúngica proveniente del fragmento foliar, las cuales se sembraron en nuevas cajas con PDA hasta obtener colonias aisladas con características morfológicas diferentes.

#### Caracterización morfológica y microscópica de cepas fúngicas

El aislamiento descrito previamente permitió la obtención de 43 aislados fúngicos, los cuales fueron sembrados en 3 medios de cultivos diferentes para su caracterización morfológica: PDA, CYA (30 g/L sacarosa, 1g/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.5 g/L MgSO<sub>4</sub>, 0.5 g/L KCl, 0.01 g/L FeSO<sub>4</sub>, 5 g/L extracto de levadura, 15 g/L agar) y MEA (20 g/L extracto de malta, 20 g/L glucosa, 1 g/L peptona, 20 g/L agar). Las descripciones morfológicas incluyeron principalmente el color, textura y elevación. De igual forma, se hicieron observaciones microscópicas para determinar la forma de las esporas y de los cuerpos fructíferos. Las descripciones realizadas fueron comparadas con la literatura existente para obtener una identificación preliminar de los géneros fúngicos aislados.

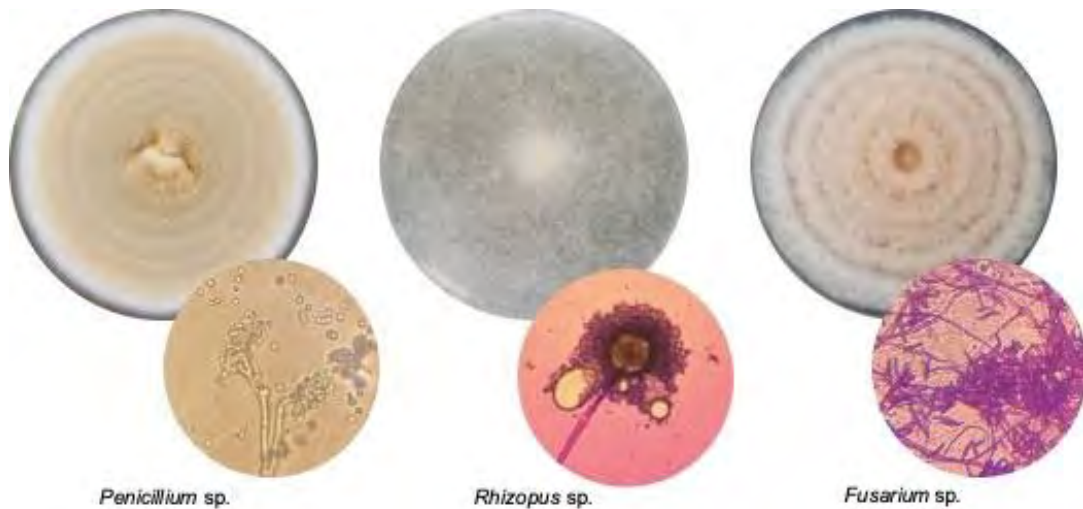
#### Caracterización molecular de cepas fúngicas

Una vez obtenidos cultivos puros de todas las cepas fúngicas aisladas, se procedió a generar biomasa para la extracción del ADN. Para esto, se tomó una muestra de micelio con ayuda de un asa estéril y se inoculó en 5 mL de medio GYP (glucosa 20g/L, extracto de levadura 10 g/L, peptona 10g/L) por 3 días a 28°C. La extracción de ADN se efectuó siguiendo el protocolo de Broda y Reader con ligeras modificaciones. Brevemente, la biomasa obtenida se colocó en un tubo Eppendorf de 2 mL al que se agregaron 500 µL de buffer de lisis (Tris-HCl (pH 8.5), 220 mM; NaCl, 250 mM; EDTA, 25 mM; SDS, 0.5%), vortexando a máxima velocidad por 30 s. Después, se agregaron 350 µL de fenol, vortexando a máxima velocidad por 30 s, seguido de 350 µL de cloroformo y vórtex a máxima velocidad por 30 s. Se centrifugó a 13,000 rpm por 30 min y posteriormente se transfirió la fase acuosa a un tubo limpio, agregando un volumen equivalente de cloroformo y vortexando a máxima velocidad por 30 s. Se recuperó nuevamente la fase acuosa en un tubo limpio y se agregaron 0.6 volúmenes de isopropanol para después homogenizar 10 veces por inversión y centrifugar a 13,000 rpm por 5 min. Se descartó el sobrenadante y se agregaron 500 µL de etanol al 70%, se despegó el pellet por reflujo con la micropipeta y se centrifugó a 13,000 rpm por 2 min, este paso se repitió una vez más. Una vez descartado nuevamente el sobrenadante, se dejó secar el pellet y, una vez seco, se agregaron 40 µL de agua MiliQ. Una vez resuspendido el ADN, se verificó la calidad del mismo mediante un gel de electroforesis, para posteriormente cuantificarse con ayuda de un NanoDrop (Thermo Scientific, Waltham MA). Se realizaron diluciones a 30 ng/µL para llevar a cabo la amplificación del gen ITS usando los primers ITS1 (TCCGTAGGTGAACCTTGCG) e ITS4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) para cada una de las cepas fúngicas, de acuerdo al siguiente programa de PCR: desnaturalización a 94°C por 3 min, 30 ciclos a 94°C por 30 s, 57°C por 40 s y 72°C por 40 s, finalizando con una extensión a 72°C por 10 min. Los amplicones obtenidos fueron secuenciados por método Sanger. Las secuencias resultantes se compararon con la base de datos de NCBI mediante la herramienta BLASTn para obtener la identificación a nivel de género y especie.

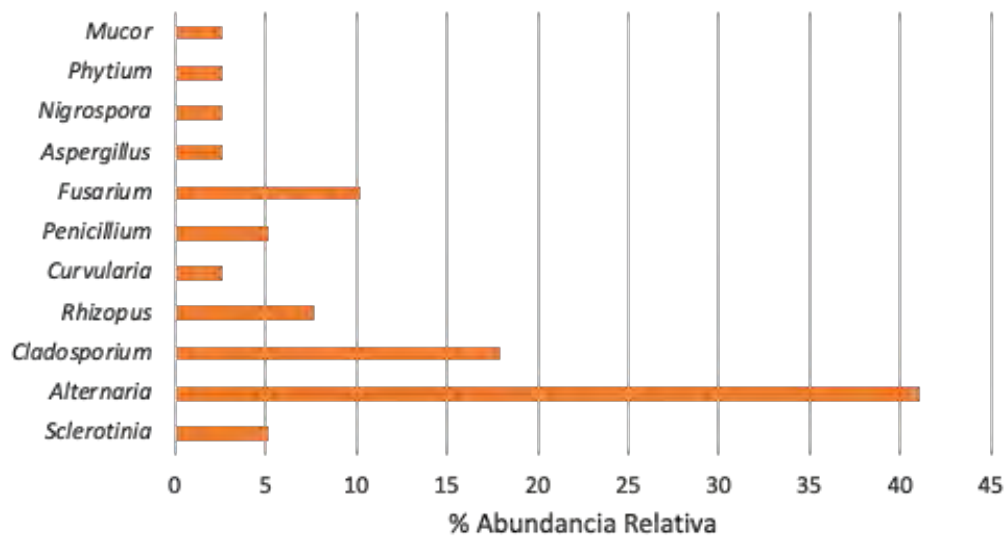
### Resultados y discusión

#### Aislamiento y caracterización morfológica y microscópica de cepas fúngicas

Se obtuvieron 43 aislados fúngicos, procedentes tanto del tejido interno foliar del trigo (endófitos) como de la superficie de la hoja (epífitos). La caracterización morfológica del micelio fúngico en los diferentes medios sólidos, así como la observación microscópica de estructuras fructíferas y sus correspondientes esporas permitieron la identificación preliminar de diversos géneros. Entre los hongos aislados se encontraban cepas de *Penicillium*, *Rhizopus*, *Fusarium* y *Alternaria*, entre otros (Figura 1).



**Figura 1.** Ejemplo del crecimiento de aislados fúngicos en medio sólido y observación microscópica correspondiente. Se muestra también la identificación preliminar de acuerdo a las características morfológicas y a las estructuras microscópicas observadas.



**Figura 2.** Abundancia relativa de géneros de cepas fúngicas provenientes de trigo en el Valle del Yaqui. Las cepas fueron identificadas de manera preliminar de acuerdo a sus características morfológicas.

En la Figura 2 se presenta la abundancia relativa de las cepas fúngicas aisladas, las cuales fueron identificadas de manera preliminar de acuerdo a sus características morfológicas. Se observa que el género con mayor abundancia es *Alternaria* (41%), seguido por *Cladosporium* (18%) y *Fusarium* (10%). La presencia mayoritaria de estos géneros ya ha sido reportada y podría deberse a la selectividad de los fungicidas empleados en la región (Moreno-Sarmiento *et al.*, 2016). *Alternaria* es considerado un patógeno emergente de trigo, el cual además de causar lesiones en las hojas, provoca la enfermedad conocida como punta negra, causando deterioro y oscurecimiento de las semillas. La elevada presencia tanto de *Alternaria* como de *Fusarium* representa un alto riesgo de infección del trigo y las consecuentes pérdidas ligadas a la mala calidad del grano causada por dichos patógenos.

## Caracterización molecular de cepas fúngicas

La identificación de diversas cepas fúngicas se logró mediante la secuenciación del gen ITS, comparándolo con la base de datos de NCBI (Cuadro 1). De las cepas identificadas molecularmente hasta el momento, solamente *Fusarium* y *Alternaria* son considerados fitopatógenos de importancia para los cultivos de trigo, como mencionado anteriormente. Sin embargo, algunos otros hongos, tales como *Sclerotinia minor* y *Curvularia spicifera*, son actualmente patógenos de otro tipo de cultivos (ej. tomate y lechuga). Por lo tanto, al tener antecedentes de fitopatogenicidad, dichos hongos representan un riesgo de migración de planta hospedante, pudiendo volverse patógenos de trigo bajo condiciones climáticas favorables (Ristaino *et al.*, 2021). Algunas otras cepas fúngicas identificadas pueden ser consideradas benéficas, por ejemplo, *Cladosporium* sp., que es considerado un agente de control biológico y *Rhizopus arrhizus*, el cual es un productor de enzimas con aplicación biotecnológica.

**Cuadro 1.** Identificación molecular de cepas fúngicas aisladas de trigo en el Valle del Yaqui.

Aislado fúngico	BLAST	Cobertura	Similitud	Número de accesión
1	<i>Sclerotinia minor</i>	63%	83.20%	KY701275.1
2	<i>Alternaria alternata</i>	95%	94.27%	MH936397.1
3	<i>Cladosporium</i> sp.	97%	99.77%	MH890631.1
4	<i>Rhizopus arrhizus</i>	99%	99.50%	MT603963.1
5	<i>Alternaria eichhorniae</i>	96%	96.64%	MN783326.1
6	<i>Curvularia spicifera</i>	97%	99.53%	KT369020.1
8	<i>Alternaria alternata</i>	99%	99.81%	OM390604.1
10	<i>Penicillium</i> sp.	100%	97.50%	MT214693.1
18	<i>Fusarium</i> sp.	97%	98.73%	HQ332534.1
21	<i>Alternaria solani</i>	90%	83.57%	MG569488.1
23	<i>Alternaria alternata</i>	100%	99.27%	OM943431.1

## Conclusiones

El monitoreo de las especies fúngicas presentes en los cultivos de una región es de suma importancia, ya que permite detectar un incremento en las poblaciones patógenas existentes y sobre todo crear alertas sobre el surgimiento de nuevas enfermedades ocasionadas por patógenos emergentes.

El aislamiento e identificación de cepas fúngicas realizado durante este trabajo permitió obtener un conjunto de potenciales agentes patógenos cultivables, los cuales serán posteriormente evaluados respecto a su capacidad de infectar plantas de trigo bajo condiciones de humedad y temperatura actuales y futuras. De igual forma, se realizarán pruebas antagónicas *in vitro* para la identificación de agentes de control biológico que permitan estar un paso adelante ante del surgimiento de nuevas especies patogénicas de trigo.

## Agradecimientos

Se extiende un cordial agradecimiento al Instituto Tecnológico de Sonora por su recibimiento en el Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano (LBRM) para la realización del proyecto posdoctoral “Bioplaguicidas innovadores para incrementar la soberanía alimentaria en el cultivo de trigo en Sonora, México”. De igual forma se agradece de la manera más atenta a los miembros del LBRM por su colaboración en la realización de este proyecto y por su excelente recibimiento, compañerismo y convivencia día a día en el laboratorio.

## Fuente financiadora

Conahcyt, beca de estancia posdoctoral “Estancias Posdoctorales por México para la Formación y Consolidación de las y los Investigadores por México” CVU 840486. Solicitud: 3813573. PROFAPI ITSON. Folio: PROFAPI 2023\_029 ICA

## Referencias bibliográficas

- Ibarra-Villarreal, A. L., Villarreal-Delgado, M. F., Parra-Cota, F. I., Yepez, E. A., Guzmán, C., Gutierrez-Coronado, M. A., Valdez, L. C., Saint-Pierre, C., & de Los Santos-Villalobos, S. (2023). Effect of a native bacterial consortium on growth, yield, and grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) under different nitrogen rates in the Yaqui Valley, Mexico. *Plant Signaling and Behavior*. <https://doi.org/10.1080/15592324.2023.2219837>
- Moreno-Sarmiento, M., Peñalba, M. C., Belmonte, J., Rosas-Pérez, I., Lizarraga-Celaya, C., Ortega-Nieblas, M. M., Villa-Ibarra, M., Lares-Villa, F., & Pizano-Nazara, L. J. (2016). Airborne fungal spores from an urban locality in southern Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Micología*, 44, 11–20. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-31802016000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802016000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebbler, D. P., Brauman, K. A., Cunniffe, N. J., Fedoroff, N. V., Fingold, C., Garrett, K. A., Gilligan, C. A., Jones, C. M., Martin, M. D., MacDonald, G. K., Neenan, P., Records, A., Schmale, D. G., Tateosian, L., & Wei, Q. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 118, Issue 23). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>
- Villa-Rodríguez, E., Lugo-Enríquez, C., Ferguson, S., Parra-Cota, F. I., Cira-Chávez, L. A., & de los Santos-Villalobos, S. (2022). *Trichoderma harzianum* sensu lato TSM39: A wheat microbiome fungus that mitigates spot blotch disease of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. durum) caused by *Bipolaris sorokiniana*. *Biological Control*, 175, 105055. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2022.105055>.



## DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS CALCÁREOS Y YESÍFEROS CON DIFERENTE EXTRACTANTE – ION SATURANTE

Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>2\*</sup>, Arely Dávila-Valenzuela<sup>1</sup>, José Luis González-Barríos<sup>2</sup>, Guillermo González-Cervantes<sup>2</sup>, Karen Lizbeth Domínguez-Coronado<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas, UA de C, <sup>2</sup>CENID RASPA, INIFAP

\*Autor para correspondencia: [puente.cristo@inifap.gob.mx](mailto:puente.cristo@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** CIC, calcáreo, yesífero

### Introducción

En México existe una gran diversidad de suelos, entre los que destacan los suelos calcáreos, que tienen un contenido de carbonatos de calcio superior al dos por ciento; los suelos yesíferos con contenidos altos de sulfato de calcio, limitantes al desarrollo de los cultivos cuando exceden el cinco por ciento (FAO 1990). En México, cubren alrededor de 20 millones de hectáreas y se encuentran principalmente en el Desierto Chihuahuense y en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (FAO 2008). Si bien la solubilidad del carbonato de calcio y sulfato de calcio, es relativamente baja en agua (0.0013 g/100 mL y 0.20 g/100 mL de agua a 20°C, respectivamente), al tratarse con buffer o extractantes cambia considerablemente, como es el caso de los carbonatos de calcio al reaccionar con el acetato de amonio, el cual en su hidrólisis deja la base conjugada de acetato y en la hidrólisis del ion amonio se libera un protón, formando así un ácido al combinarse con el acetato, donde este genera una reacción de neutralización, formando acetato de calcio con una solubilidad de 34.7g/100 ml de agua 20°C, en el caso del sulfato de calcio ya tiene una solubilidad significativa en agua, que al sumarse las interacciones iónicas de la solución buffer se incrementa aún más. En ambos casos existe una sobrevaloración del calcio intercambiable por efecto de la disolución de los minerales de calcio por el buffer, impactando en una sobreestimación de la capacidad de intercambio catiónico. La NOM-021-RECNAT-2000 es la guía rectora para el análisis de fertilidad y clasificación de suelos en México, si bien esta recomienda la aplicación del método AS-12 empleando acetato de amonio 1 N a pH de 7 y en el método de AS-13 con tiourea de plata el cual encarece la determinación. Por otra parte, la FAO propone un extractante de acetato de amonio a pH 8.5 para manejar suelos calcáreos, es importante establecer cual opción de extractante es la más adecuada con producción de datos más precisos y confiables de acuerdo con las características de suelos calcáreos y/o yesíferos.

### Objetivo

Determinar cuál es el mejor extractante para evaluar la CIC en suelos calcáreos y yesíferos.

### Materiales y métodos

En este trabajo se realizaron pruebas de solubilidad de calcio proveniente del carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y del sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) usando como extractantes al acetato de amonio 1N y acetato de sodio 1 N con una gama de pH de 7.0, 7.5, 8.0, 8.5 y 9.0, donde cada extractante se hizo reaccionar con un gramo de carbonato de calcio o sulfato de calcio haciendo triplicados por pH ensayado, generando un total de 30 ensayos. La determinación del calcio solubilizado se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo PerkinElmer® a analyst 700 de acuerdo con lo establecido en el método AS-12 de la NOM-021-RECNAT-2000. Posterior a estas pruebas se realizó un ensayo por triplicado para determinar la capacidad de intercambio catiónico de tres suelos: suelo normal (sin carbonatos y sin yeso), suelo calcáreo y suelo yesífero, partiendo del peso de 1 gramo de suelo, al cual se le añadió 20 mL de solución extractante (Acetato de amonio y/o Acetato de sodio ambos 1N pH 8.5) puestos en agitación por 60 minutos, posterior a esto fueron centrifugados a 3500 rpm por 5 min y lavados con etanol por dos veces, en cada caso descartando el sobrenadante y conservando el suelo.

Finalmente, para remplazar al ion saturante se utilizó cloruro de sodio para el caso de acetato de amonio y acetato de sodio para el acetato de sodio, mediante agitación por 60 min y centrifugación para recuperar el sobrenadante para la cuantificación de amonio y sodio respectivamente, Además se realizaron

determinaciones básicas de fertilidad de suelos: materia orgánica, nitrógeno de nitratos y fosforo Olsen, cationes extraíbles, carbonatos de calcio y azufre, también se les determino la textura del suelo, todo esto de acuerdo a lo propuesto por la norma vigente para el análisis de fertilidad de suelos. Los ensayos realizados se enlistan en el cuadro 1 y en todos los casos se realizó un análisis descriptivo y comparación de medias.

## Resultados y discusión

En el cuadro 1. Se muestran las características principales de los suelos empleados para los experimentos, puede destacarse la cantidad de carbonatos totales y concentración de azufre para distinguirlos como calcáreos y yesíferos, en todos los casos fueron suelos de textura media – gruesa, medianamente alcalinos, con un contenido de nutrientes medio, se expresan los cationes extraíbles con acetato de amonio 1 N, pH de 8.5, al igual que las CIC ensayadas para cada tipo de suelo.

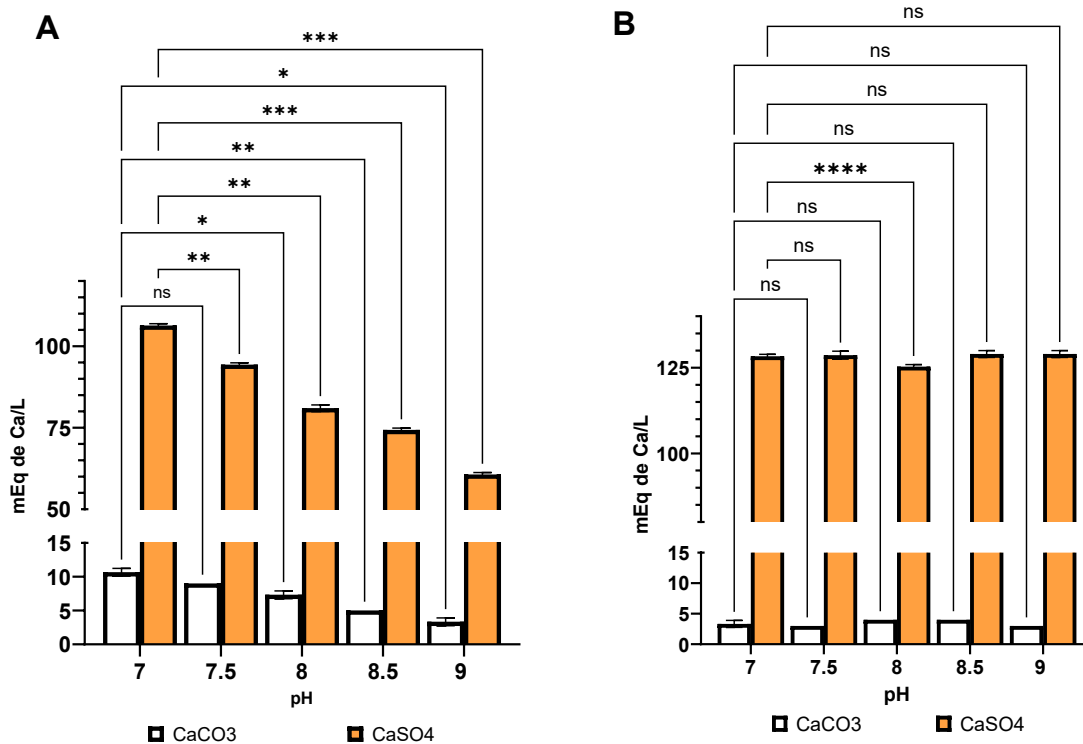
**Cuadro 1.** Características principales de los suelos tratados

Parámetros	Normal	Calcáreo	Yesífero
<b>Textura:</b>	Franco Arenosa (Arcilla = 10)	Franca (Arcilla =22)	Franco limosa (Arcilla = 9)
<b>pH/CE (dS m<sup>-1</sup>)</b>	8.17 / 1.47	8.05 / 5.46	8.32 / 3.55
<b>MO(%) / N-NO3 (ppm)/P-Olsen (ppm)</b>	1.08 / 21.53 / 14.49	3.56 / 22.05 / 93.23	2.90 / 102.71 / 37.84
<b>K / Ca / Mg / Na extraíbles (ppm)*</b>	1639.5 / 3235.1 / 218.33 / 40.37	336.59 / 4824.50 / 641.79 / 15.96	449.49 / 15043.10 / 1164.03 / 269.11
<b>Carbonatos de Calcio (%) / Azufre (ppm)</b>	0.57 / 29.75	70.97 / 117.89	37.78 / 7024.78
<b>CIC suma Intercambiables (mEq 100g<sup>-1</sup>)</b>	22.26	30.38	87.20
<b>CIC con Ion saturante de amonio pH 8.5 (mEq 100g<sup>-1</sup>)</b>	20.81	39.21	32.43
<b>CIC con Ion saturante de sodio pH 8.5 (mEq 100g<sup>-1</sup>)</b>	26.23	31.30	52.17

\*Cationes extraídos con acetato de amonio 1 N, pH 8.5

En el cuadro 1 puede observarse la influencia del extractante para determinar la capacidad de intercambio catiónico, en el caso del suelo normal existe una gran similitud entre valores de las diferentes CIC, en el caso del suelo calcáreo, se observa una ligera sobre estimación por efecto del ion saturante de amonio y en el suelo yesífero puede apreciarse el efecto de una sobre estimación muy marcada por la suma de intercambiables y del ion saturante de sodio, donde el ion amonio determina una CIC más congruente con respecto al contenido de arcilla, este efecto puede explicarse por los datos mostrados en la gráfica 1, donde en el panel A, se observa un claro efecto de solubilización de calcio dependiente de una relación inversa del pH, la cual es mucho más marcada para el calcio de carbonatos y menos marcada para el calcio de sulfatos. En el panel B puede observarse el efecto del extractante de acetato de sodio sobre los minerales de carbonato y sulfato, se observa un efecto de no solubilización de calcio de carbonatos y de solubilización del calcio de sulfatos, donde en ambos casos, no existe una relación en función del pH.

Si bien estos resultados no son completamente innovadores, pues existe en la literatura una gran variedad de alternativas para tratar las bases intercambiables de los suelos calcáreos y/o yesíferos, es de importancia buscar opciones confiables para los ensayos de rutina que nos acerquen más a la realidad de los fenómenos que ocurren en estos suelos. Estos resultados son coincidentes con los reportados por diferentes autores que han empleado diferentes sales y pH, donde la mayoría de ellos citan los trabajos desarrollados por Tucker, quien también emplea el extractante de acetato de amonio a un pH 8.5, como el extractante más conveniente cuando se contrasta el calcio extraíble versus el recuperado por la solubilización de la acción del agua libre de dióxido de carbono (Tucker 1954).



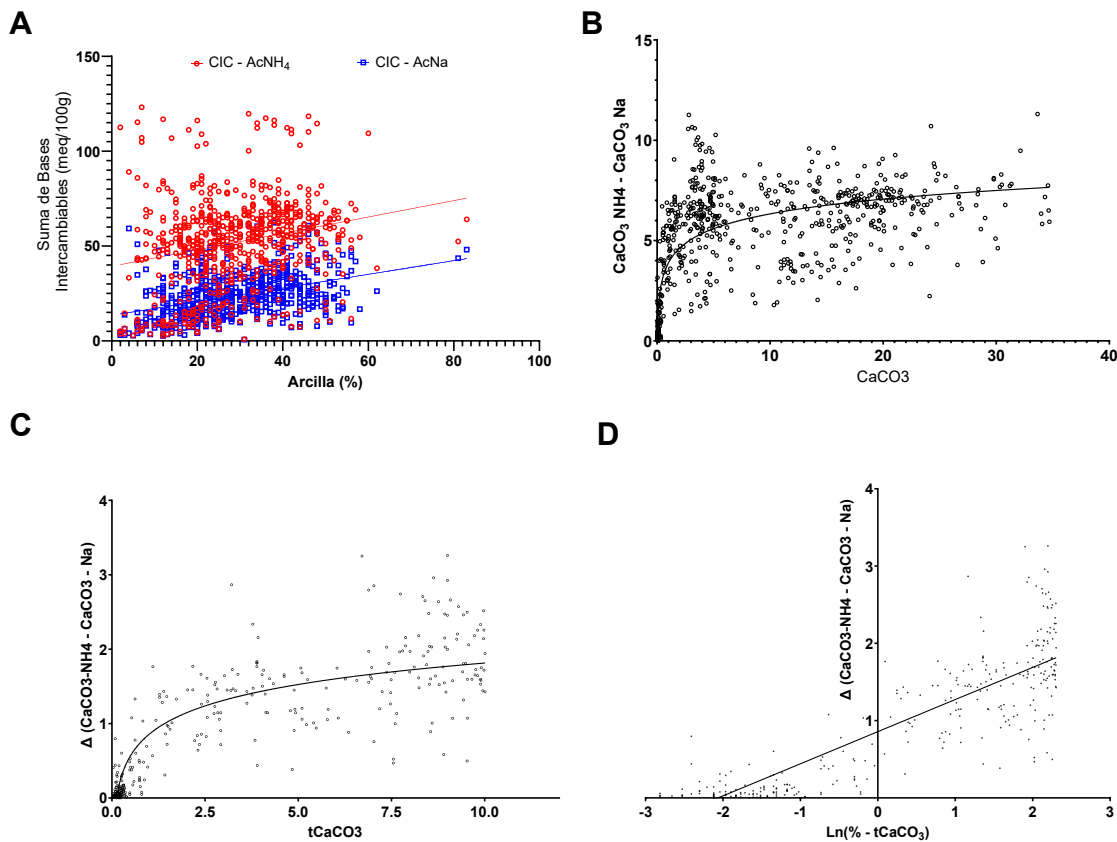
**Figura 1.** Solubilización del calcio de acuerdo con el extractante empleado.

En todos los casos se grafica la media y desviación estándar de tres repeticiones, en blanco representa al calcio de carbonatos y en naranja al calcio de sulfatos, en el panel A se representa la solubilización del calcio por efecto de uso de acetato de amonio 1 N, en el panel B se representa la solubilización del calcio por efecto del uso de acetato de sodio 1 N, se realiza un análisis de ANOVA con comparación de medias de Tukey contra el tratamiento de pH 7.0, donde los asteriscos representan el nivel de significancia

Tradicionalmente se asocia el contenido de arcillas en el suelo con la capacidad de intercambio catiónico estimada de la suma de intercambiables, esto asumiendo que las cargas negativas del suelo las aporta principalmente la arcilla, en el laboratorio de suelos del INIFAP CENID-RASPA se realizaron análisis a la par de 680 muestra de servicio, donde se extrajo los intercambiables con acetato de amonio 1 N - pH 7.0 y acetato de sodio 1N – pH 8.5, obteniéndose los resultados mostrados en la gráfica 2, panel A. En la cual puede apreciarse una sobre estimación de los intercambiables, si se asume que esta suma no debería ser superior al contenido y tipo de arcilla del suelo. Para estimar la sobre estimación por uso de los extractante de acetato de amonio 1N pH 7, se calculó la cantidad de miliequivalentes de calcio y magnesio extraídos por ambos extractantes (Acetato de amonio 1N pH 7 y Acetato de sodio 1N pH 8.5), se sumaron estos y se calculó el porcentaje de CaCO<sub>3</sub> (multiplicando suma de miliequivalentes de Ca + Mg por 50 y este producto dividido entre 10000 para convertirlo en porcentaje) de manera que se homogenizaron los resultados al expresarlos todos en porcentaje de carbonatos de calcio que podrían formar estos, al graficarse el contenido de carbonatos de calcio total versus la diferencia entre los equivalentes de carbonato de calcio extraídos con acetato de amonio y carbonato de calcio extraídos con acetato de sodio se observa la tendencia logarítmica mostrada en la Figura 2, panel B. En esta puede observarse un máximo efecto hasta un contenido de carbonatos de calcio totales del 10 por ciento y a partir de estos se observa la una tendencia asíntota, de manera que la solubilización a partir del 10 por ciento de carbonatos de calcio será la misma independientemente de la concentración de estos.

En la Figura 2 panel C y D se muestra un filtrado de datos a un máximo de 10 por ciento de carbonatos de calcio, con una  $n = 319$  (panel C) y su transformación semilogarítmica al someter la concentración de carbonatos de calcio (valores de  $x$ ) al cálculo del logaritmo natural. Al realizar el cálculo de la recta se

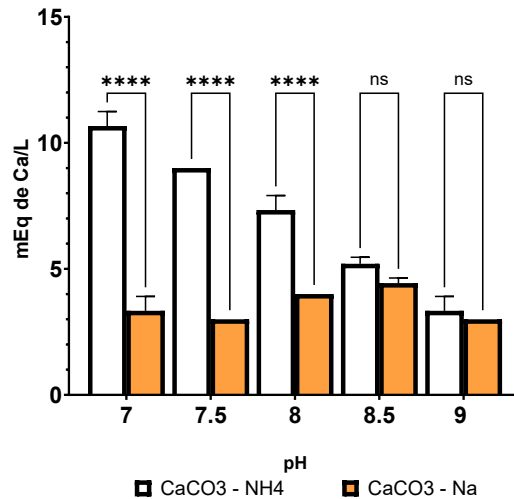
obtuvo la ecuación  $y = 0.8571 + 0.4156 \cdot \ln[\%CaCO_3]$ , con un coeficiente de determinación de  $r^2 = 0.7243$ . Esta ecuación podría emplearse para calcular el calcio intercambiable real cuando se emplea un acetato de amonio con pH de 7.0, siempre que se reproduzcan las condiciones experimentales de extracción.



**Figura 2.** Sobre estimación de calcio intercambiable por efecto del uso de acetato de amonio 1N pH 7.

En el panel A se muestra el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico derivada de la suma de intercambiables, en rojo las obtenidas con el extractante de acetato de amonio 1 N pH 7 y en azul con acetato de sodio 1N pH 7. En el panel B grafica de distribución de puntos donde en las abscisas se representa el contenido de carbonatos totales ( $CaCO_3$ ) y en las ordenadas la diferencia de  $CaCO_3$  derivado de la suma de intercambiables de Ca + Mg extraídos con amonio y sodio. Panel C se muestra al igual que el panel B solo a un corte de 10 % de  $CaCO_3$  en las abscisas y en el panel D la gráfica resultante derivada de la transformación logarítmica del contenido de  $CaCO_3$ .

Finalmente, para determinar que pH del extractante de acetato de amonio reproduce los mismos resultados a los obtenidos por el extractante de acetato de sodio, el cual en toda su gama de pH probados no se observó una solubilización significativa del calcio de carbonatos, se realizó un ANOVA de dos vías, con una comparación de medias de Bonferroni. Los resultados de estos análisis se pueden apreciar en la Figura 3. Donde a partir de un pH  $\geq 8.5$  no se observaron diferencias significativas, esto en la práctica rutinaria de la determinación de bases intercambiables permite usar al acetato de amonio como extractante y poder determinar el sodio intercambiable y con ello el porcentaje de sodio intercambiable un parámetro de gran importancia en suelos salinos.



**Figura 3.** Comparación de solubilidad de calcio de carbonatos.

En blanco se representa al calcio solubilizado por efecto del extractante de acetato de amonio 1 N y en anaranjado al calcio solubilizado por efecto del extractante de acetato de sodio 1N. Donde los asteriscos representan el nivel de significancia.

### Conclusiones

El mejor extractante, de acuerdo con los datos obtenidos en este trabajo, es el acetato de amonio 1 N a pH superior de 8.5, el cual puede ser empleado tanto para suelos normales como calcáreos, el acetato de sodio puede ser una alternativa viable para el cálculo de calcio intercambiable, esto solo en suelos calcáreos. Para suelos yesíferos el empleo de este extractante producirá una sobre estimación del calcio, por lo que será recomendado el ensayar la capacidad de intercambio catiónico para poder estimar esta sobre estimación.

### Agradecimientos

Laboratorio de agua, suelo, planta y medio ambiente del CENID RASPA INIFAP.

### Fuente financiadora

Recursos propios.

### Referencias bibliográficas

- FAO. 1990. "Management of Gypsiferous Soils." FAO SOILS BULLETIN 62. 1990. <https://www.fao.org/3/t0323e/t0323e02.htm#1.4.5> International Reference Base for soil classification.
- FAO. 2008. Base Referencial Mundial Del Recurso Suelo: Un Marco Conceptual Para Clasificación, Correlación y Comunicación Internacional. Informes Sobre Recursos Mundiales de Suelos. Vol. 03.
- Tucker, B. M. 1954. "The Determination of Exchangeable Calcium and Magnesium in Carbonate Soils." Australian Journal of Agricultural Research 5 (4): 706–15. <https://doi.org/10.1071/AR9540706>.

## CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE BIOSÓLIDOS RESIDUALES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU POTENCIAL USO AGRONÓMICO

Ana Magdalena Arriaga-Vázquez<sup>1\*</sup>, Ana Patricia Sanchez-Muñoz<sup>1</sup>, Claudia Hidalgo-Moreno<sup>1</sup>, Jorge Dionisio Etchevers-Barra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Postgrado en Edafología, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

\*Autor para correspondencia: [arriaga.ana@colpos.com](mailto:arriaga.ana@colpos.com)

**Palabras clave.** Tratamiento de aguas residuales, economía circular, nutrimentos.

### Introducción

El tratamiento de aguas residuales de las ciudades genera materiales de fácil descomposición y sólidos insolubles también llamados biosólidos o lodos residuales (García y Güereca, 2019). La producción de estos materiales representa un problema ambiental ya que se acrecienta conforme aumenta la población. Algunas estimaciones indican que es posible generar hasta 45 millones de Mega gramos (Mg) de materia seca (Ms) al año a nivel mundial (Buta *et al.*, 2021). En la literatura se reportan trabajos en los que estos materiales ya han sido usados en agricultura, debido a que presentan niveles importantes de nitrógeno, potasio y micronutrientes, que puede reducir o complementar la aplicación de fertilizantes al suelo (Brown *et al.*, 2020). Para ello, estos materiales deben cumplir normativas ambientales en particular, niveles permitidos de metales pesados, compuestos orgánicos y patógenos, para evitar riesgos a la salud humana, animal y al medio ambiente (Lamastra *et al.*, 2018).

### Objetivo

Evaluar las propiedades químicas de biosólidos o lodos residuales de la Planta de tratamiento de agua de Atotonilco, Edo. de Hidalgo, para evaluar su calidad y definir si cumplen con la normativa existente en México para su potencial uso en agricultura.

### Materiales y métodos

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Atotonilco (PTARA) se ubica en el municipio de Atotonilco de Tula en el estado de Hidalgo. Esta planta recibe en promedio  $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de aguas residuales generadas por la Zona Metropolitana del Valle de México, más  $12\,000 \text{ L s}^{-1}$  en temporada de lluvia. Estos lodos pueden ser valorizados para su reutilización y uso potencial en la agricultura.

Se realizó el muestreo de los biosólidos en la Planta de Tratamiento de Agua de Atotonilco (LPTARA). De una celda de almacenamiento de estos materiales, se tomaron 53 submuestras de 5 kg que se combinaron y homogeneizaron para obtener una muestra compuesta. Se separó una porción de material fresco para las determinaciones de coliformes fecales, *Salmonella spp.* y huevos de helmintos (NOM-004-SEMARNAT-2002). El resto de la muestra compuesta se secó a la sombra, se molió en molino de acero inoxidable. Se determinó el pH en agua (relación 1:2 lodo:agua) (potenciometría), la CE (relación 1:5 lodo:agua) (conductimetría), metales pesados totales As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni y Zn (NOM-004-SEMARNAT-2002). También se realizaron otras determinaciones complementarias a estos materiales. Se determinó el nitrógeno total y el carbono orgánico con un analizador elemental Flash 2000, Thermo. El  $P_{\text{disponible}}$  con el método Olsen (extracción con  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M pH 8.5 y colorimetría con azul de molibdeno). Las bases intercambiables ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ) (extracción con  $\text{NH}_4\text{Ac}$  1n pH 7), usando emisión para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  y absorción atómica para  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . Los microelementos Fe, Cu, Zn y Mn (extracción con DTPA y absorción atómica).

### Resultados y Discusión

En el Cuadro 1 se presenta la composición química promedio del biosólido lodo residual de la Planta de Tratamiento de Atotonilco (LPTARA).



**Cuadro 1.** Composición química promedio LPTARA.

Parámetro químico	Contenido	Unidad
pH	6.1	
CE	4.0	mS cm <sup>-1</sup>
Carbono orgánico	24	%
Nitrógeno total	1.6	%
P Olsen	611	mg kg <sup>-1</sup>
Potasio	3	cmoles+kg <sup>-1</sup>
Calcio	49	cmoles+kg <sup>-1</sup>
Magnesio	19	cmoles+kg <sup>-1</sup>
Sodio	2	cmoles+kg <sup>-1</sup>
Hierro	184	mg kg <sup>-1</sup>
Cobre	58	mg kg <sup>-1</sup>
Zinc	105	mg kg <sup>-1</sup>
Manganeso	61	mg kg <sup>-1</sup>

Los lodos residuales presentan un pH ligeramente ácido, que no representaría un problema para su uso agrícola, considerando que los suelos de la zona cercana a la planta de tratamiento de agua presentan una tendencia a alcalinizarse por el uso de aguas residuales y por una baja precipitación de la zona. Su alto contenido de carbono orgánico indica que aportaría materia orgánica al suelo, indicador de mejora de la calidad de éste. Este material aporta también nitrógeno total y fósforo, dos nutrientes requeridos para el desarrollo de los cultivos potenciales a establecerse en la zona. Las bases de intercambio (potasio, calcio, magnesio) presentan un nivel considerado como alto que aportaría elementos requeridos para la nutrición de los cultivos. De igual forma es el caso de los micronutrientes.

Los contenidos de metales pesados de los LPTARA (Cuadro 2) están por debajo de los límites permisibles definidos en la NOM 004 SEMARNAT. De acuerdo con la clasificación definida en esta NOM estos lodos están en el rango de excelentes, lo que permite su uso en la agricultura.

**Cuadro 2.** Contenido de metales pesados de los LPTARA y la clasificación de NOM 004 SEMARNAT.

Parámetro	Resultado	Unidades	NOM 004 SEMARNAT 2002*
Arsénico total	3.9	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	41
Cadmio total	1.5	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	39
Cobre total	378	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	1500
Cromo total	133	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	1200
Mercurio total	1.2	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	57
Níquel total	84	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	420
Plomo total	54	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	300
Zinc total	1289	mg kg <sup>-1</sup> B.S.	2800

BS: base peso seco, \*: límites definidos en la NOM

En el Cuadro 3 los resultados correspondientes a huevos helmintos y salmonella indican que los niveles encontrados están dentro de los límites permisibles de la NOM 004 SEMARNAT 2002. Sin embargo, los coliformes fecales que encuentran en grandes cantidades que superan los límites permisibles por la NOM.

**Cuadro 3.** Contenido de patógenos y parásitos contenido en los LPTARA.

Parámetro	Unidades	Resultado	NOM 004 SEMARNAT 2002
Huevos helmintos viables	HH g <sup>-1</sup> B.S.	<0.5	Menor de 1
Coliformes fecales	NMP g <sup>-1</sup> B.S.	4300000.0	Menor de 1 000
Salmonella sp	NMP g <sup>-1</sup> B.S.	ND	Menor de 3

ND= No detectable; B.S.=Base seca.

## Conclusión

Los biosólidos o lodos residuales de la Planta de tratamiento de agua de Atotonilco, Edo. de Hidalgo cumplen con los límites permisibles de salmonella sp, huevos helmintos. De acuerdo como su contenido de metales pesados (Cd, Cr, Ar, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) se clasifican en el rango de excelentes de acuerdo con la NOM 004 SEMARNAT 2002. Sin embargo, presentan altos contenidos de coliformes fecales, que superan los límites de la NOM, con lo cual se requiere el tratamiento de éstos para poder ser usado en agricultura. Otros elementos evaluados como N, P y bases de intercambio y microelementos confirmar su calidad para un uso potencial en actividades agrícolas.

## Referencias bibliográficas

- Brown Sally, James A. Ippolito, Lakhwinder S. Hundal, Basta Nicholas. T. 2020. Municipal biosolids – A resource for sustainable communities. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. doi:10.1016/j.coesh.2020.02.007
- Buta, M., Hubeny, J., Zieliński, W., Harnisz, M., & Korzeniewska, E. 2021. Sewage sludge in agriculture – the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops – a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112070. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112070
- Gryta, A., Fraç, M. & Oszust, K. The Application of the Biolog EcoPlate Approach in Ecotoxicological Evaluation of Dairy Sewage Sludge. *Appl Biochem Biotechnol* 174, 1434–1443 (2014). <https://doi.org/10.1007/s12010-014-1131-8>
- Islam, R.; Chauhan, P.S.; Kim, Y.; Kim, M.; Sa, T. 2010. Community level functional diversity and enzyme activities in paddy soils under different long-term fertilizer management practices. *Biol. Fertil. Soils* 47, 599–604.
- Lamastra, L., Suciú, N. A., & Trevisan, M. 2018. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 5(1). doi:10.1186/s40538-018-0122-3.

## MANEJO DE RESIDUOS DE COSECHA EN CAMAS ANCHAS EN UN VERTISOL PARA PRODUCCIÓN DE CEREALES

Aurelio Báez-Pérez<sup>1\*</sup>, Agustín Limón-Ortega<sup>2</sup> y Bertha Patricia Zamora-Morales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INIFAP, Campo Experimental Bajío, <sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental del Valle de México, <sup>3</sup>INIFAP, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento en Ecosistemas Forestales.

\*Autor para correspondencia: [baeza.aurelio@inifap.gob.mx](mailto:baeza.aurelio@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Práctica de agricultura de conservación, labranza de conservación, producción agrícola.

### Introducción

Las prácticas de agricultura de conservación (AC) se fundamentan en la adición de los residuos de cosecha en la superficie del suelo, mínimas labores de labranza y rotación de cultivos (Govaerts *et al.*, 2009; Sayre y Govaerts, 2011). Éstas han sido difundidas ampliamente en el Bajío desde hace varias décadas, principalmente para la producción de cereales; sin embargo, el grado de adopción por los agricultores no es el esperado (Van den Broeck *et al.*, 2013). Para tener éxito en el establecimiento de cultivos con AC el manejo adecuado de los residuos de cosecha y la fertilización nitrogenada son factores críticos. Sayre *et al.* (2005) estudiaron en México la implementación de este sistema de producción a partir de camas permanentes, como una práctica agronómica que facilita la operatividad de las labores de cultivo en el campo. Sin embargo, la dificultad en el manejo de los residuos de cosecha sigue limitando la adopción de la AC, a pesar de los beneficios económicos y ambientales que representa. En el Bajío, una región agrícola por excelencia, los *Vertisoles* se encuentran entre los suelos más productivos para la producción de cereales y hortalizas (Torres-Guerrero *et al.*, 2016); sin embargo, las prácticas de agricultura intensiva derivan en el deterioro de los mismos (Báez-Pérez *et al.* 2012). La implementación de las AC surge como una opción viable mejorar la fertilidad de estos suelos, disminuir costos de producción, aumentar la rentabilidad en la producción de granos básicos y limitar la contaminación ambiental del sector agrícola. Sin embargo, algunas características físicas de este tipo de suelos dificultan la implementación de estas prácticas de cultivo. Si bien los residuos de cosecha en la superficie del suelo conservan la humedad del mismo por más tiempo, comparado con un suelo desnudo, aun así, se deseca, endurece y presenta cuarteaduras, clásico de los *Vertisoles*, por el alto contenido de arcillas del tipo esmectita. La presencia de residuos de cosecha en la superficie del suelo, en estas condiciones presentan mayor dificultad para la siembra y el manejo del cultivo, por ello la implementación de camas anchas facilita en mucho el manejo; sin embargo, aún falta implementar estrategias en el manejo de los esquilmos agrícolas. Otra problemática operativa que surge en el manejo agronómico en sistemas de producción con AC, es la aplicación de la segunda fracción del fertilizante nitrogenado en cereales como: maíz, sorgo, trigo y cebada, que se suministra durante el desarrollo de cultivo. Ya que no se efectúan labores de escarda, por la mínima remoción del suelo, el fertilizante se aplica por encima de los residuos de cosecha, y el aprovechamiento por el cultivo es más limitado, porque los microorganismos que actúan en la descomposición del material orgánico también aprovecha el N para su metabolismo, mediante el fenómeno conocido como inmovilización. La presencia de nitrógeno mineral en el suelo, disponible para la absorción del cultivo, depende de la tasa de mineralización de la materia orgánica. El impacto de la labranza reducida, con retención de residuos en la superficie del suelo, sobre la mineralización del nitrógeno impacta sobre la disponibilidad del nitrógeno por la inmovilización, que puede ser transitoria y reduce las pérdidas por lixiviación y desnitrificación del nitrógeno mineral; sin embargo, también limita su aprovechamiento inmediato por las plantas (Verhulst *et al.*, 2015). El propósito del presente trabajo evaluar el manejo de residuos de cosecha en camas con diferentes sistemas de cultivo.

### Objetivo

En el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la implementación una práctica de manejo de los residuos de cosecha sobre camas permanentes y la colocación enterrada de la segunda fracción del fertilizante nitrogenado, mediante la adaptación de una fertilizadora mecánica común.

## Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Parque Agrotecnológico Xonotli, en la comunidad de Mexicanos, municipio de Villagrán, Guanajuato. El tipo de suelo fue un Vertisol Pélico, con 65 % de arcilla, oscuro y profundo (> 1 m). Hubo disponibilidad de riego de presa.

Tratamientos: Todos los tratamientos se establecieron en camas permanente de 1.6 m de ancho. El sistema de cultivo tradicional consistió en efectuar todas las labores de labranza. En el tratamiento 1, los esquilmos se empacaron y retiraron de la parcela, mientras que, en el tratamiento 2 éstos se trituraron e incorporaron en su totalidad al suelo mediante el barbecho. En el sistema de AC los residuos de cosecha se trituraron y dejaron en la superficie del suelo. El experimento fue en bloques al azar con cuatro repeticiones. Las unidades experimentales estuvieron constituidas por seis camas anchas de 1.6 m de ancho por 50 m de longitud.

**Cuadro 1.** Descripción de tratamientos

Tratamientos	Rotación	Sistema de cultivo	Manejo de residuos	N-P-K O-I	N-P-K P-V
1	maíz-trigo	Tradicional	retirados	230-60-30	300-80-50
2	maíz-trigo	"	incorporados	230-60-30	300-80-50
3	maíz-trigo	Conservación	en la superficie	230-60-30	300-80-50
4	hortaliza-trigo	"	"	180-60-00	300-80-50
5	Sorgo-trigo	"	"	230-80-50	300-80-50

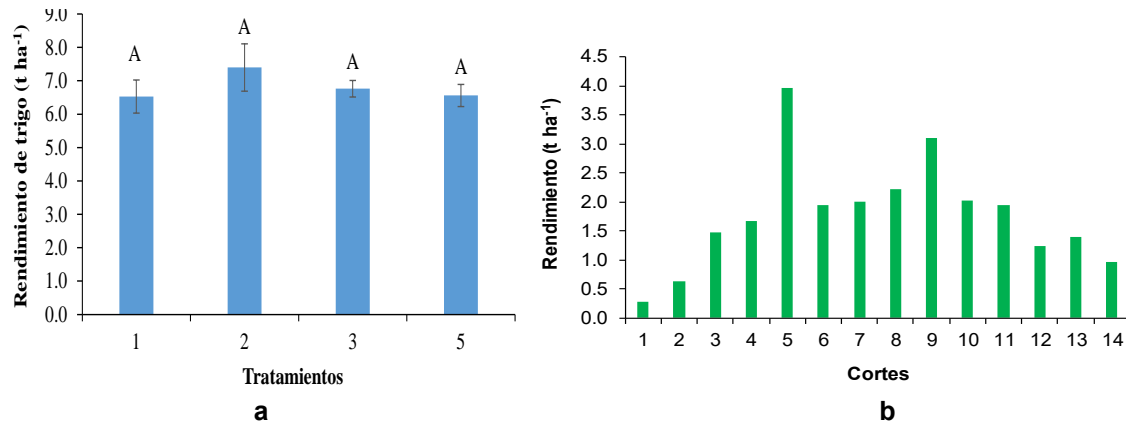
Manejo de residuos de cosecha: Se trituraron en el campo mediante una desmenuzadora mecánica, después de cada cosecha. Se remarcaron las camas y el rastrojo se acordonó a lo largo de las camas, hacía el centro de las mismas mediante el implemento conocido como rastrillo, al colocarlo en forma de "V". Después de unas semanas el rastrojo queda homogéneamente distribuido y cubriendo toda la superficie de las camas permanentes. El propósito de acordonar el rastrojo fue descubrir las orillas de las camas permanentes para facilitar que los discos de la sembradora, diseñada para este sistema de cultivo, penetre en el suelo y entierren adecuadamente la semilla y el fertilizante, para un mayor éxito en la germinación. Lo anterior facilita el manejo de los residuos de cosecha cuando se adiciona la totalidad de éstos en la superficie del suelo.

Fertilización: La primera fertilización, que implicó la aplicación total de fósforo y potasio, y la mitad de nitrógeno, se efectuó a la siembra. Para la segunda fracción de nitrógeno se efectuó la adaptación del implemento para fertilizar, al cual se le adaptaron uno discos cortadores para que el fertilizante se aplicará al centro de la cama permanente y quedara enterrado entre 5 y 6 cm e profundidad. Tratando de este modo de dejarlo fuera del alcance de los microorganismos que están degradando los esquimos que se encuentran en la superficie del suelo y dejándolo de manera más accesible para las raíces del cultivo.

## Resultados y discusión

Primavera-verano 2017: Durante el primer ciclo de cultivo en este estudio, que corresponde al año cero, donde se produjeron los residuos de cosecha necesarios para establecer los tratamientos convencionales y los que implicaron prácticas de agricultura de conservación (AC), hubo una producción promedio 14.4 t ha<sup>-1</sup> de esquilmos agrícolas de maíz y 12 t ha<sup>-1</sup> de sorgo. Por otra parte, la producción de grano fue en promedio de 14.2 t ha<sup>-1</sup> de maíz y 12.1 de sorgo.

Otoño-invierno 2017-2018: La producción de trigo fluctuó entre 6.5 y 7.4 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1a); sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos. La relación beneficio costo fue de 1.4, para los tratamientos con sistema de producción tradicional (1 y 2), mientras que los tratamientos con AC ésta fue de 1.8, lo cual fue 29 % mayor respecto a la ganancia que se obtuvo con las prácticas de agricultura convencionales. Lo anterior se tradujo en mayor rentabilidad por el agricultor. Las prácticas de manejo de residuos de cosecha y la aplicación enterrada de la segunda fracción de fertilización nitrogenada fue exitosa para el establecimiento y nutrición de los cultivos.



**Figura 1.** Rendimiento de trigo y 14 cortes de calabacita.

El tratamiento correspondiente a la rotación hortaliza-trigo en este ciclo de cultivo (4), correspondió al cultivo de calabacita. La producción de esta hortaliza se evaluó en 14 cortes, de los cuales el quinto y noveno corte tuvieron los mayores picos de producción, con 4 y 3.1 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1b). La producción total de calabacita ascendió a 24.9 t ha<sup>-1</sup>, bajo el sistema de agricultura de conservación. De acuerdo con estadísticas del SIAP (2022) la producción promedio de este cultivo, en condiciones de riego, en el estado de Guanajuato es de 9 t ha<sup>-1</sup>. Esta producción es comparable con el rendimiento que obtienen en Zacatecas. La producción de calabacita, bajo el sistema de producción de labranza convencional, fue económicamente viable, y la relación beneficio costo fue de 2.25, es decir, más del doble de lo que se invirtió en el proceso de producción.

## Conclusiones

La producción de cereales alcanzó mayor producción y relación/beneficio costo en los sistemas de cultivo con AC. Las prácticas de manejo de residuos de cosecha y la aplicación enterrada de la segunda fracción de fertilización nitrogenada tuvo buena respuesta para el establecimiento y nutrición de los cultivos.

## Agradecimientos

Agradecemos al proyecto: 1224934335 “Respaldo científico de las plataformas “MasAgro Guanajuato en Xonotli, Distrito de riego 011, Acámbaro, San Luis de la Paz y Ocampo en Guanajuato”, al INIFAP y el CIMMYT, por el financiamiento otorgado para la realización del presente trabajo.

## Referencias bibliográficas

- Báez-Pérez, A., J.M. Arreola-Tostado, B. Triomphe, A. Bautista-Cruz, A. y P.J. Licea-Morales, 2012. Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3:1509-1519.
- Govaerts, B., K.D. Sayre, B. Goudeseune, P. De Corte, K. Lichter, L. Dendooven, and J. Deckers. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil & Tillage Research* 103:222–230. doi:10.1016/j.still.2008.05.018
- Govaerts, B., and K.D. Sayre. 2011. The principles of conservation agriculture. In: *Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation*. Reynolds, M., and D. Mullan (eds). Chapter 15, 164-174 pp. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, Texcoco, Mexico.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2020. Estadísticas de producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap> (fecha de consulta:20/11/2020).
- Torres-Guerrero, C.A., M.C. Gutiérrez-Castorena1, C.A. Ortiz-Solorio y E.V. Gutiérrez-Castorena. 2016. Manejo agronómico de los Vertisoles en México: una revisión. *Terra Latinoamericana* 34: 457-466.

Van den Broeck, G., R. R. Pérez-Grovasa, M. Maertens, J. Deckers, N. Verhulst, and B. Govaerts. 2013. Adoption of Conservation Agriculture in the Mexican Bajío. *Outlook on agriculture* 42: 171–178. <https://doi.org/10.5367/oa.2013.0136>.

Verhulst, N., I. François y B. Govaerts. 2015. Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional. de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMIT). Masagro. El Batán, Texcoco, México 11 p.



## PRÁCTICAS DE MANEJO AGRONÓMICO PARA AUMENTAR LA PRODUCCIÓN Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN EL BAJÍO

Aurelio Báez-Pérez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>INIFAP, Campo Experimental Bajío.

\*Autor para correspondencia: [baeza.aurelio@inifap.gob.mx](mailto:baeza.aurelio@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Productividad, prácticas agrícolas, manejo agronómico.

### Introducción

El Guanajuato el potencial de rendimiento de maíz, bajo condiciones de riego, puede alcanzar 20 t ha<sup>-1</sup>; Sin embargo, se recurre al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y otros insumos. Lo anterior, además de encarecer los costos de producción y generar graves problemas de contaminación ambiental, provocan un serio problema de deterioro de los suelos por salinización, compactación y disminución de las reservas orgánicas (Báez *et al.*, 2012). En el Bajío y en otras regiones agrícolas del país dominan las recomendaciones para la producción de maíz provenientes de las casas comerciales. Frecuentemente los productores siembran entre 100, 000 y 120, 000 plantas ha<sup>-1</sup> para producción de grano, para lo cual se requiere una fuerte inversión en semilla y fertilizantes, los insumos que más encarecen los costos de producción. Ante los bajos precios que frecuentemente tiene el maíz en los mercados nacional e internacional, durante la época de cosecha, es necesario buscar alternativas tecnológicas que permitan disminuir los costos de producción y con ello aumentar la rentabilidad. Un entorno con mediana competencia entre plantas, aumenta la luminosidad en la parcela, la tasa de acumulación de materia seca y translocación de fotosintatos a la mazorca, lo que deriva en una producción de mazorcas más grandes y con mayor número de granos por mazorca. Con poblaciones por encima de 100, 000 plantas ha<sup>-1</sup> en surcos de 0.75 a 0.80 cm de ancho se obtienen mayor número de mazorcas, pero de medianas a pequeñas, con granos ligeros, y requiere una mayor inversión en insumos agrícolas, lo impacta directamente en la rentabilidad. Diversos estudios muestran que el rendimiento de granos puede semejante entre poblaciones medianas y altas, tanto en temporal como con disponibilidad de riego (Cano *et al.*, 2001; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2014); sin embargo, con un costo de producción mayor con mayor densidad de población. Una población de plantas mediana (6.5 a 7.5 plantas m<sup>-2</sup>) tiende a producir mazorcas más grandes, con mayor número de granos y más pesados, comparado mazorcas producidas con densidades de población altas (10 y 12 plantas m<sup>-2</sup>). El-Hendawy *et al.* (2008) mencionan que el bajo rendimiento de grano con poblaciones de plantas altas también puede deberse a polinización deficiente como resultado de asincronía entre floración femenina y masculina, por la alta competencia entre plantas. Hidalgo-Sánchez *et al.* (2020) menciona que el aumento en la densidad de población disminuye el peso de grano por mazorca; sin embargo, el efecto global del aumento de la densidad puede un incremento en el rendimiento final de grano, dependiendo de la variedad. Con base en lo anterior es importante estudiar cual es la mejor condición de distribución espacial para una población de plantas que proporcione una mayor productividad a un costo de producción más bajo. El propósito de este estudio fue comparar para la producción de maíz con por efecto de la densidad de población.

### Objetivo

En el presente trabajo tuvo como objetivo comparar para la producción y componentes de rendimiento de maíz por efecto de la densidad de población.

### Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el INIFAP, Campo Experimental Bajío ubicado a los 20° 34' 44.9" N y 100° 49' 09.5" O, a una altitud de 1754 m. El clima de la región, según García (1987), es BS1hw(W)(e) q, semicálido con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 20.6 °C y la precipitación media anual es de 597 mm. El suelo en el que se establecieron los experimentos, correspondió a un *Vertisol pélico*, de color oscuro

y profundo (>1 m). El resultado del análisis físico-químico, para los primeros 30 cm de profundidad, evidenció un contenido de arcilla de cerca de 60%, pH ligeramente alcalino, mediano contenido de materia orgánica y alto contenido de P extractable-Olsen, K, Ca y Mg.

#### Ensayo

Se estableció un ensayo para evaluar la productividad de maíz en dos condiciones distintas de manejo agronómico: (1) surcos de 0.80 m de ancho y una población de 100, 000 plantas ha<sup>-1</sup>; (2) surcos de 1 m de ancho y una población de plantas de 70, 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Se establecieron tres repeticiones y se hizo una comparación de medias mediante la prueba de t de Student. El experimento se estableció en primavera-verano de 2019, con riego de auxilio. Se sembró la variedad antílope de Asgrow, en un suelo Vertisol pelico. Se evaluaron los componentes de rendimiento de maíz y se puso énfasis en parámetros relacionados con la mazorca: longitud, diámetro, número de hileras, número de granos hilera<sup>-1</sup> y número de granos mazorca<sup>-1</sup>.

#### Resultados y discusión

Los resultados de los componentes de rendimiento de maíz y parámetros de mazorcas se presentan en el Cuadro 1. La población promedio en el tratamiento 1 fue de 103,000 plantas ha<sup>-1</sup>, mientras que en el tratamiento 2 fue de 71, 000 plantas ha<sup>-1</sup>. En ambos casos hubo una mazorca por planta, por lo que el número de mazorcas fue igual al número de plantas.

**Cuadro 1. Resultados de componentes de rendimiento y parámetros de mazorca**

Trat.	Rep	Número		Peso grano t ha <sup>-1</sup>	Mazorca		Número		
		plantas m <sup>2</sup>	mazorcas		Longitud cm	Diámetro cm	hileras mazorcas <sup>-1</sup>	granos hilera <sup>-1</sup>	granos mazorca <sup>-1</sup>
1	1	10.5	10.5	11.1	14.2	5.1	16.6	31.0	513
1	2	10.1	10.1	12.2	15.0	4.7	16.6	34.6	574
1	3	10.4	10.4	11.0	14.3	3.7	15.7	38.3	601
	<b>Media</b>	<b>10.3</b>	<b>10.3</b>	<b>11.4</b>	<b>14.5</b>	<b>4.5</b>	<b>16.3</b>	<b>34.6</b>	<b>563</b>
	<b>DE</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.7</b>	<b>0.4</b>	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	<b>3.7</b>	<b>45</b>
	<b>EE</b>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	<b>2.1</b>	<b>26</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>5.7</b>	<b>2.9</b>	<b>16.1</b>	<b>3.2</b>	<b>10.5</b>	<b>8</b>
2	1	6.8	6.8	13.8	17.2	5.1	16.6	37.9	629
2	2	6.5	6.5	12.5	17.8	5.2	17.2	38.6	663
2	3	7.8	7.8	15.6	16.5	5.0	15.2	38.4	583
	<b>Media</b>	<b>7.1</b>	<b>7.1</b>	<b>13.9</b>	<b>17.2</b>	<b>5.1</b>	<b>16.3</b>	<b>38.3</b>	<b>625</b>
	<b>DE</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>1.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.1</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>	<b>40</b>
	<b>EE</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.9</b>	<b>0.4</b>	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	<b>0.2</b>	<b>23</b>
	<b>CV (%)</b>	<b>9.8</b>	<b>9.8</b>	<b>11.3</b>	<b>3.7</b>	<b>2.5</b>	<b>6.3</b>	<b>0.9</b>	<b>6</b>
	<b>TS</b>	<b>0.001**</b>	<b>0.001**</b>	<b>0.031*</b>	<b>0.002**</b>	<b>0.115</b>	<b>0.481</b>	<b>0.079</b>	<b>0.074</b>

CV: coeficiente de variación DE: desviación estándar, EE: error estándar, TS: t de Student.

El rendimiento de grano promedio en el tratamiento 1 fue de 11.4 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en el tratamiento 2 alcanzó 13.9 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1), y fue estadísticamente ( $p < 0.05$ ) diferente a su contraparte. La longitud de mazorcas promedio en este último fueron 2.7 cm más largas, comparado con las que hubo en el tratamiento con mayor población de plantas (1), por lo tanto (Figura 2), en número de granos mazorca<sup>-1</sup> fue también 11 % mayor. Estos parámetros fueron los que determinaron la mayor producción en el tratamiento con menor población de plantas (1). No hubo diferencias por efecto del diámetro de mazorca (Figura 3).

El costo de producción represento 15 % menor en el tratamiento 1, con una producción de grano 22 % mayor en este tratamiento comparado con su contraparte. Estos resultados sugieren que es necesario hacer un uso más racional de los insumos para aumentar la rentabilidad en la producción de maíz.

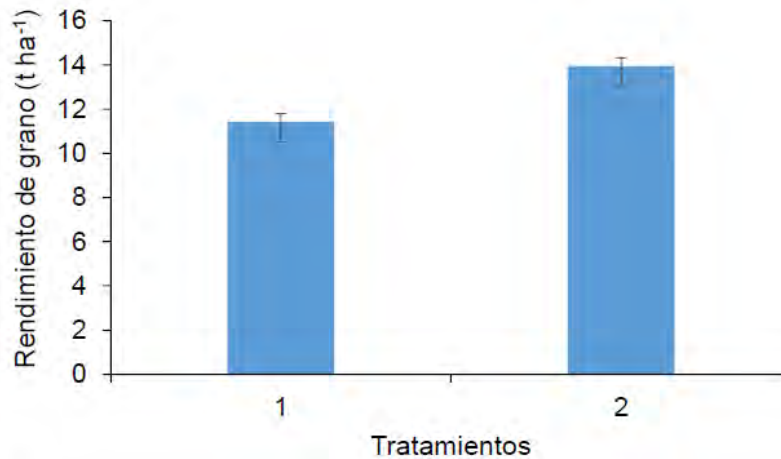


Figura 1. Rendimiento de grano.

### Conclusiones

La densidad de población de 71,000 plantas tuvo la producción de grano más alta, por presentar mazorcas más largas, mayor número de granos por hilera y mayor cantidad de grano por mazorca. Por otra parte, el costo de producción representó 15 % menor, con una producción de grano 22 %. Estos resultados sugieren que es necesario hacer un uso más racional de los insumos para aumentar la rentabilidad en la producción de maíz.

### Agradecimientos

Gracias al proyecto: “Cuantificación y mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de granos básicos mediante el uso eficiente de fertilizantes orgánicos e inorgánicos”, al INIFAP, al Colegio de Postgraduados y al CONACYT, por el financiamiento otorgado para la investigación del presente trabajo.

### Referencias bibliográficas

Báez-Pérez, A. J.M. Arreola-Tostado, B. Triomphe, A. Bautista-Cruz y P. de J. Licea-Morales. 2012. Implementación de la siembra directa para producción de cebada maltera en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1509-1519. Cano, O., H. Tosky, M. Sierra, F.A. Rodríguez. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):199-203. Cervantes-Ortiz, F., M.T. Gasca-Ortiz, E. Andrio-Enríquez, M. Mendoza-Elos, L.P. Guevara-Acevedo, F. Vázquez-Moreno, S. Rodríguez-Herrera. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 2(1):9-16. El-Hendawy S.E., E.A.A. El-Lattief, M.S. Ahmed, U. Schmidhalter. 2008. Irrigation rate and plant density effects on yield and water use efficiency of drip-irrigated corn. *Agricultural Water Management* 95(7):836-844. Hidalgo-Sánchez, M.G., V.A. González-Hernández, L.E. Mendoza-Onofre, N. Cruz-Huerta, I. Ramírez-Ramírez. 2020. Desempeño de arquetipos de maíz (*Zea mays* L.) en dos densidades de población. *Agrociencia* 54: 491-504.

## EFFECTO DE FERTILIZACIÓN CON COMPOSTA Y BIOL EN LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE FRIJOL DE TEMPORAL EN EL BAJÍO, MÉXICO

Rubén García-Silva<sup>1\*</sup>, Alfredo Josué Gámez-Vázquez<sup>1</sup>, Ramón Garza-García<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Campo Experimental Bajío, INIFAP, <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México, INIFAP  
\*Autor para correspondencia: [garcia.ruben@inifap.gob.mx](mailto:garcia.ruben@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Abono, foliar, *Faseolus vulgaris*.

### Introducción

La superficie sembrada de frijol bajo temporal en México promedio de los últimos cinco años es de 1'302,400 ha con un grado de siniestralidad de 7.1 % y rendimiento medio de 0.551 t ha<sup>-1</sup>; lo cual repercute en el abasto de la demanda este grano básico del orden de 24 %. En el estado de Guanajuato, en dicho régimen de humedad, se establece con esta leguminosa alrededor del 5 % y aporta el 6 % de la producción nacional (SIAP, 2020).

Lo anterior, obliga a realizar una fertilización eficiente a fin de sostener la producción que demanda la población, pero con un manejo sustentable a base de bioinsumos por ser más diversos nutrimentalmente y más económicos que los fertilizantes convencionales, como son las compostas y los bioles; Bimová y Pokluda (2009) señalaron que los abonos orgánicos representan una alternativa al uso de la fertilización inorgánica, a la cual podrían sustituir parcial o totalmente, por contribuir a la disminución de costos e incremento del beneficio-costo, sin merma de los rendimientos.

A fin de cumplir con la demanda nutrimental del cultivo, se hace necesario tomar en cuenta el origen del bioinsumo, la dosis, el método de aplicación; Bertsch *et al.* (2009) argumentaron que hay buena sinergia entre una fertilización orgánica base al suelo al aumentar la capacidad de disponibilidad de nutrientes y la complementada foliarmente por su incorporación vía estomática y cuticular en la planta. Al respecto, Al-Ajlouni *et al.* (2017) indicaron que la frecuencia de aplicación de un biol representa un factor clave en la producción de cultivos debido a que esta determina la dosis total, la cual resulta más efectiva al aplicarla a nivel semanal y está en función de la demanda nutrimental del cultivo.

### Objetivo

Evaluar el efecto de la fertilización con composta y biol en los componentes del rendimiento de frijol de temporal cv Pinto Saltillo en la región de El Bajío, México.

### Materiales y métodos

El trabajo de fertilización orgánica de frijol con composta y biol se estableció a triple hilera y en condiciones de temporal en el Campo Experimental Bajío, INIFAP en Celaya, Gto., México, durante el ciclo PV 2021. Este sitio se localiza en las coordenadas: 20° 37' 44" N y 100° 49' 28" W y posee una altitud de 1,704 m. Se utilizó como diseño de tratamientos la factorial 2<sup>3</sup> + 2 adicionales, un total 10 tratamientos; los factores fueron: composta, método de suministro de biol en drench y foliar, cuyos niveles fueron sin y con. Se utilizó el diseño experimental bloques completamente al azar, con tres repeticiones; los tratamientos estudiados fueron: 1) testigo absoluto (sin fertilización), 2) Fertilización con biol foliar, 3) fertilización con biol en drench, 4) Fertilización con biol foliar y en drench, 5) fertilización con composta sola, 6) Fertilización con composta + biol foliar, 7) Fertilización con composta + biol en drench, 8) Fertilización con composta + biol en drench + foliar y adicionales 9) Fertilización con 5 t ha<sup>-1</sup> de composta + biol foliar y 10) Fertilización con 10 t ha<sup>-1</sup> de composta + biol foliar. El tamaño de parcela experimental fue una melga a triple hilera de 1.5 m de ancho x 4 m largo = 6.0 m<sup>2</sup>, cuyas parcelas útiles las constituyeron los 2.0 m centrales.

Se realizó el análisis de varianza y comparación de medias con el procedimiento Tukey con un nivel de probabilidad de p<0.05, mediante el software SAS v. 9.3.

Se utilizó una composta mineralizada 60-40, la parte orgánica constituida de estiércol y residuos de cosecha y la parte mineral estuvo conformada de polvos de basalto y toba volcánica; las dosis de composta de 3 y 5 t ha<sup>-1</sup> se aplicaron en banda en el fondo del surco y enterrada y la de 10 t ha<sup>-1</sup> se aplicó en una

capa uniforme en la melga y se enterró, todas las aplicaciones de composta fueron al momento de la siembra. El biol utilizado fue derivado de la digestión anaerobia de extractos de estiércol de codorniz, de cabra y ave + vaca + cabra estabilizados a los 145 días. El biol se aplicó en drench, éste consiste en dirigir la aplicación al suelo y cercano a los tallos del cultivo, en una dosis de 60 mL L<sup>-1</sup> de agua (6 %) desde la siembra, desarrollo vegetativo, botonamiento, formación y llenado de grano y, la dosis de forma foliar fue de 15 mL L<sup>-1</sup> de agua (1.5 %) desde quinta hoja hasta llenado de grano.

El manejo consistió en la preparación del terreno mediante un paso de desmenuzadora de la maleza verde y dos pasos de rastra, posteriormente se trazó el surcado a triple hilera (37.5 cm entre hileras y un ancho de melga de 1.5 m). La siembra se realizó en suelo húmedo y se fue colocando la semilla variedad Pinto Saltillo sobre la composta a cada 10 cm de distancia a una profundidad de 5 cm. El control de malezas se realizó de manera integral, una labor de cultivo, deshierbes manuales y una aplicación de herbicida sistémico y; para el control de la chicharrita se aplicó cipermetrina.

Las variables registradas fueron: rendimiento de grano (RG), Vainas por planta (VP), Granos por vaina (GV), Días a floración (DF), Días a madurez (DM), Cobertura vegetal (CoV), Clorofila Spad (CLO), Densidad de población a cosecha (DP) y reacción a enfermedades (RE). Previo a la preparación del terreno, se aplicó un análisis de fertilidad y físico al suelo.

## Resultados y discusión

El suelo de estudio posee un pH neutro, bajo contenido de materia orgánica, una capacidad de intercambio catiónico media, alto contenido de nitrógeno y fósforo, muy alto en K, mediano a medianamente altos en Ca y Mg, alto en Zn, muy bajo en Fe y S, bajo y moderadamente bajo en Mn y Cu respectivamente. Durante el ciclo del cultivo se tuvo una precipitación pluvial acumulada de 432 mm, con una distribución irregular, al final del ciclo hubo un déficit hídrico desde el llenado de grano hasta madurez, debido a fecha de siembra tardía esto tuvo repercusiones desfavorables al cultivo; la temperatura media máxima fue de 27.2 °C y la media mínima fue de 13.2 °C.

El ANVA aplicado al ensayo muestra que los tratamientos estudiados tuvieron efecto altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en el RG y en la DP a cosecha, tuvieron significancia ( $p \leq 0.05$ ) a RE y a CoV, no se encontró efecto significativo a CLO, VP, GV, DF, DM e IC. Los porcentajes correspondientes al coeficiente de variación (CV) se mantuvieron aceptables, excepto RG superó ligeramente el valor estandarizado (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de rendimiento y componentes del rendimiento de frijol variedad Pinto Saltillo.

Variable	Significancia	CV (%)
<b>Rendimiento de grano</b>	**	25.8
<b>Vainas por planta</b>	NS	18.5
<b>Granos por vaina</b>	NS	7.4
<b>Índice de cosecha</b>	NS	6.7
<b>Días a floración</b>	NS	2.9
<b>Días a madurez</b>	NS	0.9
<b>Cobertura vegetal</b>	*	9.6
<b>Clorofila Spad</b>	NS	8.3
<b>Densidad de población</b>	**	16.8
<b>Reacc. a enfermedades</b>	*	15.9

La incidencia de enfermedades de la raíz en los tratamientos 4 y 1 fue de moderada a severa, en base a biol sin composta y el testigo absoluto respectivamente, le siguió un segundo grupo de tratamientos con daños intermedios que si llevan composta y el de menor daño por enfermedades de la raíz lo mostraron aquellos tratamientos en donde se aplicó la dosis de composta de 3, 5 y 10 ton ha<sup>-1</sup> con complemento de biol en drench en el primer caso y en los otros dos el biol se aplicó foliarmente (Cuadro 2); al respecto, García-Silva *et al.* (2020) lograron satisfacer la demanda nutrimental del cultivo de frijol con la dosis de 10 t ha<sup>-1</sup> de composta al maximizar el rendimiento y mejora de los componentes de rendimiento de frijol en un suelo de baja fertilidad,

con cuya dosis se satisfizo la demanda nutrimental y se incrementó el rendimiento, con aporte significativo de K y Mn y, un ligero incremento de CE, resultando un efecto en detrimento del crecimiento del cultivo con una dosis mayor.

La DP a cosecha más alta la alcanzó el tratamiento que lleva la dosis de 10 t ha<sup>-1</sup> de composta, sin diferencia estadística con los tratamientos que llevan composta y, las más bajas DP a cosecha correspondió al tratamiento testigo absoluto y el que lleva biol en drench y foliar sin composta; cabe destacar que la incidencia de enfermedades de la planta tuvo una alta correlación negativa con la diferenciación de la densidad de población del cultivo (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Comparación de medias de variables con efecto significativo de los tratamientos estudiados.

Trat.	Recc. a enfermedades	Trat.	Den. de población	Trat.	Rendimiento de grano
4	1.9107 a	10	137779 a	10	943.0 a
1	1.8214 a	7	115556 ab	7	930.3 a
2	1.4880 ab	9	111112 ab	9	886.7 a
3	1.4142 ab	6	111112 ab	8	813.3 ab
8	1.4142 ab	8	104445 ab	2	782.7 ab
5	1.3821 ab	3	104445 ab	6	655.7 ab
9	1.3821 ab	5	102223 ab	5	639.0 ab
6	1.3821 ab	2	100000 ab	1	564.3 ab
7	1.276 ab	1	75556 b	3	524.3 ab
10	1.138 b	4	73334 b	4	331.0 b

Los mayores RG se lograron con el tratamiento fertilizado con 3 t ha<sup>-1</sup> de composta y complementado con el biol en drench, sin diferencia estadística con los RG alcanzados con los tratamientos con 5 y 10 t ha<sup>-1</sup> de composta, éstos dos últimos complementados con el biol aplicado foliarmente, lo que indica la primera dosis fue la requerida para optimizar el rendimiento en estas condiciones de suelo y ambiente; el más bajo rendimiento se alcanzó donde se aplicó el biol solo tanto en drench como foliar sin composta (Cuadro 2). Cabe señalar que RG y reacción a enfermedades se correlacionaron negativamente, en tanto con la DP hubo una correlación favorable.

## Conclusiones

La fertilización con composta y biol afectó significativamente al rendimiento de grano de frijol, cobertura vegetal, reacción a enfermedades y densidad de población a cosecha.

La mayor respuesta de rendimiento de grano de frijol fue con la aplicación de 3 t ha<sup>-1</sup> de composta mineralizada complementada con aplicaciones semanales de biol en drench, sin diferencia estadística con las dosis 5 y 10 t ha<sup>-1</sup> de composta.

La incidencia de enfermedades de la raíz de la planta se correlacionó negativamente con la densidad de población a cosecha y ésta última favorablemente con el rendimiento de grano de frijol.

La aplicación de 10 t ha<sup>-1</sup> de composta favoreció significativamente la supresión de incidencia de enfermedades en el cultivo de frijol, reflejada en una mayor densidad de población a cosecha y un rendimiento de grano de frijol más alto.

## Agradecimientos

Extiendo mi agradecimiento al INIFAP por el financiamiento otorgado al presente trabajo, a través del proyecto 13473734935 “Proyecto integral de mejoramiento genético y difusión de tecnología de frijol para valles altos y zonas de transición de la mesa central”.

## Referencias bibliográficas

Al-Ajlouni, M. G., J. Y. Ayad, and Y. A. Othman. 2017. Increasing nutrient levels promote growth and flower quality in lilies grown under soilless culture. Hort. Sci. (Prague) 44: 171–177.



- Bertsch, F., F. Ramírez, y C. Henríquez. 2009. Evaluación del fosfito como fuente fertilizante de fósforo vía radical y foliar. *Agron. Costarr.* 33: 249 - 265.
- Bímová, P. y R. Pokluda (2009) Impact of organic fertilizers on total antioxidant capacity in head cabbage. *Hort. Sci. (Prague)* volumen 36: pp. 21 – 25.
- García-Silva R., Villalobos-Reyes S. y Gámez-Vázquez A. J. 2020. Efecto de hileras por melga y dosis de composta en componentes de rendimiento de frijol. P. 2097 – 2107, En: Pérez-Muñoz J.A., Vázquez-Puente F. y Tolentino-Calderón E. y Arzate-Barbosa J. (2020). Memoria congreso internacional de investigación e innovación multidisciplinaria (3) 1. Cortazar, Gto., México.
- SIAP (Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera). 2020. Producción agrícola. Histórico de Avance de Siembras y Cosechas, frijol de temporal de 2016 a 2020. <https://www.gob.mx/siap>. (consulta:1/09/2023). Sección: *Suelo.- Aprovechamiento sostenible*

## CUANTIFICACIÓN DE RESERVAS DEL CARBONO EN SUELO DE UN CULTIVO DE MAÍZ Y TRITICALE ABONADOS CON LODOS DE UN BIODIGESTOR

Janeth Berenice Carrillo-Castañeda<sup>1,2</sup>, Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>2\*</sup>, Paola Guadalupe Gutiérrez-Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sociedad Cooperativa Agropecuaria de la Comarca Lagunera. <sup>2</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA) INIFAP

\*Autor para correspondencia: puente.cristo@inifap.gob.mx

**Palabras Clave.** Carbono, reserva, fracciones

### Introducción

Todos los seres vivos estamos constituidos por diferentes elementos entre ellos el carbono, la disposición de sus cuatro electrones de valencia es capaz de formar diversos compuestos como: proteínas, lípidos y carbohidratos. Hoy en día se han estudiados sus implicaciones ambientales, nutrimentales y económicas (Salazar *et al.*, 2019). Dentro del ámbito ambiental, el ciclo biogeoquímico del carbono ha sido alterado significativamente como producto de diversas actividades antrópicas que dan lugar a alteraciones significativas en el ambiente produciendo el llamado efecto invernadero, producido por el incremento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Salazar *et al.*, 2019). También forma parte de la materia orgánica, la cual se puede entender como los restos orgánicos provenientes animales y vegetales, dado que la materia orgánica es desde el contexto físico una fuente de carbono que aporta diversos beneficios al suelo, entre ellos la retención de humedad, su estructura, la reserva nutrimental y la diversidad biológica del mismo. (FAO; Lal *et al.*, 2015). En las últimas décadas se han desarrollado nuevos conceptos de sistemas de producción agrícola, basados en la conservación del suelo. La diversificación de cultivos, el reciclaje de nutrientes, el uso sistemático de fertilizantes orgánicos y otras prácticas alternativas han sido útiles en un intento de equilibrar la productividad con conservación del medio ambiente y evitar la erosión en el suelo o su deterioro (Cooper *et al.*, 2021; González *et al.*, 2015). El estudio y monitoreo del carbono tiene también un impacto económico, ya que diferentes instituciones en distintos países reconocen la importancia de la fijación de carbono como reserva. Se considera un sumidero de carbono al secuestro de dicho elemento en el suelo al contribuir al abatimiento, disminución y retención de emisiones de dióxido de carbono, para esto se realizan acuerdos mundiales combinados con políticas de intervención pública que mejoran y responden a la ecuación costo-beneficio implementando programas para la compra de bonos de carbono.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue evaluar las reservas del carbono orgánico e inorgánico del suelo en sus diferentes fracciones en un sistema productivo de forrajes maíz a través del tiempo

### Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en el norte de México en el Estado Durango en el municipio de Gómez Palacio en el predio el porvenir con una longitud 100°14'22.6"W (-100.239609), latitud 25°46'53.98"N (25.781656). El trabajo comprendió 5 muestreos desde febrero del 2020 hasta abril del 2022 en 3 puntos diferentes a cuatro profundidades (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm y 90-120 cm). El estudio se realizó en el laboratorio de CENID-RASPA. Las muestras se secaron a temperatura ambiente, se trituraron y tamizaron a 2mm)

La concentración de carbono orgánico se determinó utilizando una adaptación del método descrito por Rovira & Vallejo 2002 y Chain *et al.*, 2022, de manera que se generaron tres fracciones de carbono orgánico, la correspondiente a la reserva rápida (lábil), reserva intermedia (medio recalcitrante) y reserva tardía (recalcitrante). Todas las fracciones fueron cuantificadas tomando una alícuota del sobrenadante respectivo, analizadas contra blanco reactivo a 620 nm en un espectrofotómetro Genesys® 20. Finalmente, para el cálculo del carbono orgánico total se sumaron cada una de las fracciones y para el cálculo total del carbono se aplicó factor 0.12 correspondiente a la fracción molar del carbono en los carbonatos de calcio. Como control de calidad de las mediciones analíticas se analizaron con esta metodología los estándares

de carbono orgánico en suelo: Leco® (502-697) y el set de siete estándares de Elemental Microanalysis® (B2196); utilizando el estándar Leco® (502-962, COT = 0.717 %) como calibrador. Finalmente, todos los resultados se analizaron en el software estadístico GraphPad Prism (versión 9.4.1 para Windows, GraphPad Software, San Diego, California USA, [www.graphpad.com](http://www.graphpad.com)). Estos mismos se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA) utilizando prueba de medias Tukey ( $p < 0.05$ ) para el análisis de diferencia significativa entre los tratamientos.

## Resultados y discusión

El cuadro 1 representa en porcentaje del contenido de carbono existente en el suelo estudiado en el cual nos indica a través del tiempo la acumulación que se mantuvo a diferentes profundidades, donde en la profundidad de 0-30 cm se observa la mayor reserva de carbono en todas sus fracciones las en la fracción de carbono orgánica lábil se observa una acumulación con una media de 0.51 al inicio del ciclo y al pasar 24 meses aumento a 0.66 la media por qué aumento la acumulación del carbono en esta profundidad, recordemos que la fracción lábil es la fracción más asimilables para los microorganismos por lo que el resultado en este caso es alto.

En el caso del carbono recalcitrante es decir el carbono más difícil de asimilar para los microorganismos debido a su compactación de cadenas de carbono que contiene se mantiene alto a pesar de ser una profundidad superficial siendo al inicio de temporada (T0) 0.52 y al llegar al tiempo cuatro (T4) se mantienen en una reserva de 0.42 por ciento la media de acumulación del carbono al final del ciclo después de 2 años.

**Cuadro 1.** Representación de las reservas de carbono en sus diferentes fracciones a través del tiempo profundidad 0-30 y 30-60 cm

PF	DT	T0	T1	T2	T3	T4
		( $x \pm s$ ) (min-máx.)	( $x \pm s$ ) (min-máx.)	( $x \pm s$ ) (min-máx.)	( $x \pm s$ ) (min-máx.)	( $x \pm s$ ) (min-máx.)
0-30	CI	0.51 $\pm$ 0.22	0.51 $\pm$ 0.19	0.45 $\pm$ 0.23	0.31 $\pm$ 0.21	0.66 $\pm$ 0.16
		0.21 - 0.78	0.18 - 0.77	0.14 - 0.81	0.12 - 0.79	0.42 - 0.89
	CMR	0.40 $\pm$ 0.13	0.25 $\pm$ 0.03	0.34 $\pm$ 0.15	0.15 $\pm$ 0.07	0.25 $\pm$ 0.08
		0.19 - 0.53	0.23 - 0.30	0.16 - 0.63	0.08 - 0.32	0.13 - 0.36
	CR	0.52 $\pm$ 0.15	0.47 $\pm$ 0.18	0.52 $\pm$ 0.16	0.34 $\pm$ 0.18	0.42 $\pm$ 0.07
		0.34 - 0.77	0.19 - 0.65	0.28 - 0.76	0.18 - 0.67	0.32 - 0.49
	CaCO <sub>3</sub>	9.74 $\pm$ 0.53	10.17 $\pm$ 0.72	9.88 $\pm$ 1.18	9.85 $\pm$ 0.36	9.39 $\pm$ 0.55
		9.19 - 10.62	9.31 - 11.14	7.64 - 11.36	9.39 - 10.62	8.60 - 9.89
CT	2.79 $\pm$ 0.56	2.45 $\pm$ 0.48	2.49 $\pm$ 0.68	1.98 $\pm$ 0.50	2.45 $\pm$ 0.37	
	1.26- 3.35	1.71 -3.05	1.49 -3.56	1.50 -3.26	1.90-2.92	
30-60	CI	0.26 $\pm$ 0.12	0.32 $\pm$ 0.09	0.29 $\pm$ 0.11	0.20 $\pm$ 0.15	0.33 $\pm$ 0.08
		0.1 - 0.42	0.2 - 0.48	0.11 - 0.47	0.11 - 0.48	0.24 - 0.49
	CMR	0.26 $\pm$ 0.11	0.2 $\pm$ 0.03	0.27 $\pm$ 0.14	0.11 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.03
		0.08 - 0.43	0.18 - 0.24	0.15 - 0.58	0.08 - 0.20	0.13 - 0.22
	CR	0.37 $\pm$ 0.15	0.57 $\pm$ 0.05	0.43 $\pm$ 0.15	0.23 $\pm$ 0.14	0.29 $\pm$ 0.04
		0.15 - 0.60	0.48 - 0.62	0.16 - 0.62	0.13 - 0.48	0.23 - 0.35
	CaCO <sub>3</sub>	10.02 $\pm$ 1.33	10.77 $\pm$ 0.6	10.62 $\pm$ 1.14	10.96 $\pm$ 0.85	10.8 $\pm$ 1.32
		7.47 - 12.35	10.18 - 11.86	9.15 - 12.13	9.55 - 12.33	9.27 - 12.36
CT	2.09 $\pm$ 1.03	2.38 $\pm$ 0.24	2.38 $\pm$ 0.53	1.85 $\pm$ 1.18	2.09 $\pm$ 0.30	
	1.22-2.93	2.08 - 2.76	1.56- 3.12	1.46 - 2.85	1.71 - 2.54	

PF: Profundidad, DT: Determinación, CL: Carbono Lábil, CMR: Carbono Medio Recalcitrante, CR: Carbono Recalcitrante, CaCO<sub>3</sub>: Carbonatos Totales, CT: Carbono Total, T0: Tiempo de inicio, T1: Tiempo a los 6 meses, T2: Tiempo a los doce meses, T3: Tiempo a los dieciocho meses, T4: Tiempo a los veinticuatro meses.

El cuadro 2 se observa que en la profundidad de sesenta a noventa centímetros las reservas de carbono no aumentaron a través del tiempo, quedando en todas sus fracciones con el mismo porcentaje que al inicio, en el carbono recalcitrante se mantuvo en una reserva de 0.32 la media al inicio del ciclo (T0) y el 0.21 al (T4), y en las profundidades las reservas de carbono total al inicio es decir en el tiempo cero (T0)

fueron de 1.88 y 1.52 la media y al terminar el en el mes 24 en ambos casos fue de 1.65 y 1.48 de acumulación del carbono total.

**Cuadro 2.** Representación de las reservas de carbono en sus diferentes fracciones a través del tiempo profundidad 60-90 y 90-120 cm.

PF	DT	T0 ( $\bar{x} \pm s$ ) (min-máx.)	T1 ( $\bar{x} \pm s$ ) (min-máx.)	T2 ( $\bar{x} \pm s$ ) (min-máx.)	T3 ( $\bar{x} \pm s$ ) (min-máx.)	T4 ( $\bar{x} \pm s$ ) (min-máx.)
60-90	CL	0.19 ± 0.09	0.22 ± 0.02	0.18 ± 0.07	0.10 ± 0.08	0.18 ± 0.04
		0.07 - 0.33	0.2 - 0.24	0.08 - 0.27	0.06 - 0.31	0.12 - 0.26
	CMR	0.21 ± 0.08	0.19 ± 0.05	0.17 ± 0.05	0.08 ± 0.04	0.18 ± 0.07
		0.04 - 0.29	0.15 - 0.29	0.11 - 0.27	0.05 - 0.17	0.09 - 0.32
	CR	0.32 ± 0.12	0.45 ± 0.03	0.33 ± 0.18	0.18 ± 0.09	0.21 ± 0.06
		0.12 - 0.53	0.39 - 0.48	0.08 - 0.55	0.13 - 0.42	0.11 - 0.27
CaCO <sub>3</sub>	8.99 ± 1.27	10.8 ± 0.94	9.59 ± 3.84	9.84 ± 1.35	8.86 ± 1.82	
	6.93 - 10.59	9.75 - 12.13	9.15 - 12.21	7.80 - 12.21	6.87 - 12.12	
C T	1.88 ± 0.47	2.15 ± 0.21	1.91 ± 0.76	1.54 ± 0.37	1.65 ± 1.99	
	1.08 - 2.42	1.99 - 2.46	1.40 - 2.55	1.17 - 2.47	1.14 - 2.30	
90-120	CL	0.13 ± 0.05	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.11	0.06 ± 0.02	0.14 ± 0.05
		0.02 - 0.20	0.14 - 0.21	0.03 - 0.40	0.03 - 0.12	0.05 - 0.21
	CMR	0.18 ± 0.12	0.19 ± 0.06	0.14 ± 0.05	0.06 ± 0.01	0.13 ± 0.05
		0.06 - 0.48	0.12 - 0.30	0.05 - 0.21	0.03 - 0.07	0.08 - 0.19
	CR	0.28 ± 0.08	0.36 ± 0.03	0.28 ± 0.10	0.16 ± 0.05	0.2 ± 0.04
		0.18 - 0.38	0.33 - 0.41	0.11 - 0.42	0.1 - 0.24	0.15 - 0.25
CaCO <sub>3</sub>	7.78 ± 1.19	9.25 ± 1.1	9.41 ± 1.85	7.30 ± 2.8	8.42 ± 0.79	
	6.83 - 10.17	8.00 - 10.66	6.65 - 12.13	6.10 - 9.07	7.54 - 9.73	
C T	1.52 ± 0.39	1.82 ± 0.25	1.70 ± 0.48	1.18 ± 2.88	1.48 ± 0.23	
	1.07 - 2.28	1.55 - 2.19	0.98 - 2.48	0.91 - 1.51	1.18 - 1.81	

PF: Profundidad, DT: Determinación, CL: Carbono Lábil, CMR: Carbono Medio Recalcitrante, CR: Carbono Recalcitrante, CaCO<sub>3</sub>: Carbonatos Totales, CT: Carbono Total, T0: Tiempo de inicio, T1: Tiempo a los 6 meses, T2: Tiempo a los doce meses, T3: Tiempo a los dieciocho meses, T4: Tiempo a los veinticuatro meses.

En la figura 1 en los cambios de reserva de carbono con respecto al tiempo se observa que en la en panel A en las reservas de carbono inorgánico en forma de carbonatos totales en el tiempo (T3) que corresponde a los 18 meses tiene significancia con respecto al tiempo cero (T0) que es el tiempo de inicio 20 % de incremento. En la profundidad 90-120 que corresponde al panel D se observa un incremento de un 60 % en los carbonatos totales es decir el carbono inorgánico a contraste con el tiempo cero (T0) el tiempo de inicio con un 40 %. En el carbono recalcitrante en las cuatro profundidades a través del tiempo se observa que no hay decremento a través del tiempo recordando que son las principales reservas de carbono que existen en el suelo. En la fracción lábil del carbono del suelo en el panel A y B se mantiene hasta un 25 %, sin embargo, al llegar a las profundidades de 60-90 y 90-120 (C y D) si va en decremento hasta un 15 % más bajo. Se menciona que el cambio que se genera en las fracciones orgánicas del suelo en cada sistema agrícola se relaciona con el tipo de cultivo, labranza y fertilización, además de las especies vegetales que abundan en el sector por que en estos suelos cada año se cultivan dos especies diferentes en primavera maíz, y en invierno triticali.

Sin embargo, en sus resultados muestran que en la heterogeneidad de los almacenes es decir suelo mineral total, en diferentes profundidades y fracciones, tienen relación con factores climatológicos como altitud, clima edad, superficie, por lo que impide analizar los factores determinantes de la capacidad de captura de carbono. Por lo que se requiere todavía de más estudio del comportamiento de los suelos en el norte de México donde se pueda dar a conocer a detalle la captura de las reservas de carbono.

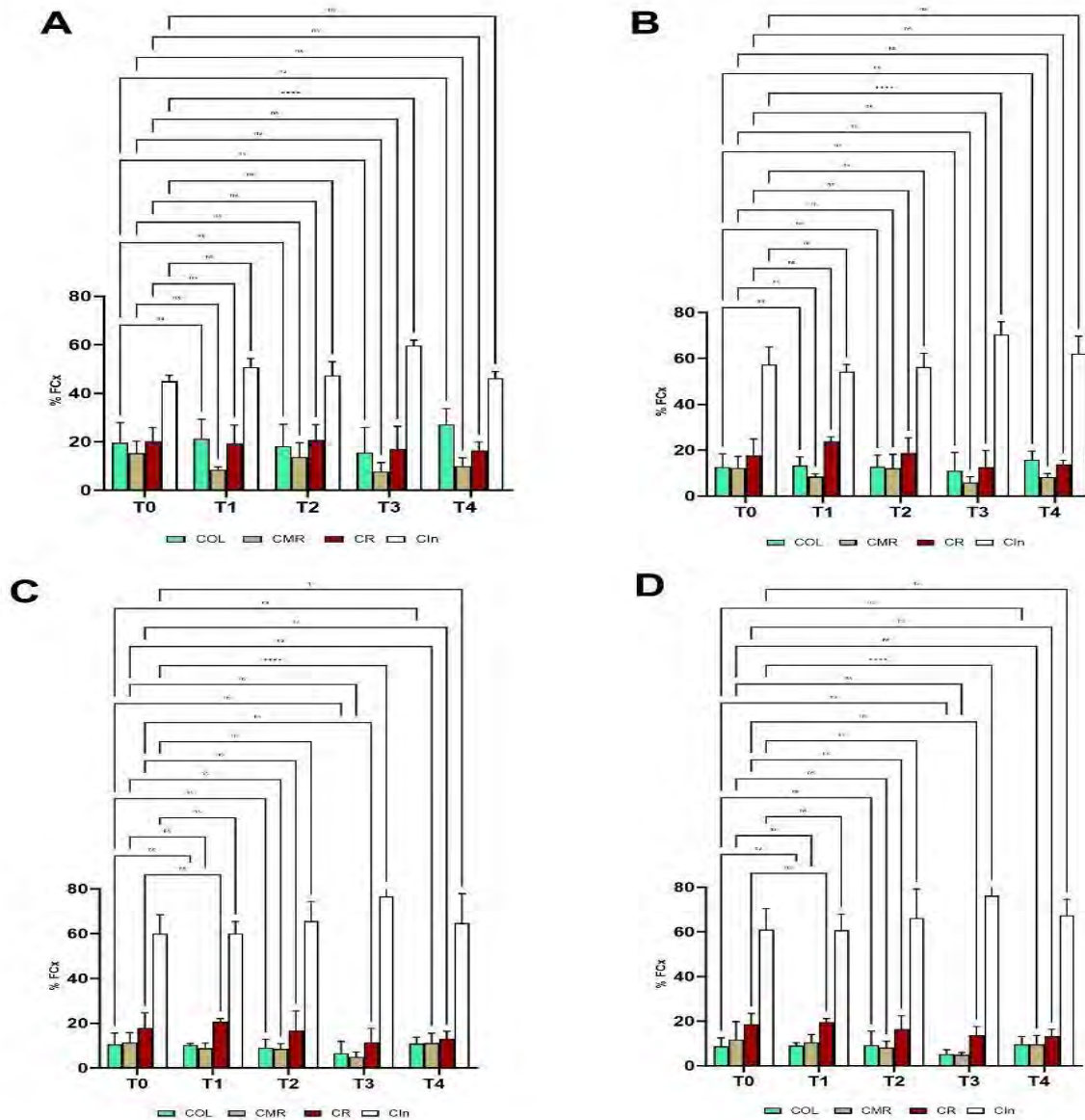


Figura 1. Fracciones porcentuales de las reservas de carbono en el suelo

## Conclusiones

La mayor reserva sigue siendo la del carbono inorgánico, los resultados muestran que el uso adecuado del suelo puede aportar buena reserva de carbono recalcitrante a profundidades fuera de la zona de influencia radicular.

La presencia de los carbonatos de calcio tiene un efecto de imprimación positivo en el carbono orgánico del suelo, la emisión de dióxido de carbono, en una relación inversa. Es importante detallar con estudios subsiguientes que midan el efecto específico de los carbonatos de calcio y emisiones del dióxido de carbono.

## Agradecimientos

Laboratorio de suelos CENID RASPA INIFAP y Laboratorio de análisis fisicoquímico y microbiológicos de agua, suelo y planta de la sociedad cooperativa agropecuaria de la laguna.

### **Fuente financiera**

Recurso Autogenerado

### **Referencias bibliográficas**

Cooper, Hvet., 2021. La labranza cero a largo plazo mejora la protección del carbono del suelo en la agricultura tropical. EUR J. Ciencias de Suelo 72, 2477-2492.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2015. FAO. Roma. 2015.

Gonzalez, U. S.; Mar Domingo J. I.; de la Cruz, M. T., 2015; How do biodegradable organic residues affect soil CO<sub>2</sub> emissions? Case study of a Mediterranean agro-ecosystem. Soil and Tillage Research. Vol. 153: 48-58

Salazar, F., Valencia, M., Velasco, A., & Ochoa-Herrera, V. de L. (2019). Actualización de la huella de carbono de la Universidad San Francisco de Quito para el año 2015. ACI Avances En Ciencias E Ingenierías, 11(2).



## LEGUMINOSAS COMO ALTERNATIVA PARA EL APORTE DE BIOMASA Y NUTRIENTES EN SUELOS CALCÁREOS DE QUINTANA ROO

Moisés Matías-Ramos <sup>1</sup>; Claudia Isabel Hidalgo-Moreno <sup>1</sup>; Mariela Fuentes-Ponce <sup>2</sup>; Julián Delgadillo-Martínez <sup>1</sup>; Jorge Dionisio Etchevers-Barra <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Edafología, Colegio de Postgraduados, <sup>2</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

\*Autor para correspondencia: matias.moises@colpos.mx

**Palabras clave.** Degradación del suelo, suelos agrícolas, fertilidad.

### Introducción

La pérdida de la fertilidad de los suelos agrícolas es un problema grave que atenta contra la seguridad alimentaria. En el informe sobre el estado mundial del recurso suelo (FAO y GTIS, 2015) indican que los suelos infértiles y el bajo suministro de nutrientes a cultivos en algunas regiones son un importante contribuyente a la brecha de rendimiento.

A nivel país, existen pocos estudios que evalúan la degradación de los suelos, en este trabajo, se hace referencia al realizado por la SEMARNAT y el CP en el año 2003 en el que reporta que el 44.9% de los suelos de México presenta algún proceso de degradación. En el estado de Quintana Roo el 25.7% de su territorio presenta problemas de disminución de la fertilidad mediante la pérdida de sus propiedades químicas (SEMARNAT, 2012). Es muy probable que en los últimos 20 años esa cifra haya experimentado cambios en el sentido que las cifras de cada clase sean aún mayores.

La problemática de pérdida de la fertilidad de los suelos afecta a los pequeños productores como es el caso de los agricultores de la comunidad de Maya Balam, Quintana Roo donde la intensificación de la agricultura ha aumentado la presión sobre la calidad y productividad de sus suelos. El uso de leguminosas son una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos tropicales por su alto potencial en la fijación de Nitrógeno y otros elementos al suelo, representan una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos tropicales degradados, al incorporar materia orgánica al suelo (MOS) que mejora sus características (Prager *et al.*, 2012).

### Objetivo

Evaluar el potencial de especies de leguminosas locales mediante la medición de indicadores para determinar las mejoras en la fertilidad de suelos calcáreos.

### Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en el año 2021 en terrenos agrícolas bajo manejo tradicional en la comunidad de Maya Balam, ubicado en el municipio de Bacalar, Quintana Roo. Se utilizaron especies de leguminosas locales: para el tratamiento uno (T1) se estableció la especie de *Mucuna pruriens* a una densidad de 10,000 plantas por hectárea, para el tratamiento dos (T2) *Phaseolus vulgaris* con una densidad de 111,111 plantas por hectárea y para el tratamiento tres (T3) *Clitoria ternatea* con una densidad de 33,333 plantas por hectárea, todas ellas asociadas con maíz criollo (*Zea mays*) y un testigo en el que se estableció únicamente maíz criollo. El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar por el gradiente de variación ya que el experimento se estableció a campo abierto.

Después del desarrollo de las especies (≈90 días), se levantaron muestras de las leguminosas para determinar su biomasa en laboratorio, en la muestra vegetal se determinaron los siguientes elementos: Nitrógeno por digestión H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> con titulación por arrastre de vapor y P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn por digestión de HNO<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub> 2:1. Después de ≈180 días se levantaron muestras de suelo y se analizaron las siguientes propiedades químicas: conductividad eléctrica (CE), nitrógeno Kjeldhal (NKjeldhal), materia orgánica (MO), fósforo extraíble (P Olsen), bases de intercambio (Ca, Mg y K) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La determinación de la biomasa, los elementos químicos en el material vegetal y el análisis químico del suelo, se realizaron en el laboratorio de fertilidad y química ambiental del Colegio de postgraduados, campus Montecillo. Para comparar los datos se aplicó el análisis de varianza de dos factores con la prueba de tukey con un nivel de significancia de 0.05%.

## Resultados y discusión

La cantidad de biomasa aérea producida por las especies establecidas es importante porque determina su potencial para su uso como cultivo de cobertura o como abono verde del suelo. En el Cuadro 1 se indica la biomasa seca obtenida en las especies evaluadas.

**Cuadro 1.** Producción de biomasa seca ( $t\ ha^{-1}$ ) en los tratamientos.

BIOMASA (SECA)	
TRATAMIENTO	$t\ ha^{-1}$
Testigo (Maleza " <i>Melanthera nivea</i> ")	4.48±0.36 <sup>b</sup>
TI ( <i>Mucuna pruriens</i> )	9.16±1.15 <sup>a</sup>
TII ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.08±0.22 <sup>c</sup>
TIII ( <i>Clitoria ternatea</i> )	1.20±0.26 <sup>c</sup>

La especie *Mucuna pruriens* fue la que tuvo mayor cantidad de biomasa con un peso de  $9.16\ t\ ha^{-1}$ , en un trabajo similar realizado en la península de Yucatán se determinó que la misma especie generó  $5.4\ t\ ha^{-1}$  de biomasa seca (Castillo *et al.* 2010), mientras que, en el este de Uganda, África, esta especie llegó a producir hasta  $7.9\ t\ ha^{-1}$ . Las malezas que se desarrollan naturalmente en el sitio tiene un importante aporte de biomasa seca ( $4.48\ t\ ha^{-1}$ ) y con una menor cantidad de biomasa se encuentran las especies de *Clitoria ternatea* ( $1.2\ t\ ha^{-1}$ ) y *Phaseolus vulgaris* ( $1.08\ t\ ha^{-1}$ ), Díaz *et al.* (2017) en el estado de Veracruz determinó que esta última especie tuvo un aporte de 2.71 a  $8.26\ t\ ha^{-1}$  de biomasa seca.

Después de cuantificar los elementos que aportan las especies de leguminosas evaluadas, se generó el Cuadro 2. Donde se indica la cantidad de macro elementos y micro elementos contenidos en la biomasa seca total en  $kg\ ha^{-1}$ .

**Cuadro 2.** Contenido de macro y micro nutrientes ( $kg\ ha^{-1}$ ) en la biomasa de las leguminosas.

Especie	N	P	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
	□	Kg $ha^{-1}$				□	□	Kg $ha^{-1}$	
<i>Mucuna pruriens</i>	236.6	15.00	164.3	16.74	0.02	0.57	0.15	0.33	0.44
<i>Phaseolus vulgaris</i>	29.6	2.59	41.9	4.27	0.02	0.32	0.07	0.04	0.10
<i>Clitoria ternatea</i>	28.9	1.70	23.7	8.63	0.02	0.31	0.02	0.06	0.23
Maleza ( <i>Melanthera nivea</i> )	76.2	5.97	127.8	22.65	0.02	1.23	0.08	0.14	0.46

Resalta la importancia de la especie de *Mucuna pruriens* por el contenido de nitrógeno en su biomasa ( $236\ kg\ ha^{-1}$ ) que puede mejorar el contenido de este elemento en el suelo. En un estudio realizado por Alpízar y Barboza (2002) determinaron que la especie de *M. pruriens* a los tres meses de desarrollo contiene  $216\ kg\ ha^{-1}$  de N,  $12\ kg\ ha^{-1}$  de P y  $79\ kg\ ha^{-1}$  de K. esta especie en particular tiene un desarrollo muy agresivo que influye en el aporte de una gran cantidad de M.O. además de los elementos indicados en el Cuadro 2 dónde también se observa que es recomendable utilizarlo por el aporte de microelementos que fueron similares a lo encontrado por Vega y Leblanc (2013) para *M. pruriens*. En el estudio realizado por Díaz *et al.* (2017) determinó que la especie *Phaseolus vulgaris* puede aportar de 14 hasta  $113\ kg\ ha^{-1}$  de N y *Clitoria ternatea* puede llegar a almacenar  $26.104\ kg\ ha^{-1}$  de N. cantidades no muy distantes de las que se encontraron en este trabajo de investigación.

Después de 6 meses de haber cortado y esparcido el material vegetal de las leguminosas sobre el área experimental, se analizó el suelo y se obtuvieron los siguientes resultados.

**Cuadro 3. Indicadores de la fertilidad del suelo después del uso de leguminosas.**

Especie	M.O. (%)	N (%)	P (mg kg <sup>-1</sup> )	K (meq 100g <sup>-1</sup> )	Ca (meq 100g <sup>-1</sup> )	Mg (meq 100g <sup>-1</sup> )	CE (mmho cm <sup>-1</sup> )	CIC (meq 100g <sup>-1</sup> )	CO3 (%)
<i>Mucuna pruriens</i>	7.09 ± 0.92 <sup>a</sup>	0.38±0.10 <sup>a</sup>	5.12±0.60 <sup>a</sup>	2.67±0.30 <sup>a</sup>	44.22±9.72 <sup>a</sup>	4.08±0.14 <sup>a</sup>	0.29±0.04 <sup>a</sup>	58.52±4.36 <sup>a</sup>	4.49±1.79 <sup>a</sup>
<i>Phaseolus vulgaris</i>	7.18±2.07 <sup>a</sup>	0.44±0.12 <sup>a</sup>	5.00±1.18 <sup>a</sup>	2.70±0.77 <sup>a</sup>	44.76±9.43 <sup>a</sup>	4.15±0.71 <sup>a</sup>	0.30±0.02 <sup>a</sup>	55.93±6.82 <sup>a</sup>	5.37±2.23 <sup>a</sup>
<i>Clitoria ternatea</i>	6.31±1.15 <sup>a</sup>	0.42±0.04 <sup>a</sup>	4.88±1.38 <sup>a</sup>	1.94±0.84 <sup>a</sup>	42.87±9.37 <sup>a</sup>	3.69±0.42 <sup>a</sup>	0.28±0.06 <sup>a</sup>	57.93±4.28 <sup>a</sup>	6.35±5.37 <sup>a</sup>
Maleza ( <i>Melanthera nivea</i> )	5.44±0.78	0.35±0.06 <sup>a</sup>	3.87±1.63 <sup>a</sup>	2.04±0.13 <sup>a</sup>	35.60±7.43 <sup>a</sup>	3.40±0.32 <sup>a</sup>	0.23±0.04 <sup>a</sup>	56.65±7.12 <sup>a</sup>	3.46±0.60 <sup>a</sup>

Al realizar el análisis de los datos con el test de Tukey con un nivel de confianza del 95%, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos para los elementos calculados y presentados en el Cuadro 3, sin embargo, al analizar las medias en las gráficas resultantes, se observó una tendencia con un ligero aumento en los elementos determinados, principalmente en el contenido de M.O. y N aportado por las leguminosas con respecto al testigo. Ayala *et al.* (2008) evaluaron la capacidad de *Canavalia ensiformis* (L.) DC. y *Mucuna pruriens* L. (DC) para mejorar la producción de maíz, determinó que después del cuarto año comienzan a notarse los beneficios en el suelo y en la producción. La disponibilidad de nutrientes en el suelo puede diferir y depende de la tasa descomposición de la materia orgánica, los resultados obtenidos en este trabajo pueden deberse a la tasa de descomposición de la materia orgánica en el sitio de estudio.

En cuanto al rendimiento por t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz (Cuadro 4.) se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en los tratamientos T1 (1.65 t ha<sup>-1</sup>) T2 (1.89 t ha<sup>-1</sup>) y T3 (1.75 t ha<sup>-1</sup>) con respecto al testigo (1.55 t ha<sup>-1</sup>), esto pudo deberse al aumento en los elementos químicos del suelo observado en las gráficas de medias.

**Cuadro 4. Rendimiento de maíz (*Zea mays*) asociado con especies de leguminosas.**

Tratamiento	t ha <sup>-1</sup>
Testigo (Maleza " <i>Melanthera nivea</i> ")	1.55±0.12 <sup>b</sup>
T1 ( <i>Mucuna pruriens</i> )	1.65±0.21 <sup>ab</sup>
TII ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	1.89±0.08 <sup>a</sup>
TIII ( <i>Clitoria ternatea</i> )	1.75±0.19 <sup>ab</sup>

La asociación de cultivos de leguminosas como mejoradores del suelo incrementaron la producción del cultivo asociado bajo manejo tradicional hasta 50%. La introducción de leguminosas asociadas con diferentes cultivos tropicales ha cambiado las prácticas convencionales, convirtiéndose en una tecnología que promueve la conservación del suelo y aumenta los rendimientos de los cultivos (Erenstein, 2002).

## Conclusiones

El objetivo planteado en esta investigación se cumplió ya que los resultados obtenidos en cuanto el aporte de macronutrientes en el suelo, fueron ligeramente favorecidos por la incorporación de materia orgánica con leguminosas, principalmente por la especie de *Mucuna pruriens*. La producción de grano de maíz fue mejor en los tratamientos asociados con leguminosas, determinando que su uso influye positivamente en la fertilidad del suelo, sobre todo porque puede mejorar otros factores como son las propiedades físicas y biológicas. La asociación de cultivos con especies de leguminosas locales como las evaluadas en este trabajo pueden ser una alternativa de manejo sustentable para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de cultivos asociados.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Al Colegio de postgraduados campus Montecillo, CONAHCYT y al Programa de Doctorado en edafología.

## Referencias bibliográficas

- Alpízar, L. y Barboza, C. 2002. Producción de biomasa y nutrimentos asociados de dos leguminosas de abono verde según tres densidades de siembra. *In I Congreso Nacional de Agricultura Conservacionista, 28-29 de Noviembre 2002*. San José (CR): Instituto Nacional de Innovación Tecnológica; MAG. pag. 1-3.
- Ayala, S. A.; Krishnamurthy, L. R. y Basulto, G. J. A. 2008. Leguminosas de cobertura para mejorar y sostener la productividad de maíz en el sur de Yucatán. *Terra Latinoam.* 27(1):63-69.
- Castillo, C. J. B.; Caamal-Maldonado, J. A.; Jiménez-Osornio, J. J. M.; Bautista-Zúñiga, F.; Amaya-Castro, M. J. y Rodríguez-Carrillo, R. 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agron. Mesoam.* 21(1):39-50. Doi: <https://doi.org/10.15517/am.v21i1.4910>.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: an evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Tillage Res.* 67(2):115-133. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00062-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00062-4).
- Fernández-Labrada, M.; Seoane-Labandeira, S.; Illera-Vives, M. & López-Mosquera, M. E. 2019. Evaluación agronómica de abonos verdes de invierno en Galicia. *Acta de Horticultura: 7ma jornada del grupo de fertilización*. Valencia, España: SECH. pp. 6 -11. ISBN: 9788409132171
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo (GTIS). 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Roma, Italia.
- Prager, M. S.; Sanclemente, R. O. E.; Sánchez, P. M.; Gallego, J. M. y Ángel, D. I. 2012. Abonos verdes: tecnología para el manejo agroecológico de los cultivos. *Agroecología.* 7(1):53-62.
- Semarnat. 2012 Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México.
- SEMARNAT Y CP. 2003. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México.
- Vega P.F. y Leblanc H. 2013. Producción de biomasa y fijación de nitrógeno de *Mucuna pruriens* en el trópico húmedo de Costa Rica. *Tierra Tropical.* 9 (1): 57-65. ISSN: 1659-2751.

## CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SUELOS DE USO PECUARIO EN LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA HIDROELÉCTRICA ÁNGEL ALBINO CORZO

Alma Liz Vargas-de la Mora<sup>1</sup>, Walter López-Báez<sup>1</sup>, Leonel Hernández-Santiago<sup>1</sup>, Roberto Reynoso-Santos<sup>1</sup>, Osías Ruíz-Álvarez<sup>1</sup>, Jaime López-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CIRPAS-CECECH

\*Autor para correspondencia: [varga.alma@inifap.gob.mx](mailto:varga.alma@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Fertilidad, cuenca, ganadería

### Introducción

La zona de influencia de la Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo tiene una superficie de 126, 915.31 hectáreas suscrita a tres subcuencas delimitadas en 12 municipios de los que 83% de superficie se alberga en los municipios de Tecpatán, Ostuacán y Francisco León. El uso de suelo predominante aún son territorios forestales y vegetación secundaria (56.4%), mientras que 37.5% es ocupado en actividades agropecuarias y el resto son cuerpos de agua y otros usos (Ruíz-Álvarez 2022).

La gestión inadecuada de los sistemas productivos en especial la ganadería, se ubica indiscriminadamente en las partes altas, medias y bajas de las subcuencas, ponen en riesgo los territorios por su manejo extensivo relacionado con deforestación, degradación, compactación y erosión del suelo efectos aumentados por el cambio climático (Shcoth *et al.* 2009). Como consecuencia, las áreas pecuarias presentan pérdida de fertilidad en los suelos que limita el desarrollo de forraje que cada vez dificultan más la producción ganadera; al mismo tiempo esta condición no es considerada relevante muchas veces por desconocimiento del productor sobre la magnitud del impacto en el sistema productivo, que a mediano y largo plazo aumenta la necesidad de mayor inversión y dependencia a insumos externos alimentarios para el ganado (Guevara-Hernández *et al.* 2011; Zarate-Jiménez 2020).

### Objetivo

Identificar las características físico-químicas y sus dinámicas en suelos de uso ganadero asociadas a la ubicación en la cuenca (Alta, Media y Baja) en la zona de influencia de la Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo.

### Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en las coordenadas 17°26'42" latitud norte y 93°27'28" longitud oeste. La superficie por subcuenca es en Mezcalapa 57,797.12 ha, Tzimbac 25,230.90 ha y Zayula 41, 959.46 ha. De acuerdo con esta distribución territorial, se tomaron muestras de suelo 42 sitios de producción pecuaria (12 en la subcuenca Tzimbac -cuenca alta 6, media 3 y baja 3-, 17 Mezcalapa -cuenca alta 3 media 4 y baja 10- y 13 Zayula cuenca alta 3, media 6 y baja 4-), las cuales se cribaron y secaron a la sombra para enviarse muestras de 1.200 kg al laboratorio. Los rangos altitudinales considerados para el nivel de cuenca fueron determinados de acuerdo los parámetros de elevación de la subcuenca con parámetros más bajos, delimitados como cuenca baja 0-300 msnm, cuenca media 301-600, cuenca alta 601 a más.

Para identificar la resistencia a la penetración se utilizó un penetrómetro de golpe a profundidad 0-20 cm. La pendiente se realizó con una barrena al perforar el suelo, la lectura se toma hasta que se alcance el material parental (roca) y/o cambio de coloración o consistencia del suelo; si después de los 60 cm no hay cambio aparente en suelo la lectura se toma como mayor de 60 cm, ya que es la medida de la barrena. Además de que en la mayoría de las plantas las raíces absorbentes se encuentran en los primeros 30 cm del suelo la profundidad se obtuvo con una barrena al perforar el suelo, la lectura se toma hasta que se alcance el material parental (roca) y/o cambio de coloración o consistencia del suelo; si después de los 60 cm no hay cambio aparente en suelo la lectura se toma como mayor de 60 cm, ya que es la medida de la barrena. Además de que en la mayoría de las plantas las raíces absorbentes se encuentran en los primeros 30 cm del suelo.

Los datos obtenidos se estandarizaron con el software Infostat versión 2020, mismo que se utilizó para los análisis estadísticos. En primera instancia se realizó un análisis de medidas de resumen de la información. Se llevó a cabo un análisis de componentes principales que facilitó identificar la asociación de las diversas variables en relación con la ubicación en la cuenca. Finalmente, mediante un análisis de correlación de Spearman se evidencian las dinámicas entre las variables.

## Resultados y discusión

De acuerdo con la información recabada en los recorridos de campo, los predios ganaderos son predominantemente pasturas extensivas de baja productividad, con cercos muertos y vivos que delimitan los espacios de pastoreo. Las características de mayor importancia en fertilidad del suelo se consideran la materia orgánica (MO), PH y la capacidad de Intercambio catiónico (CIC), no obstante, estas características pueden verse afectadas por el manejo del sistema, fenómenos climáticos e interacciones ecosistémicas. Los suelos en el área de estudio se caracterizan de acuerdo con el cuadro 1.

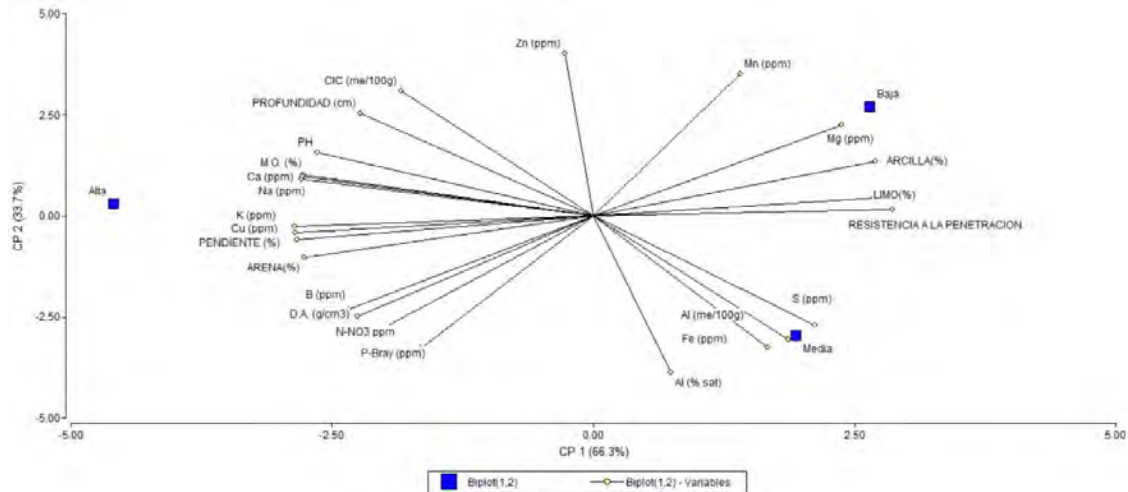
**Cuadro 1.** Características de los suelos de la cuenca.

Ubicación en la cuenca	Variables	Media	D.E.	Rango
Alta	PH	5.9	0.70	5.56 ± 8.11
	Pendiente	34.32	13.69	11.20 ± 59
	D.A.	1.14	0.11	0.93 ± 1.27
	M.O.	5.48	1.36	2.66 ± 7.63
	Resistencia a la penetración	57.25	17.58	29.40 ± 100.50
Media	PH	5.6	0.27	5.27 ± 6.09
	Pendiente	28.41	15.15	11.20 ± 62.50
	D.A.	1.12	0.13	0.98 ± 1.46
	M.O.	3.87	0.99	2.68 ± 5.98
	Resistencia a la penetración	71.40	20.92	36.40 ± 112.70
Baja	PH	5.76	0.35	5.14 ± 6.40
	Pendiente	26.52	17.92	0 ± 70
	D.A.	1.06	0.11	0.87 ± 1.27
	M.O.	4.15	1.17	2.31 ± 5.97
	Resistencia a la penetración	73.60	30.71	34.70 ± 163

Los suelos de cuenca alta se caracterizaron por tener mejores características físicas como pendiente, resistencia a la penetración y densidad aparente así mismo la cantidad de MO se considera alta mientras que el PH se cataloga como alcalino y moderadamente alcalino. Borges *et al.* (2012) en su estudio de suelos ganaderos encontró PH  $6.09 \pm 1.1$  y MO que oscilaba entre 1.4 a 7.3 % con los valores más altos en los relieves montañosos lo que coincide con los resultados del presente estudio.

Con respecto a la compactación o resistencia a la penetración los valores encontrados se consideran elevados, los cuales fueron predominantes en toda la cuenca. Las características físicas del suelo como la compactación y la densidad aparente (D.A.) son influenciadas por factores como la carga animal, tiempo de estancia de los animales, labores humanas, mientras que la pendiente se relaciona a las condiciones naturales del territorio. Contreras-Santos (2021) determinó los factores referidos como indicadores de calidad del suelo, en su estudio realizado en Colombia donde muestreó 72 fincas encontró valores de D.A. superiores a 1.4 g.cm<sup>3</sup> valor considerado como un reflejo de la alta compactación; datos similares a los de esta investigación.





**Figura 1.** Asociación entre variables físico-químicas del suelo en predios ganaderos respecto a la ubicación en la cuenca

El análisis de componente principal mostró que hay mayor asociación de variables en cuenca alta que el resto de las ubicaciones, principalmente con la pendiente, materia orgánica y la mayor parte de los elementos químicos mayores de importancia para el desarrollo de las pasturas. Mientras que la cuenca media se asocia con elementos como el aluminio que se considera un problema cuando sus valores presentes en el suelo son altos. El comportamiento de las variables evaluadas, explican el 66.3 % con el CP 1 lo que se considera una asociación significativa.

Con el objetivo de entender las dinámicas del suelo se realizó el análisis de correlación de Spearman categorizando las variables de acuerdo con su ubicación en la cuenca, en el cuadro 2 se observan las correlaciones significativas.

**Cuadro 2.** Correlaciones de variables del suelo con respecto a la ubicación en la cuenca

Variable 1	Variable 2	Cuenca baja		Cuenca media		Cuenca alta	
		Correlación Spearman	P-valor	Correlación Spearman	P-valor	Correlación Spearman	P-valor
PH	Al (% sat.)	-0.91	<0.0001			-0.93	0.0034
	CIC (me/100g)					0.86	0.0043
	K					0.90	0.0001
	Ca					0.89	0.0001
	P			0.87	0.0005		
	Zn			0.87	0.0005		
Al (% sat)	Ca	-0.86	<0.0001			-0.85	0.0008
	Mg	-0.92	<0.0001				
	CIC					-0.90	0.0001
CIC	K					-0.90	0.0001
	Ca	0.93	<0.0001			0.90	0.0001
Ca	Mg	0.94	<0.0001			0.83	0.0008
	P	0.91	<0.0001	1.00	<0.0001	0.93	0.0001
P	Zn			0.84	0.0013		

Correlación de Spearman cercano a 1 es significativo; P-valor igual o menos a 0.05 es significativo

De manera sorprendente las correlaciones no mostraron relevancia para el componente de materia orgánica, compactación o densidad aparente en relación a las dinámicas de elementos químicos del suelo. No obstante, se observa que el PH y el Al determinan importantes relaciones principalmente en la cuenca baja y alta. Este último elemento afectando de manera negativa predominantemente. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se relaciona con ambos factores haciendo notar que mientras más se eleva el

valor de PH, el CIC funciona en el mismo sentido, promoviendo la movilidad de elementos en el suelo caso contrario en su relación con el Al.

### **Conclusiones**

Existe una relación significativa entre la ubicación del predio ganadero en la cuenca y su relación con la fertilidad del suelo. Los predios de cuenca alta mostraron mejores características físicas y químicas en el suelo, pero con mayor presencia de aluminio, lo que puede afectar la fertilidad y movilidad de nutrientes en el suelo. En cuenca baja y cuenca media, se observaron contrastes predominantemente negativos con relación a las correlaciones de las variables físicas y químicas del suelo y contrario a lo esperado, se encontró mayor grado de pendiente, resistencia a la penetración y menor cantidad de MO.

### **Agradecimientos**

Se agradece a los productores de la zona de estudio y equipo de técnicos que contribuyeron a la toma de datos.

### **Fuente financiadora**

Este trabajo se deriva del financiamiento del proyecto “Gestión integral de las cuencas aportadoras al embalse de la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo: Fase 1, planeación en el estado de Chiapas”.

### **Referencias bibliográficas**

- Borges, J.A.; Barrios, M.; Sandoval, E.; Bastardo, Y. y Márquez, O. 2012. Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy, 24(2): 121-126
- Contreras-Santos, J.L.; Martínez-Atencia, J.; Falla-Guzmán, C.K.; Garrido-Pineda, J.F. y Rodríguez-Vitola, J.L. 2021. Caracterización de sistemas ganaderos del caribe seco para cuantificación de índices de calidad de suelo. *Agronomía Costarricense*, 45(2):71-87

## ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN CON IMÁGENES DIGITALES Y SATELITALES EN UNA ZONA FORESTAL

Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup> \*, Erika Nava-Reyna<sup>1</sup>, Vicenta Constante-García<sup>1</sup>, José Alberto Urrieta-Velázquez<sup>1</sup>, Erickson Basave-Villalobos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP, <sup>2</sup>Campo Experimental Valle del Guadiana (CEVAG), INIFAP

\* Autor para correspondencia: marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx

**Palabras clave.** Clasificación, imagen satelital, ortomosaico.

### Introducción

Los sensores remotos y los sistemas de información geográfica (SIG) se utilizan ampliamente en la comunidad científica para monitorear y evaluar los ecosistemas forestales cuantitativa y cualitativamente (Kumar, 2011). En las últimas décadas, la investigación en esta área se ha diversificado desde la identificación y extracción de clases de vegetación forestal o especies arbóreas para analizar la evolución espacio-temporal de las áreas boscosas en base a varios rangos de imágenes de satélite (Hansen *et al.*, 2008; Townshend *et al.*, 2012). Muchos estudios se centran en el análisis comparativo de métodos para extraer, clasificar y cuantificar la vegetación, incluidos los bosques, y algunos lo combinan con imágenes de series temporales.

El análisis con sensores remotos de las áreas forestales actualmente se realiza considerando alguno de los siguientes parámetros: clasificación de la vegetación, cambios en la cubierta vegetal, y características físicas de la superficie.

La herramienta de imágenes satelitales recientes brinda información sobre la salud de la vegetación en todo el mundo y puede ayudar a validar alertas casi en tiempo real. A diario se ingresan nuevas imágenes que muestran las imágenes satelitales más recientes de los sistemas Sentinel-2 y Landsat 8. Las imágenes ofrecen una cobertura geográfica global con una resolución de 10x10 metros con Sentinel-2 y una resolución de 30x30 metros con Landsat 8. Las imágenes satelitales recientes pueden ayudar a mostrar el aspecto de una zona y facilitar la validación de los datos sobre cambios forestales, como la deforestación o las alertas de incendios.

Un procedimiento para el monitoreo de la cubierta forestal cuyo uso se está generalizando rápidamente es el de la adquisición de imágenes con ayuda de los vehículos aéreos no tripulados (VANTS) o drones. Algunas de las limitaciones presentadas en plataformas como satélites se han superado con el reciente empleo de los drones, los cuales pueden incorporar cámaras comerciales de bajo costo y producir alta resolución espacial, lo que mejora la resolución temporal e incluso permite tomar imágenes en días nublados. El objetivo de la investigación es el monitoreo y clasificación de la vegetación en una zona forestal usando imágenes obtenidas con un dron e imágenes satelitales (Sentinel -2).

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

El área de estudio fue de 23 ha aproximadamente, ubicado cerca del ejido de Cuauhtémoc, municipio de Saltillo, Coahuila; situada sobre las coordenadas 25.2948 N y -100.91625 O, a una altitud de 2500 msnm. Posee un clima semiárido en su parte media y baja, hasta un clima templado en su parte alta con una precipitación que varía de 257 mm a más de 400 mm. En el sitio de estudio la vegetación está compuesta principalmente por bosques de *Pinus cembroides*.

### Adquisición y análisis datos

Se adquirieron las imágenes con un dron DJI MAVI 2 integrada con cámara digital (RGB). La toma de las imágenes se efectuó de manera automática según la configuración de vuelo, en este caso se consideró una altura de vuelo de 85 m sobre la superficie, con un traslape lateral 70% y frontal del 75%, y una resolución del terreno de 2 cm por pixel. El vuelo se realizó el 7 de junio.

El procesamiento de las imágenes se realizó con el software Agisoft Metashape, considerando cuatro etapas principales: alineación de las imágenes, construcción de nube densa, mallado y generación del modelo digital de elevación y del ortomosaico. El software tiene una gran velocidad de cálculo, y corrige automáticamente los errores de las deformaciones fotográficas y distorsiones del objetivo. Tiene la ventaja de que la cámara fotográfica no necesita una calibración previa, por lo que brinda la posibilidad de usar cualquier cámara.

La clasificación del sitio se determinó con el método de análisis de imágenes basado en objetos (OBIA: Object-based image analysis) en el software eCognition developer 9.0. El procedimiento OBIA permite la combinación de información espectral, contextual y morfológica, entre otras características de los objetos creados mediante la segmentación de las imágenes. El ortomosaico se segmentó en objetos utilizando el algoritmo multiresolution segmentation; para una mejor delimitación de la vegetación, se asignó un peso a las bandas del RGB y al modelo digital de elevación. Los parámetros de escala, forma y compacidad fueron de 80, 0.2, 0.5, respectivamente. Para la clasificación se utilizó un índice de color que resaltaba la vegetación, además de los valores de las bandas; el índice evaluado fue el índice exceso de verde (ExG) (Woebbecke *et al.*, 1995). Finalmente, la clasificación de la vegetación se supervisó y corrigió manualmente.

Se realizó un monitoreo de la vegetación con los índices de vegetación (IV) que se obtuvieron automáticamente dentro de la herramienta VICAL (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2022) que a su vez se encuentra soportada por la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de VICAL se digitalizó el área de estudio y se calcularon los índices de vegetación (IV) con imágenes satelitales Sentinel-2 (10 m de resolución); los datos se obtuvieron en una fecha cercana al vuelo del dron. La configuración general de VICAL es: Digitalizar polígonos o usar un archivo vector, ingresar el rango de fechas, porcentaje de nubes aceptado en la imagen, tipo de satélite (Sentinel o Landsat) y selección del índice de vegetación.

### Resultados y discusión

En el área de estudio se obtuvieron con el dron 422 imágenes, las cuales fueron usadas para su procesamiento y obtención del modelo digital de elevación y ortomosaico.

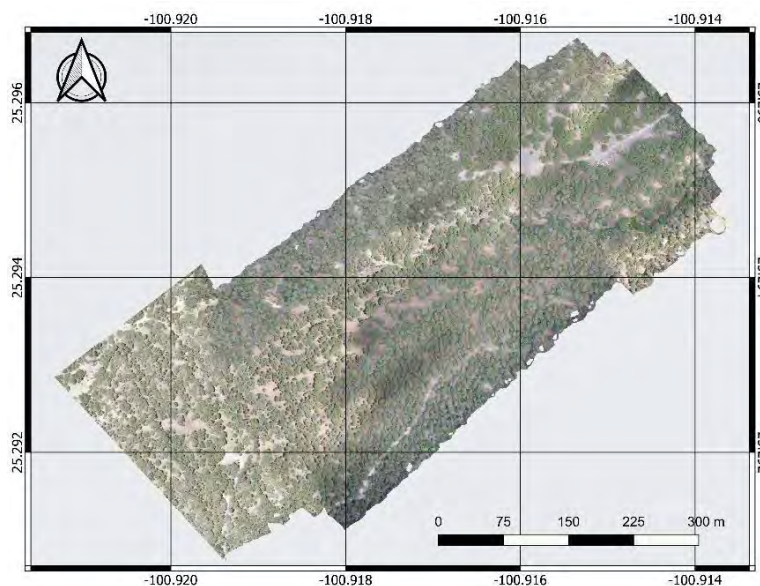
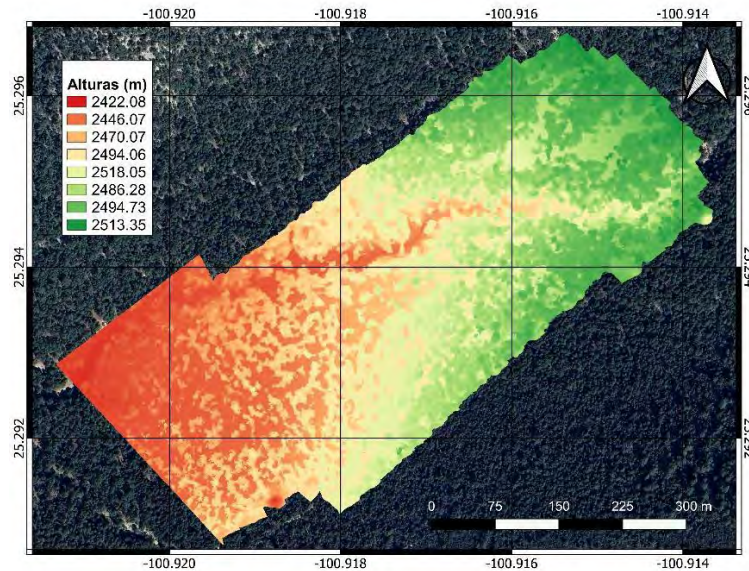


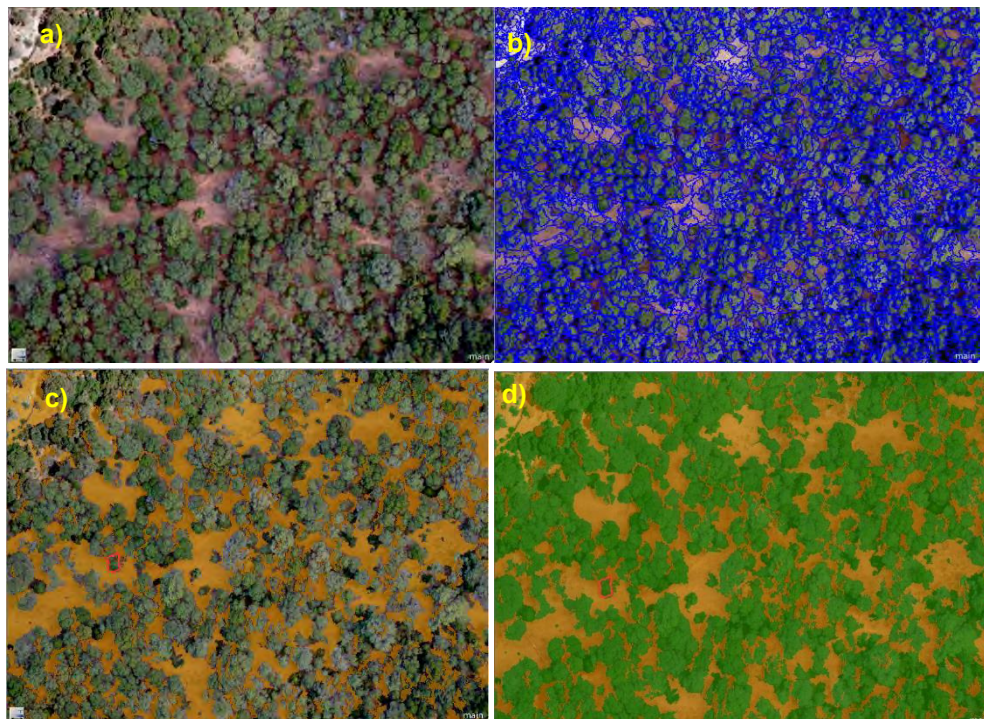
Figura 1. Ortomosaico RGB del área de estudio.





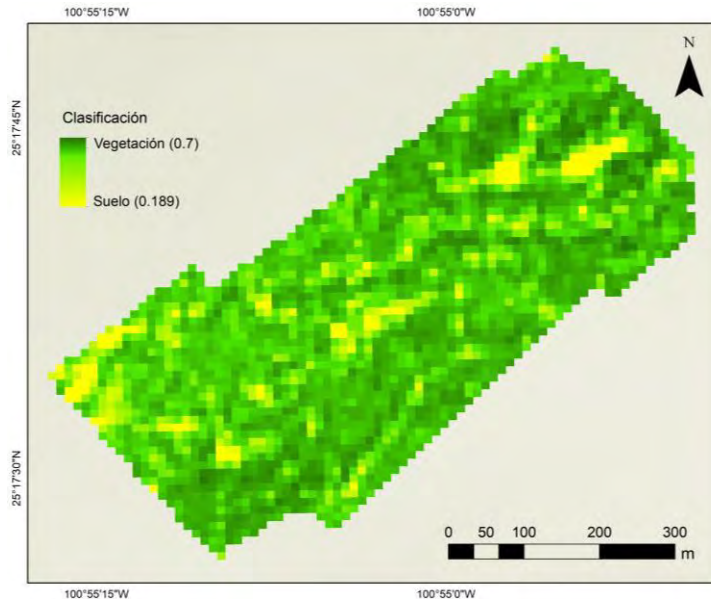
**Figura 2.** Modelo digital de elevación obtenido en área de estudio.

En la Figura 3 se muestran los resultados de las fases de digitalización de la vegetación en el ortomosaico. Para facilitar la digitalización en el ortomosaico fue necesario utilizar distintos parámetros de clasificación que se relacionaron directamente con el tipo de clasificación, en el cual se propusieron valores umbrales en función del índice ExG con valores mayores a 2 para la vegetación y menores a 2 para el suelo; además la identificación y verificación de la zona fue posible gracias a la alta resolución espacial de las imágenes; todo lo anterior permitió una digitalización exitosa de la vegetación. El área con vegetación en el sitio corresponde a 17.9 ha, que representa el 77.8% de la superficie analizada.



**Figura 3.** Clasificación del ortomosaico a) ortomosaico visible, b) segmentación de la imagen, c) clasificación del suelo d) clasificación de la vegetación y suelo.

Para la clasificación de la vegetación con la imagen satelital se consideró el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). En la herramienta VICAL se ingresó un archivo vector del área de estudio, en el cual se obtuvieron los valores de NDVI por pixel; la fecha de la imagen satelital sin nubosidad más cerca a la fecha del vuelo del dron fue el 18 de junio. El NDVI capturar la dinámica de la vegetación de los sistemas agrícolas y forestales; los valores de NDVI en un rango de 0.47 a 0.7 se consideraron como vegetación y los pixeles con valores de NDVI menores a 0.47 hasta 0.189 como suelo. La clasificación realizada en la imagen satelital es precisa comparada con la clasificación realizada en el ortomosaico.



**Figura 4.** Clasificación de la imagen satelital (18 de junio).

## Conclusiones

La selección del índice y la obtención del valor umbral que permita separar una clase con respecto a otra fueron los pasos más importantes en la clasificación de la vegetación. El índice exceso de verde (ExG) y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) utilizados en este estudio, mostraron que son capaces de discriminar la vegetación en el ortomosaico RGB y en la imagen satelital. Con el ortomosaico generado con las imágenes del dron se determinó la clasificación de la vegetación con mayor precisión comparada en este caso con la imagen satelital (resolución de 10 m por pixel), debido a la alta resolución espacial y temporal de los datos y a los algoritmos de clasificación de imágenes basados en objetos.

## Referencias bibliográficas

- Hansen, M. C., Shimabukuro, Y. E., Potapov, P., & Pittman, K. (2008). Comparing annual MODIS and PRODES forest cover change data for advancing monitoring of Brazilian forest cover. *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3784-3793.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Marcial-Pablo, M. D. J., Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Inzunza-Ibarra, M. A., & Sánchez-Cohen, I. (2022). VICAL: global calculator to estimate vegetation indices for agricultural areas with landsat and sentinel-2 data. *Agronomy*, 12(7), 1518.
- Kurnar, D. (2011). Monitoring forest cover changes using remote sensing and GIS: a global prospective. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(2), 105.
- Townshend, J. R., Masek, J. G., Huang, C., Vermote, E. F., Gao, F., Channan, S. & Wolfe, R. E. (2012). Global characterization and monitoring of forest cover using Landsat data: opportunities and challenges. *International Journal of Digital Earth*, 5(5), 373-397.
- Woebbecke, D. M., Meyer, G. E., Von Bargen, K., & Mortensen, D. A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269.



## COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO EN TIERRAS MARGINALES CON USO AGRÍCOLA Y FORESTAL

Erickson Basave-Villalobos<sup>1\*</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>2</sup>, Vicenta Constante-García<sup>2</sup>, José Alberto Urrieta-Velázquez<sup>2</sup> y Erika Nava-Reyna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle del Guadiana, CIR Norte-Centro, INIFAP; <sup>2</sup>CENID-RASPA-INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [basave.erickson@inifap.gob.mx](mailto:basave.erickson@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Funcionalidad del suelo, fertilidad del suelo, productividad, recuperación del suelo.

### Introducción

La degradación de los suelos es una problemática que se presenta en muchas regiones de México, de modo que actualmente, según cifras de CONAFOR-UACH (2013), aproximadamente el 64% de la superficie nacional tienen problemas de degradación. La degradación de los suelos ha tenido impactos severos en su productividad, siendo afectados diversos sistemas de producción, principalmente los agrícolas. En el estado de Durango, esta problemática es relevante y una superficie representativa del territorio estatal presenta dicha condición. La pérdida de la productividad de los suelos ha conducido en muchos casos al abandono de las tierras de cultivo, así que para revertir este problema se han planteado diversas acciones o estrategias de reconversión productiva, en las que el establecimiento de plantaciones forestales ha sido una de ellas (CONAFOR, 2012; Rosales Serna *et al.*, 2022). A las plantaciones forestales se le atribuyen varias ventajas. Una de las más importantes es que contribuyen a recuperar la funcionalidad de los suelos al incorporar, por ejemplo, materia orgánica y nutrientes por recirculación o ciclaje (Korys *et al.*, 2021); sin embargo, esto ha estado en función en gran medida del desempeño de las plantaciones, pues muchas de estas son establecidas en los predios o terrenos agrícolas que presentan una alteración significativa de sus propiedades físicas y químicas, sobre todo pérdida de fertilidad (Rosales Serna *et al.*, 2022). Es importante analizar si el establecimiento de las plantaciones en los suelos marginales ha tenido un efecto en recuperar la funcionalidad del suelo, por lo tanto, una valoración de la condición de las propiedades que estos tienen en los sistemas forestales establecidos para este propósito, puede dar un indicio de ello, especialmente si se comparan con suelos cuyo uso principal sigue siendo agrícola a pesar de su historial de degradación.

### Objetivo

Comparar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tierras marginales con uso agrícola y forestal a fin de analizar los cambios de dichas propiedades en función del uso del suelo.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en dos predios localizados en la localidad de La Soledad, Canatlán, Durango. Ambos predios están aledaños y tienen un historial de uso agrícola, pero en uno de ellos en el 2015 se estableció una plantación forestal comercial con *Pinus greggii* Engelm ex. Parl. como una estrategia de reconversión productiva de suelos marginales (Figura 1). El otro predio continúa utilizándose para el cultivo de temporal principalmente de frijol. El suelo de ambos predios tiene una textura franco-arcillosa-arenosa. En Julio de 2023 se hizo un muestreo con el método cinco de oros para recolectar muestras de suelo en una profundidad de 0-30 cm. En cada punto de muestreo se tomaron tres submuestras. El suelo recolectado se transportó en bolsas de plástico para su posterior secado en laboratorio. De cada predio se enviaron cuatro muestras de suelo para su análisis. Se determinaron las siguientes propiedades físicas y químicas: densidad aparente, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cobre boro, aluminio y azufre.



**Figura 1.** Condiciones de las condiciones de uso de suelo (agrícola y forestal [plantación de *Pinus greggii* de 8 años]) de los predios de estudio en La Soledad, Canatlán, Durango.

Con los resultados de laboratorio se hizo para una prueba *t* de muestras independientes, previo la validación de supuestos de normalidad y homogeneidad en la varianza. Los valores en porcentaje se transformaron a la función arcoseno. El nivel de significancia fue de 0.05. El análisis estadístico se realizó en infoStat.

### Resultados y discusión

No se reportaron diferencias estadísticas en ninguna de las propiedades analizadas ( $p \geq 0.05$ ). No obstante, se mostró una diferenciación numérica de valores mayores o menores entre las propiedades de un sitio u otro. En el caso del terreno o predio con uso agrícola, es notoria la presencia en mayor cantidad de materia orgánica y de los macroelementos como el nitrógeno, fósforo (Cuadro 1). Por el contrario, en el predio en el que se estableció la plantación forestal, los resultados señalan una presencia mayor de otros macroelementos como el potasio y el calcio, pero sobre todo de los microelementos.

**Cuadro 1.** Propiedades físicas y químicas evaluadas en terrenos con uso agrícola y forestal en tierras marginales de la localidad de La Soledad, Canatlán, Durango.

Propiedad	Agrícola	Plantación forestal
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.32	1.36
Materia orgánica (%)	2.00	1.75
pH	6.21	6.05
Conductividad eléctrica (ds/m)	0.14	0.13
CIC <sup>†</sup>	7.33	8.03
Nitrógeno-NO <sub>3</sub> (mg/Kg)	8.66	4.16
Fósforo-Bray (mg/Kg)	14.20	9.15
Potasio (mg/Kg)	344.25	360.00
Calcio (mg/Kg)	1086.75	1197.00
Magnesio (mg/Kg)	117.25	126.00
Fierro (mg/Kg)	24.35	33.28
Zinc (mg/Kg)	0.49	0.54
Manganeso (mg/Kg)	30.00	42.88
Cobre (mg/Kg)	0.25	0.26
Boro (mg/Kg)	0.14	0.13
Aluminio (ppm)	1.01	1.41
Azufre (ppm)	0.10	0.10

<sup>†</sup>CIC: capacidad de intercambio catiónico.

Si bien los resultados reportados no muestran cambios estadísticamente significativos que permitan indagar sobre una mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo atribuidas al establecimiento de la plantación, si se tienen líneas que sería importante analizar. Una de ellas tiene que ver con el efecto o la respuesta directa del ciclaje de nutrientes discutido por Smethurst (2010) y Haase y Jacobs (2012), pues se puede asumir según los datos, que el suelo al menos conserva ciertos niveles de fertilidad a pesar de que la plantación ya tiene ocho años con individuos que oscilan en 3 m de altura y 12 cm de diámetro, y sin recibir algún aporte externo de nutrientes mediante fertilización, como sucede en el predio con uso agrícola, en el que los niveles mayores de nitrógeno y fósforo pueden estar asociados con la fertilización que comúnmente reciben los cultivos cada temporada de siembra, aunado a la cantidad más alta de materia orgánica que puede ser resultado de la incorporación de los residuos de las cosechas. }

## Conclusiones

Al comparar las propiedades fisicoquímicas del suelo en tierras marginales con uso agrícola y forestal por reconversión productiva, no se registran cambios significativos en dichas propiedades que permitan asumir una mejora del suelo por el establecimiento de la plantación, aunque este sí manifiesta mejores condiciones de fertilidad, principalmente de microelementos.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Se agradece al INIFAP por el financiamiento de este trabajo con fondos fiscales del proyecto: Recuperación de la funcionalidad de suelos degradados bajo diferentes estrategias en ecosistemas áridos y templados del Norte de México (SIGI 8295235642). Asimismo, se agradece al Sr. Carlos Holguín por facilitar sus predios para este estudio.

## Referencias bibliográficas

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2012). Programa de desarrollo de plantaciones forestales comerciales, a 15 años de su creación. Zapopan, Jalisco, México: CONAFOR. [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA\\_DE\\_DESARROLLO\\_DE\\_PFC\\_A\\_15\\_AÑOS\\_DE\\_SU\\_CREACION.PDF](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PROGRAMA_DE_DESARROLLO_DE_PFC_A_15_AÑOS_DE_SU_CREACION.PDF)
- Haase, D. L., & Jacobs, D. F. (2013). Nutrient dynamics of planted forests. *New Forests*, 44(5), 629-633.
- Rosales Serna, R., Basave Villalobos, E., Ríos Saucedo, J. C., Santana Espinoza, S., Domínguez Martínez, P. A., & Sierra Zurita, D. (2022). Pruning and fertilization in young *Pinus greggii* plantations established at Durango, Mexico. *Agro Productividad*, 14(12), 173-180.
- Koryś, K.A., Latawiec, A.E., Mendes, M.S., Sansevero, J.B.B., Rodrigues, A.F., Iribarrem, A.S., Dib, V., Jakovac, C.C., Allek, A., Pena, I.A.B. *et al.* (2021). Early Response of Soil Properties under Different Restoration Strategies in Tropical Hotspot. *Land*, 10, 768.
- Smethurst, P. J. (2010). Forest fertilization: Trends in knowledge and practice compared to agriculture. *Plant and Soil*, 335, 83-100.

## DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE AVENA FORRAJERA EN CANATLÁN, DURANGO

Hilario Flores-Gallardo<sup>1</sup>, Saúl Santana-Espinoza<sup>2</sup> y Donaji Sierra-Zurita<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana, <sup>2</sup>INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna.

\*Autor para correspondencia: flores.hilario@inifap.gob.mx

### Introducción

El desarrollo de la agricultura ha conducido al desequilibrio en el balance de los nutrientes del suelo a nivel global (Flores-Gallardo *et al.*, 2016). Lo anterior es consecuencia de que se propiciaba en los sistemas de cultivo antiguos, una alta tasa de reciclado de los nutrientes porque no se practicaba un sistema de producción intensivo como en la actualidad. Sin embargo, con el inicio de la industrialización, la situación cambió, puesto que la intensidad y la especialización de la agricultura aumentaron, así como también las técnicas de cultivo mejoraron pero estos factores produjeron una creciente brecha en el balance de nutrientes que se cubría con la aplicación de los mismos en forma de fertilizantes minerales, puesto que dicha práctica tenía como objetivo tener en cuenta como principio de la producción agrícola qué, lo que es extraído del suelo debe restituirse en su totalidad (Liebig, 1841). Y generalmente, cuanto más intensivo sea un sistema de cultivo, más altos son los rendimientos y mayor será la cantidad de nutrientes por aplicar al suelo para mantener su fertilidad. No obstante, los altos rendimientos en la agricultura son el resultado de múltiples factores que se inician con un buen diagnóstico de la fertilidad del suelo y de las características del agua, utilizando un adecuado muestreo, un procedimiento analítico y un control de calidad en el laboratorio.

La política gubernamental otorga apoyos a los productores con un programa de fertilizantes bajo el esquema de producción para el bienestar, con la visión de llegar en un futuro próximo a una seguridad alimentaria, donde se cuente con la disponibilidad suficiente de productos alimenticios para una población en constante crecimiento y, por ende, contribuir a la disminución en la importación de granos básicos, lo cual resultará en una soberanía alimentaria (Sierra-Zurita *et al.*, 2023).

El cultivo de avena (*Avena sativa*) con fines forrajeros es de gran importancia en Durango porque se obtiene un alimento verde en corto tiempo, además, permite la diversificación para la manutención del ganado. Por lo tanto, el estado de Durango es uno de los principales productores de avena en México, con una producción durante el ciclo agrícola 2022 bajo la modalidad de riego con 591,839 toneladas (t), producidas en 21,395 hectáreas (ha) con un rendimiento promedio de 23.46 t ha<sup>-1</sup> y bajo temporal se obtuvieron 1,588,334 t producidas en 101,805 ha con un rendimiento promedio de 17.12 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2023). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento forrajero en el cultivo de avena var. Turquesa (Villaseñor *et al.*, 2009) y var. Cuauhtémoc (INIA, 1967) bajo riego, aplicando dos tratamientos de fertilizantes: 1) orgánico y b) químico comparado con el testigo que se consideró el manejo del productor de la región de Canatlán, Durango.

### Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la parcela de un productor cooperante en la localidad de La Soledad, municipio de Canatlán, Durango, con las siguientes coordenadas geográficas: 24° 46' 34.66" Latitud Norte, -104° 54' 58.84" Longitud Oeste y con una altitud de 1979 m. Cabe mencionar que el área de influencia comprende a las regiones de los Valles, de los Llanos, de la Sierra, del Norte y Semidesértica del estado de Durango. El clima predominante en los dos sitios de estudio es el templado semiárido, con régimen de lluvias en verano, mostrando variación fuerte de temperatura [BS<sub>1</sub> Kw (w) (e)] y la media anual para esa variable es 17.4 °C (García, 1987).

La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina *et al.* 2005).

La información edáfica del sitio de trabajo (Cuadro 1) se caracteriza por presentar una clase textural franco arenosa, un pH fuertemente alcalino (8.59) y un nivel medio (1.48) de materia orgánica (MO).

**Cuadro 1.** Información edáfica del sitio de trabajo en el Campo Experimental Valle del Guadiana.

Clase textural	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	pH	MO
Franco arenosa	77	16	7	1.52	8.64	1.32

Da: densidad aparente del suelo, pH: potencial de hidrogeno.

La fecha de siembra fue el 02 de febrero de 2023, se utilizó una sembradora Aitchison Grass Farmer, depositando la semilla a una profundidad de 4-5 cm y la distancia entre hileras de plantas fue de 15 cm, la capacidad de dicha sembradora abarca 2 m de ancho y en esa distancia se distribuye la siembra de 14 hileras de plantas. Cada parcela consistió de una superficie de 90 m<sup>2</sup> (6 m de ancho por 15 m de largo). La densidad de población que se utilizó fue a través del peso de la semilla, utilizando 120 kg ha<sup>-1</sup> de avena var. Turquesa y Cuauhtémoc. Se aplicaron un total de ocho riegos de auxilio, lo cual se realizó conforme a los niveles de humedad que se encontraron dentro de los rangos de capacidad de campo ( $\Theta_{cc}$ ) y punto de marchitez permanente ( $\Theta_{PMP}$ ). Adicionalmente se realizó la aplicación de herbicida 2-4 D, amina el 10 de febrero de 2023 con el propósito de controlar las malezas y propiciar las mejores condiciones del cultivo. Las aplicaciones de los tratamientos de fertilización se realizaron en diferentes fechas por cuestiones de manejo (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos de fertilización utilizados en el cultivo de avena forrajera.

Tratamiento	Composición	Cantidad (kg ha <sup>-1</sup> )	Fecha de aplicación
Químico-granulado	60-60-00 (N-P-K)	79 (UREA) + 130.4 (DAP)	02/02/2023
Composta		6000	22/02/2023

La respuesta del cultivo se evaluó con el muestreo para estimar el rendimiento de forraje obtenido por cada tratamiento, por ello, se llevó a cabo el muestreo con un cuadrante (50 cm x 50 cm = 0.25 m<sup>2</sup>). Con ello se obtuvieron los resultados tanto de forraje verde (fresco) y forraje seco.

Se pesaron las muestras al momento de cortar las plantas durante el muestreo con la finalidad de no generar un error en la estimación del rendimiento, se procedió a colocar las muestras en bolsas de papel y ponerlas a secar posteriormente en una estufa de secado a presión durante 24 horas a una temperatura de 104 °C.

Una vez concluido el proceso anterior, se pesó cada muestra para obtener el dato de peso seco del forraje y estimar el rendimiento de forma ponderada a una hectárea. Se realizó una comparación de medias y la aplicación tanto de una desviación estándar ( $\sigma$ ) como también del coeficiente de variación (CV) entre tratamientos para determinar si existen diferencias significativas en los rendimientos forrajeros del cultivo de avena.

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

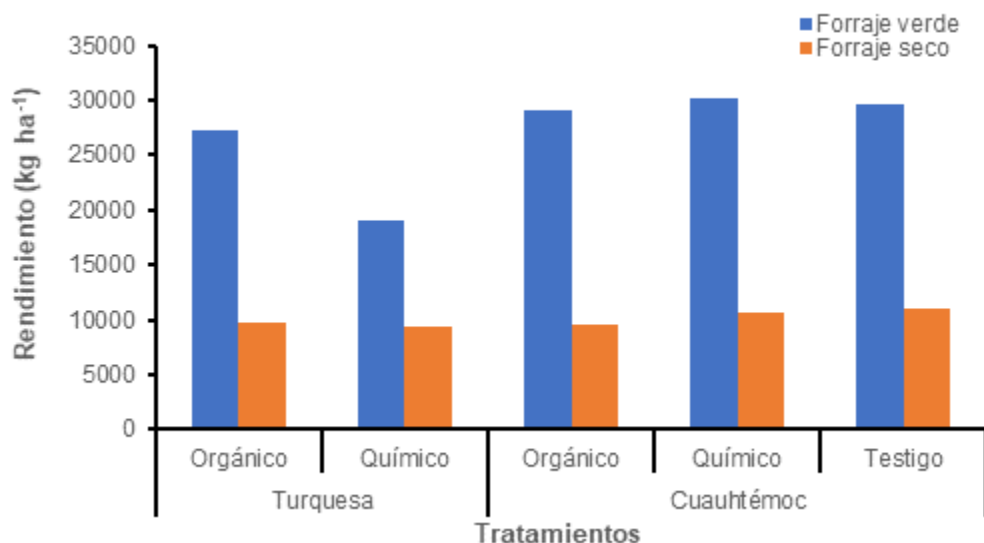
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Donde  $\sigma$  es la desviación estándar,  $\bar{x}$  es el valor medio, y  $x_i$  es cada observación registrada.

## Resultados y discusión

Los resultados mostraron un mayor rendimiento en el tratamiento fertilizado con fertilizante químico en la variedad Cuauhtémoc a nivel experimental y testigo, obteniendo 30,225 kg ha<sup>-1</sup> y 10,568 kg ha<sup>-1</sup> para de forraje verde y forraje seco, respectivamente a nivel experimental, mientras que a nivel testigo fueron de 29,624 kg ha<sup>-1</sup> y 11,033 kg ha<sup>-1</sup> para de forraje verde y forraje seco, respectivamente.

Los resultados más bajos fueron en el tratamiento químico en la variedad Turquesa con 19,058 kg ha<sup>-1</sup> y 9,446 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 1).



**Figura 1.** Resultados de rendimiento de forraje verde y forraje seco por cada tratamiento de fertilización.

Los rendimientos están por encima y dentro del promedio registrado en las estadísticas oficiales del sector agrícola. Las dosis de fertilización mostraron buenos resultados con los rendimientos obtenidos, pero es importante adecuarlas para otras regiones del estado de Durango, porque los suelos presentan diferentes condiciones físicas y químicas, lo cual puede provocar un margen de error en las cantidades que deben ser aportadas a través de los fertilizantes y cubrir las demandas nutrimentales del cultivo.

Se encontró una alta alcalinidad del suelo, lo cual influye en la disponibilidad de ciertos elementos para nutrir al cultivo y, por lo tanto, limita la disponibilidad adecuada y oportuna de los elementos contenidos en los fertilizantes.

La  $\sigma$  promedio fue de 12,010 kg ha<sup>-1</sup> entre los resultados de forraje verde y forraje seco, aunado a ello su CV fue de 1.20, sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas en los datos de rendimiento de forraje verde y forraje seco (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Fenología del sorgo en función de los °D para el ciclo PV 2015.

Variedad	Tratamiento	$\sigma$	Rendimiento	
			Forraje verde	Forraje seco
Turquesa	Orgánico	12,409.44	27,250	9,701
	Químico	6,797.28	19,058	9,446
Cuauhtémoc	Orgánico	13,799.33	28,994	9,479
	Químico	13,899.46	30,225	10,568
	Testigo	13,145.96	29,624	11,033
Promedio		12,010.29	27,030.4	10,045.3
CV		1.20		

CV = coeficiente de variación;  $\sigma$  = desviación estándar.

Lo anterior, se debe a que no existen discrepancias entre los resultados, pero a nivel económico, el mejor tratamiento fue el químico y orgánico para la variedad Cuauhtémoc, pero en la variedad Turquesa se mantiene un nivel aceptable de rendimiento tanto en forraje verde y forraje seco.



## Conclusiones

Debido a que no se tuvieron diferencias estadísticas en los resultados, se concluye que los tratamientos evaluados con las dosis de fertilización para el cultivo de avena en las dos variedades utilizadas se encuentran dentro de los rangos del manejo realizado por el productor agrícola.

Se requiere la realización de nuevos estudios donde se evalúen diferentes dosis de fertilización para poder obtener una recomendación y actualización de las dosis de fertilización a utilizar a nivel comercial por los productores.

## Referencias bibliográficas

Flores-Gallardo, H., F. Zavala-Estrada, P. A. Domínguez-Martínez, S. Santana-Espinoza y R. Rosales-Serna. 2016. Uso eficiente de fertilizantes granulados en maíz y frijol cultivados en Durango. Folleto técnico # 86. INIFAP-CIRNOC-CEVAG. 32 p. ISBN: 978-607-37-0680-3.

García, M. E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p.

Liebig, J. 1841. Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology. Published by J. Owen. Second American Edition. 424 p.

Medina G. G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C. y M. Marín S. 2005. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. 224 p.

SIAP. 2023. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. CDMX, México. Consultado en línea: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Sierra-Zurita, D., H. Flores-Gallardo, S. Santana Espinoza y R. Rosales Serna. 2023. Recomendaciones de dosis de fertilización en la producción de maíz para grano. Desplegable para productores # 115. INIFAP-CIRNOC-CEVAG. 2 p.

Villaseñor M. H. E., Espitia R. E., Huerta E. J., Osorio A. L. y López H. J. 2009. Turquesa, nueva variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. Agricultura Técnica en México. 35(4): 487-492.





# *Agrobiodiversidad*



## RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO FUENTE DE CARBONO PARA PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y BIORREMEDIACIÓN CON MICROALGAS NATIVAS DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN

Diego Alejandro Castro-Cepeda<sup>1\*</sup>, Vidales-Contreras<sup>1</sup>, D.A, Torres-Ariño<sup>2</sup>, V.E Aguirre-Arzola<sup>1</sup>, C Gómez-García<sup>1</sup>, J.M. Márquez-Reyes<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía, UANL, General Escobedo, Nuevo León, México. <sup>2</sup>Universidad del Mar, Campus Puerto Ángel, Oaxaca.

\*Autor para correspondencia: [dcastrocepeda@gmail.com](mailto:dcastrocepeda@gmail.com)

**Palabras clave.** Microalgas, remoción de nutrientes, residuos agroindustriales.

### Introducción

A nivel mundial se reconoce que la combustión de combustibles fósiles es la principal causa del calentamiento global. Sin embargo, la ganadería es también una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero (GEI) y específicamente la fermentación de estiércoles el proceso más relevante de su emisión a la atmósfera (Dangal *et al.*, 2017). Lo anterior, aunado a una demanda creciente por combustibles, alimento y la deforestación. Lo anterior, se refleja en una tendencia creciente en las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y NO<sub>x</sub> haciendo suponer que para finales del presente siglo se alcanzarán los 2.8°C en el calentamiento global, con respecto a la era preindustrial (Nordhaus), muy por encima de los 1.5°C que se estableció como límite máximo para contener este calentamiento por el Acuerdo de París 2015, durante la XXI Conferencia sobre Cambio Climático (Cabestany, 2016). En este sentido, el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sigue latente tanto que ha alcanzado 421 ppm en 2022, un aumento de 1.8 ppm con respecto al año anterior. Estos valores, calculados por la NOAA (2022) son comparables a los del período del Plioceno, hace 4.1-4.5 millones de años. En el caso específico de México, el ganado bovino y porcino son también de los de mayor aportación a los GEI; por ejemplo, en el período de 1990-2018 las emisiones a partir de la fermentación entérica y la digestión del estiércol en el país fueron en promedio 55,058.9 Gg de CO<sub>2</sub> al año, presentando un incremento del 7.4% en ese período (Galicia-Naranjo *et al.*, 2021).

Entre las diversas opciones para contener el calentamiento global se encuentran las microalgas que funcionan como biocatalizadores en la conversión del CO<sub>2</sub> a compuestos metabólicos fotosintéticos, donde el 50% de la biomasa en peso seco es obtenido a partir de esta conversión. Por esta razón, nunca como en las últimas décadas se ha investigado el secuestro de CO<sub>2</sub> como fuente de carbono en la producción de microalgas (Olguín, 2012; Hamed, 2016), ya que este gas es necesario para sus procesos biológicos; además, de luz, pH, temperatura y nutrientes. Bajo este enfoque, la fijación de CO<sub>2</sub> mediante microalgas puede ser una opción para la disminución de los GEI además de producir productos de valor agregado y ser una opción en el tratamiento de aguas residuales. Con respecto al cultivo de estos microorganismos, diversos experimentos han observado que los rangos de concentraciones de CO<sub>2</sub> para la producción de biomasa y fijación del gas son alrededor del 0.03% al 15%, siendo *Chlorella vulgaris* de las especies de menor concentración, con alrededor del 4%. Sin embargo, el pH es de relevancia para evitar la pérdida por volatilización tanto de CO<sub>2</sub> como de otros gases importantes en la producción de biomasa (Klinthong *et al.*, 2015; Eze, 2018; Mohammed *et al.*, 2017) y generación de productos de valor agregado como alientos y biocombustibles (Oruganti *et al.*, 2022). En los últimos años, el uso de microalgas nativas ha sido estudiado para el tratamiento de efluentes secundarios de aguas residuales para la producción de biomasa (Beltran-Rocha *et al.*, 2017) mediante consorcios nativos (Nagarajan *et al.*, 2022). En todos los sistemas de tratamiento existen consorcios alga-bacteria donde estos desempeñan un papel fundamental en la eliminación sinérgica de nutrientes, gracias al complejo intercambio nutricional y de metabolitos entre las microalgas y las bacterias asociadas (Wehr *et al.*, 2015). Un ejemplo de estos sistemas son las lagunas de oxidación donde la diversidad de microalgas es un componente intrínseco que hace posible la remoción de nutrientes de los efluentes de agua residual que son vertidos en estos sistemas para su tratamiento.

### Objetivo

El propósito del presente trabajo de investigación es aislar e identificar microalgas nativas para la producción de biomasa y remoción de nutrientes en un ambiente enriquecido con biogás proveniente de la fermentación de estiércol porcino. Los objetivos específicos son: a) Aislar especies nativas de microalgas

a partir de una laguna de oxidación, b) Evaluar en un sistema a nivel laboratorio la adición de CO<sub>2</sub> a partir de la fermentación de estiércol porcino, c) Examinar los valores de remoción de nutrientes y producción de biomasa a partir del sistema experimental.

## Materiales y métodos

### A. Colecta de microalgas en laguna de oxidación.

Las muestras de agua fueron tomadas por muestreo puntual de una laguna de oxidación en Marín, Nuevo León (25°52'41.91"N, 100° 2'44.34"O, Imagen 1) con el uso de frascos de boca ancha. El montaje experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología Microbiana en el Centro de la Facultad de Agronomía (FA- UANL).

Los datos abióticos de la toma de muestra fueron temperatura (°C) y el pH, así como materia orgánica (DQO) y parámetros fisicoquímicos como carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sulfatos, sodio, cloro, aniones y cationes en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas en la Unidad Marín.

### B. Producción de biogás.

Se contabilizó la producción de biogás producido a partir de muestras de estiércol de cerdo durante un periodo de 20 días por el método de desplazamiento de volumen con tres tratamientos; 40 g de estiércol y 20, 40 y 60% de agua destilada en botellas de vidrio de 120 mL realizando una prueba estadística para la comparación de medias en la producción de biogás a un nivel de significancia de p menor igual a 0.05 con tres repeticiones y un control.

### C. Identificación morfológica de microalgas.

Para la identificación de las especies se implementaron las claves dicotómicas de (Komárek y Komárekova-Legnerová, 2002; Aguirre-Cavazos *et al.*, 2018; Wher y Sheath, 2003; Barsanti y Gualtieri, 2014; Aiba y Ogawa 1977). Las microalgas fueron colectadas en una muestra de agua residual de 1 L. La muestra fue colocada en tubos cónicos de sedimentación de 1 L y se dejó reposar 16 h para la sedimentación de la materia orgánica. Del

sobrenadante del embudo de sedimentación, se tomó una alícuota para su observación al microscopio y la detección y cuantificación, mediante la cámara de Sedgwick-Rafter, de la microflora y microfauna dominante utilizando un microscopio VE-BC3 Plus (VELABTM) con cámara digital en el cabezal y el programa TCCapture (v. 3.4.0.605) para la captura de imágenes en un equipo de computación conectado a la cámara. Una vez determinada la concentración del o los microorganismos dominantes se procedió a inocular con 50 mL de sobrenadante 450 mL de medio Zarrouk (MZ) de acuerdo con Anderson (2005) y Ogbonda *et al.*, (2007) en un matraz Erlenmeyer de 500 mL para evaluar su capacidad de crecimiento bajo una intensidad de luz de 500 μmol•m<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup> y bombeo de aire estéril para evitar contaminación de macroorganismos en el aire con bombas OC-5 (OceanAqua®) a 500 mL•min<sup>-1</sup> a una temperatura de 35°C durante dos semanas y un fotoperiodo de 16:0. Alícuotas de 1 mL fueron tomadas diariamente de los matraces de crecimiento con micropipeta Pasteur de vidrio esterilizadas dentro de campanas de flujo laminar. El conteo se realizó siguiendo una trayectoria horizontal y otra vertical desde el inicio de la celda hasta el final. Las células de cada trayectoria se dividen entre el número de celdas cuantificadas. La concentración se determinó mediante la siguiente ecuación (Ec. 1):

$$\text{Ec.1 } \# \text{células} = \frac{\sum(\text{Células totales})}{\sum(\text{Celdas totales})} * 1000 \text{ mL}$$

## Resultados y discusión preliminares

### A. Caracterización fisicoquímica del agua

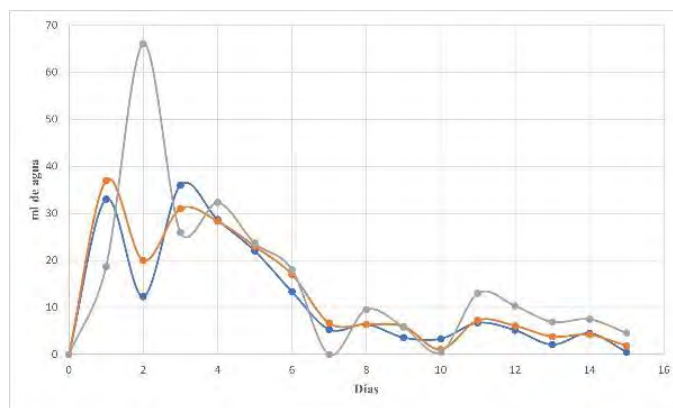
En la Cuadro 1 se presentan los valores de los parámetros fisicoquímicos analizados de la zona de muestreo. Los valores muestran un carácter de moderada alcalinidad, el cual podría predisponer la presencia de cianobacterias pertenecientes al grupo de *Arthrospira* debido a la alta presencia de bicarbonatos que mantienen a la laguna como una fuente adecuada para el riego agrícola, ya que forma parte del proceso final de la laguna de oxidación y tiene baja cantidad de sodio, aunque condicionada por la cantidad de cloro.

**Cuadro 1.** Parámetros fisicoquímicos de la laguna de oxidación, Marín, NL. SE = salinidad efectiva, SP = salinidad potencial, RAS = relación de absorción de sodio, CSR = carbonato de sodio residual, PSP = porcentaje de sodio probable.

Parámetro	Unidad	Valor
pH		8.9
CE	mS	0.66
Ca+	Meq•L <sup>-1</sup>	6
Mg+	Meq•L <sup>-1</sup>	1.7
CO3	Meq•L <sup>-1</sup>	0
HCO3	Meq•L <sup>-1</sup>	4.4
Cl-	Meq•L <sup>-1</sup>	2.55
SO4	Meq•L <sup>-1</sup>	0.0
Aniones	Meq•L <sup>-1</sup>	7
Na+	Meq•L <sup>-1</sup>	0
Cationes	Meq•L <sup>-1</sup>	7.7
SE	Meq•L <sup>-1</sup>	3.3
SP	Meq•L <sup>-1</sup>	2.55
RAS	Meq•L <sup>-1</sup>	0
CSR	Meq•L <sup>-1</sup>	0
PSP	%	0
DQO	mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	419

### B. Producción de gas

A partir de las técnicas mencionadas, se ha evaluado la proporción de humedad adecuada para la producción de CO<sub>2</sub> proveniente de las excretas porcinas a las cepas por seleccionar de microalgas. En la Figura. 1 se puede observar que a partir del segundo día se presenta el aumento en la cantidad de gas producido incluso aunque no haya diferencia significativa (p>0.05) conforme al promedio en la producción de gas entre los tres tratamientos.



**Figura 1.** Promedio de agua (mL) desplazada con respecto a la concentración de humedad en 40 g de estiércol porcino fresco a través del tiempo. Simbología: 20% = azul, 40% = naranja, 60% = gris.

### C. Identificación de microalgas

Adicionalmente se ha logrado identificar al momento seis posibles géneros. Morfológicamente caracterizados mediante las y claves dicotómicas que se describen a continuación (Figura. 2). Esta observación permite distinguir que *Spirulina (Arthrospira)* es la de mayor dominancia.

*Euglena* Ehrenberg (1830) Euglenaceae Euglenales

Las células contienen grandes cuerpos paramilonares y los cloroplastos son numerosos. Células alargadas- cilíndricas, grandes cuerpos paramilonares, en forma de bastoncillos. Células libres (Figura. 2.A).

*Ankistrodesmus* Corda Selenastraceae Sphaeropleales

Células solitarias, vagamente agrupadas en haces, entremezcladas con otras algas, sin envoltura de mucílago, estrechamente afiladas hacia cada extremo, a veces rectas, generalmente curvadas; cloroplasto parietal, c pirenoide, fitoplancton de estanques y lagos, metafiton de acequias, estanques y lagos (Figura. 2.C).

c.f. *Haematococcus* Flotow Haematococcaceae Chlamydomonadales

Las células son esféricas, varias vacuolas contráctiles distribuidas irregularmente y un cloroplasto en forma de copa con múltiples pirenoides. La acumulación de hematocromo suele provocar el color rojizo de los protoplastos (Figura. 2.D).

*Planktosphaeria* G.M. Smith Schizochlamydeaceae Sphaeropleales

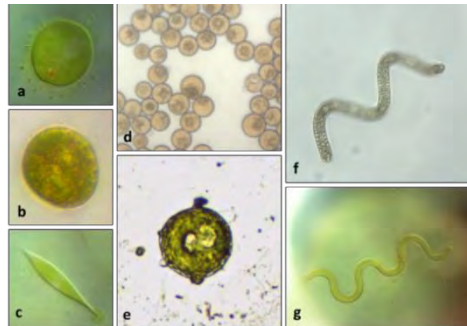
Células esféricas, unidas dentro de una amplia envoltura de mucílago incoloro que a menudo es muy fina (células raramente solitarias), células dentro de una colonia normalmente contiguas, cloroplastos (en células maduras) varios discos parietales (angulares, de cinco lados), cada uno con un pirenoide, puede formar zoosporas biflageladas, metafiton de cunetas, pantanos, estanques y lagos (Figura.2. E).

c.f. *Chlorella* Beijerinck Trebouxiophyceae Chlorellales

Células esféricas, ovoides o elipsoides, solitarias o agrupadas, cloroplasto en forma de copa o de placa, con o sin pirenoide, fitoplancton de estanques y lagos (Figura. 2 B).

*Arthrospira* Stizenberger ex Gomont Microcoleaceae Oscillatoriales

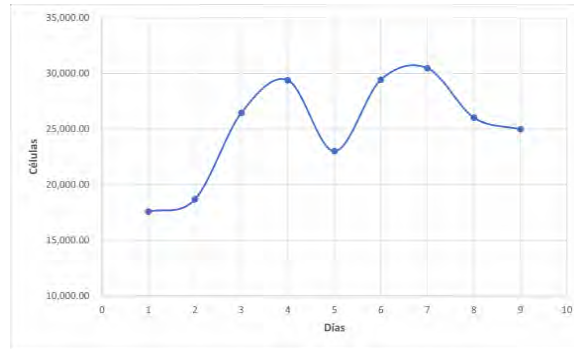
Los filamentos son solitarios y flotan libremente en el plancton, o están unidos en finas esteras, de color verde azulado. Sin toxicidad conocida. Los tricomas son o cortos, cilíndricos, isopolares, enrollados en espiral de forma regular o rara vez algo irregular, normalmente con espirales relativamente grandes, a veces atenuados en los extremos, con una anchura de espiral variable, ligeramente no constreñidas, generalmente no móviles o raramente móviles (deslizándose con rotación en sentido horario o antihorario) (Figura. 2.F y G).



**Figura 2.** Géneros de cianobacteria y microalgas presentes en la laguna de oxidación. a) *Euglena*, b) *Chlorella*, c) *Ankistrodesmus*, d) *Haematococcus*, e) *Planktosphaeria*, f) y g) *Spirulina* (*Arthrospira*). Aumento de 40x. Imágenes propias.

El conteo en la alícuota de la muestra de agua residual mostró un total de 111,250 células en un mililitro, por lo que los 500 mL al ser inoculados con 50 mL del sobrenadante del agua residual se incorporaron al medio de cultivo 5.5 millones de células que representó el 10% de inóculo. El análisis de crecimiento se presenta en el Figura. 3. En esta figura es posible observar que el comportamiento de esta cepa de *Spirulina*, presente en la laguna de oxidación durante el análisis de su crecimiento se observó un primer pico de 29,385 células•ml<sup>-1</sup> al cuarto día, seguido de un descenso a 23,014 células•ml<sup>-1</sup>. El ajuste del fotoperiodo de 24:0 a 16:8 permitió observar un segundo pico de 30,471 células•ml<sup>-1</sup> dos días después por lo que es necesario seguir evaluando estas condiciones ya que no existe demasiada información con respecto al aislamiento de cepas nativas de *Arthrospira* (Prasad *et al.*, 2013; Adir *et al.*, 2020) y las condiciones adecuadas para su cultivo, como lo son: salinidad, pH, luz, fotoperiodo, temperatura, agitación y CO<sub>2</sub> (Babu *et al.*, 2020; Niangoran *et al.*, 2021; Tayebati *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2011; Chaiklahan *et al.*, 2007; Rafiqui-Islam *et al.*, 2003; Selvendran, 2015; Kim y Lee, 2018).





**Figura 3.** Desarrollo de crecimiento de *Spirulina* (*Arthrospira*). A partir del quinto día el fotoperiodo cambió de 24:0 a 16:8 y se observa un aumento en el crecimiento hasta su muerte al décimo día.

### Conclusión parcial

El propósito del presente estudio es el aislamiento de microalgas de una laguna de oxidación para tratamiento de agua residual. Bajo este contexto se han observado seis géneros de microalgas y cianobacterias pertenecientes a la laguna de oxidación con un carácter alcalino apto para riego.

### Agradecimientos

Por el gran apoyo para poder cumplir con los objetivos del programa de posgrado al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la Beca Nacional para poder y seguir con mis estudios y desarrollo profesional en la investigación.

### Referencias bibliográficas

- NOAA. (2022). Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Disponible en: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
- Adir, N., Bar-Zvi, S., & Harris, D. (2020). "The amazing phycobilosome", *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics*, vol. 1861, num. 4, p.p. 148047, Apr.
- Aguirre-Cavazos, D.E., Moreno-Limón, S., Salcedo-Martínez, S.M. (2018) "Especies de algas de ríos de Nuevo León, México: nuevos registros para el estado", *Polibotánica*, vol. 46, pp. 1-25. Mar.
- Aiba, S. & Ogawa, T. (1977). "Assessment of growth yield of a blue-green alga, *Spirulina platensis*, in axenic and continuous culture", *The Journal of General Microbiology*, vol. 102, num. 1, pp. 179-182, Sep.
- Andersen, R.A. (ed.). (2005). *Algal culturing techniques*, Elsevier Academic Press, London.
- Babu, M., Ashok, K., Senthil, J. & Kalaiyarasu, T. (2020). "Effect of pH on *Arthrospira platensis* production", *Alochana Chakra Journal*, vol. 9, num. 5, p.p. 2297-2305, May.
- Barsanti, L. y Gualtieri, P. (2014). *Algae: Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology* (3° Ed.). Taylor & Francis Group.
- Beltrán-Rocha, J.C., Barceló-Quintal, I.D., García-Martínez, M., Osornio-Berthet, L., Saavedra-Villarreal, N., Villarreal-Chiu, J., y López-Chuken, U.J. (2017). "Polishing of municipal secondary effluent using native microalgae consortia", *Water Science & Technology*, vol. 75, num. 7, pp. 1693-1701, Apr.
- Beltrán-Rocha, J.C., Guajardo-Barbosa, C., Barceló-Quintal, y López-Chuken, U.J. (2017). "Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO<sub>2</sub>", *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, vol. 52, num. 3, pp. 417-427, Dec.
- Cabestany R.G. (2016), La XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático (COP21) y sus implicaciones para México. *Temas Estratégicos No. 36*. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República, México.
- Chaiklahan, R., Khonsarn, N., Chirasuwan, N., Ruengjitchachawalya, M., Bunnag, B., & Tanticharoen, M. (2007). "Response of *Spirulina platensis* C1 to High Temperature and High Light Intensity", *Kasetsart Journal – Natural Science*, vol. 41, pp. 123-129,.
- Dangal, S.R.S., Tian, H., Zhang, B., Pan, S., Lu, C., Yang, J. (2017). "Methane emission from global livestock sector during 1890–2014: Magnitude, trends and spatiotemporal patterns", *Global Change Biology*, vol. 23, pp. 4147– 4161. Apr.

- Eze, V.C., Velasquez-Orta, S.B., Hernández-García, A., Monje-Ramírez, I., y Orta-Ledesma, M. (2018). "Kinetic modelling of microalgae cultivation for wastewater treatment and carbon dioxide sequestration", *Algal Research*, vol. 32, pp. 131-141. Apr.
- Galicia-Naranjo, A., Benjamín-Ordóñez, J.A., Munguía-Bárceñas, A., Venegas-Mancera, J.V., Ortega-Treviño, L.E., y Ordóñez-Díaz, M. de J. (2021) "Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018." *Realidad, Datos Y Espacio Revista Internacional De Estadística Y Geografía*, vol. 12, num. 3, pp. 114-123. Apr.
- Hamed, I. (2016). "The Evolution and Versatility of Microalgal Biotechnology: A Review", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 15, num. 6, pp. 1104-1123, Sep
- Klinthong, W., Yang, Y-H, Huang, C-H, y Tan, C-S. (2015). "A Review: Microalgae and Their Applications in CO<sub>2</sub> Capture and Renewable Energy", *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 15, num. 2, pp. 712–742. Apr.
- Kumar, M., Kulshreshtha, J., & Singh, G. P. (2011). "Growth and biopigment accumulation of cyanobacterium *Spirulina platensis* at different light intensities and temperature", *Brazilian Journal of Microbiology*, vol. 42, num. 3, pp. 1128-1135, Sep.
- Mohammed, K.A., Adubakar, I., Tanimu, G., y Abdurrazak, S. (2017). "The Effect of Carbon dioxide Concentration on the Rate of Microalgae Growth, CO<sub>2</sub> Uptake and Nutrient Removal from Wastewater", *Nigerian Journal of Renewable Energy*, vol. 17(1&2), pp. 79-91. Jan.
- Nagarajan, D., Lee, D. J., Varjani, S., Lam, S. S., Allakhverdiev, S. I., & Chang, J. S. (2022). "Microalgae-based wastewater treatment–Microalgae-bacteria consortia, multi-omics approaches and algal stress response", *Science of The Total Environment*, vol. 845, pp. 157110. Nov.
- Niangoran, N.U.F., Buso, D., Zissis, G., & Prudhomme, T. (2021). "Influence of light intensity and photoperiod on energy efficiency of biomass and pigment production of *Spirulina* (*Arthrospira platensis*)", *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, vol. 28, num. 37, pp. 1-8, Jul.
- Nordhaus, William. "Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies", *American Economic Journal: Economic Policy*, vol.10, num. 3, pp. 333-60.
- Ogbonda, K.H., Aminigo, R.E., & Abu, G.O. (2007). "Influence of temperature and pH on biomass production and protein biosynthesis in a putative *Spirulina* sp.", *Bioresource Technology*, vol. 98, num. 11, p.p. 2207-2211, Aug.
- Olguín E.J. (2012). "Dual purpose microalgae-bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a biorefinery", *Biotechnology Advances*, vol. 30, num. 5, pp. 1031-46, May.
- Oruganti, R. K., Katam, K., Show, P. L., Gadhamshetty, V., Upadhyayula, V. K. K., & Bhattacharyya, D. (2022). "A comprehensive review on the use of algal-bacterial systems for wastewater treatment with emphasis on nutrient and micropollutant removal", *Bioengineered*, vol. 13, num. 4, pp. 10412-10453. Apr.
- Prasad, R.N., Sanghamitra, K., Gutierrez-Mora, A., Gallardo-Valdés, J., Rodriguez-Garay, B., Ibarra-Montoya, J.L., & Vega-Valero, G. (2013). "Isolation, Identification and Germplasm Preservation of Different Native *Spirulina* Species from Western Mexico", *American Journal of Plant Sciences*, vol. 4, p.p. 65-71, Dec.
- Rafiqul islam, Md., Hassan, A., Sulebele, G., Orosco, C., & Roustaian, P. (2003). "Influence of Temperature on Growth and Biochemical Composition of *Spirulina platensis* and *S. fusiformis*", *Iranian International Journal of Science*, vol. 4, num. 2, pp. 97-106.
- Selvendran, D., (2015). "Large Scale Algal Biomass (*Spirulina*) Production in India", in: Das, D. *Algal Biorefinery: An Integrated Approach*, Springer International Publishing. pp. 151–167.
- Tayebati, H., Shariati, F.P., Soltani, N., Tehrani, H.S. (2020). "The effect of different light variables on *Spirulina* growth and its component", *The 11th International Chemical Engineering Congress & Exhibition At: Fouman- Iran*, 15-17 Apr.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G., y Kociolek, J.P. (2015). *Freshwater Algae of North America: Ecology and Clasification*. Academic Press.
- Wher, J.D., y Sheath, R.G. (2003). *Freshwater Algae of North America*. Academic Press. California, USA.

## CARACTERÍSTICAS ELOTERAS DE VARIEDADES DE MAÍZ DE LA RAZA OLOTILLO COLECTADAS EN EL TRÓPICO DE MÉXICO

Bulmaro Coutiño-Estrada<sup>1\*</sup>, Sheila Grajales-Herrera<sup>2</sup>, Noel Gómez-Montiel<sup>3</sup>, Víctor A. Vidal-Martínez<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas, <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, <sup>3</sup>INIFAP Campo Experimental Iguala, <sup>4</sup>INIFAP Campo Experimental Santiago Ixcuintla.

\* Autor para correspondencia: [coutino.bulmaro@inifap.gob.mx](mailto:coutino.bulmaro@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Variedades criollas, maíz, olotillo

### Introducción

Se estima que en México se siembran alrededor de 5 millones de hectáreas con semillas de variedades criollas y de generaciones avanzadas de semillas mejoradas, lo que resalta la importancia de las variedades criollas en la producción nacional de grano. Una de las 59 razas de variedades criollas de maíz cultivadas en México es la Olotillo, la cual se cultiva en regiones de clima cálido de varios estados del país, desde Nayarit hasta Chiapas. Su principal centro de distribución es el alto Grijalva en Chiapas, pero su presencia e influencia se extiende a las regiones costeras y laderas adyacentes de la vertiente del Pacífico en Oaxaca y Guerrero, así como a las zonas costeras, y laderas en la vertiente del Golfo de México, desde el norte de Oaxaca, hasta Veracruz, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí, aunque su área de distribución en Chiapas y Oaxaca ha disminuido, desplazado por Tuxpeños y maíces mejorados.

La raza Olotillo produce bajo condiciones edáficas limitantes, suelos someros, y bajo uso de insumos, por lo que es un componente importante en los sistemas de milpa de las zonas tropicales del país; se caracteriza por sus mazorcas alargadas de olote delgado y flexible, grano dentado a semiharinoso, suave, con numerosas variantes en color, con buen rendimiento de tortilla y muy apreciada por productores de autoconsumo y por las amas de casa, quienes en su dieta diaria consumen tortillas, pozol y elote, principalmente (Coutiño *et al.*, 2021).

La producción de elote es más rentable que la de grano para aquellos productores que cuentan con agua para dar riegos de auxilio, venden el elote, el forraje y el terreno solo lo usan 3 meses (Díaz, 2013). En México, se han cultivado 69,804 ha para la producción de 947,998 ton de elotes, con un rendimiento de 14.668 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en Chiapas se reportan 666 ha cultivadas con una producción de 12,472 ton y un rendimiento promedio de 18.727 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020).

### Objetivo

El objetivo de la presente investigación fue conocer la diversidad fenotípica de características eloterías de variedades criollas de la raza Olotillo colectadas en cuatro entidades del país.

### Materiales y métodos

Durante los años 2018 y 2019 se colectó semilla en mazorca y en grano de 47 variedades de la raza Olotillo en cuatro entidades del país: Chiapas, Guerrero, Nayarit y Oaxaca. En Chiapas se colectó en 27 comunidades de 8 municipios, obteniendo 27 variedades; en Guerrero se visitaron 15 comunidades y se obtuvo 15 variedades; en Nayarit se obtuvieron 5 variedades en dos municipios y en Oaxaca se obtuvieron dos variedades de dos localidades. Las 47 variedades más dos testigos locales (una de la raza Tuxpeño y otra de la raza Comiteco) se sembraron en julio del 2021 en terrenos del Campo Experimental Centro de Chiapas; el clima que predomina en esta localidad es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, precipitación pluvial de 1100 mm y una altitud de 781 m; las 49 variedades fueron sorteadas aleatoriamente en un diseño experimental Látxice triple 7x7, en parcelas de dos surcos de 5 m de longitud, a una densidad de 33,500 plantas, que es la que utilizan los productores de Olotillo. Inmediatamente después de la siembra, se aplicó un herbicida preemergente a base de Glifosato + Diurón en dosis de 2.0 L ha<sup>-1</sup>, a los 14 días después se fertilizó con la fórmula 160-120-00, aplicando la mezcla de urea más fosfato diamónico (80-120-00) y dos semanas después se aplicó la otra mitad del nitrógeno; para el control de plagas de la raíz (*Phyllophaga spp*) se aplicó junto a la semilla, el insecticida Permetrina en dosis de 5 kg ha<sup>-1</sup> y para plagas del follaje (*Spodoptera frugiperda*) se aplicó insecticida Cipermetrina en dosis de 1.0 L ha<sup>-1</sup>; por la agresividad de la maleza (gramíneas) se hicieron posteriormente otras dos aplicaciones de herbicida, como

corresponde al manejo agronómico recomendado para el cultivo del maíz en la región Centro de Chiapas. Para conocer la variabilidad fenotípica de las variedades criollas de Olotillo, se midieron las siguientes variables de forraje y producción de elote en cinco plantas: días floración femenina y masculina, altura de planta y de inserción del elote (cm), peso de elote con brácteas (g), peso de planta sin elote (g), peso de elote sin brácteas (g), longitud de elote (cm), número de hileras, número de granos por hilera y contenido de azúcares solubles (° Brix). Para medir las variables eloterías, en la etapa se cortaron cinco plantas a ras del suelo, para obtener el peso promedio con el uso de una báscula electrónica marca TorRey y para medir el contenido de azúcares solubles en los elotes, se maceraron los granos de tres elotes y se depositaron unas gotas del líquido lechosos en un refractómetro digital marca Atago, tomando dos lecturas de cada elote.

Para conocer la magnitud de la variabilidad entre las variedades, las variables medidas se les realizó un análisis de varianza y una prueba de medias DMS (0.05) por medio del procedimiento GLM del Statistical Analysis System (SAS, versión 9.3) para detectar la o las mejores en esas características.

## Resultados y discusión

El análisis estadístico indicó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en todas las variables excepto para peso de forraje verde. Las plantas de las 47 variedades son de ciclo tardío y muy altas, la floración femenina y masculina fue a los 66 y 63 días, respectivamente, mientras que la altura promedio de planta y de elote fue de 284 y 136 cm y el peso promedio de forraje verde (sin elote) fue de 1.370 kg (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Características de planta y forraje de 11 variedades y las dos testigos.

Variedad	Municipio	Edo.	FF (días)	FM (días)	AP (cm)	AE (cm)	PF (kg)
26	Coyuca de Benítez	Guerrero	67	65	297	148	2.00
35	Ocozocoautla	Chiapas	67	65	316	157	1.97
33	Ocozocoautla	Chiapas	74	72	341	185	1.88
7	Suchiapa	Chiapas	71	69	335	168	1.87
1	Cintalapa	Chiapas	69	67	314	82	1.82
36	Jiquipilas	Chiapas	67	65	300	145	1.79
9	Suchiapa	Chiapas	73	71	305	167	1.78
22	San Luis Acatlán	Guerrero	62	60	277	123	1.76
14	San Luis Acatlán	Guerrero	59	57	282	148	1.65
17	Marquelia	Guerrero	65	63	272	145	1.65
11	El Parral	Chiapas	63	61	264	118	1.65
48 (T2)	Ocozocoautla	Chiapas	67	65	276	125	1.67
49 (T1)	Ocozocoautla	Chiapas	56	54	258	113	1.13
	Promedio <sub>49</sub>		66	63	284	136	1.37
	DMS <sub>0.05</sub>		7.4	7.6	36.5	30.7	ns

FF=floración femenina, FM=floración masculina; AP= altura de planta, AE=altura de elote, PF=peso de forraje verde, T1=testigo Tuxpeño, T2= testigo Comiteco, ns=no significativo.

Estadísticamente, un grupo de 20 variedades fueron las más tardías en sus floraciones femeninas, de 75 a 67 días y un grupo de 21 variedades tardías en su floración masculina, de 73 a 65 días, mientras que las más precoces fueron una variedad de Nayarit y la testigo Tuxpeño con floraciones femeninas de 64 y 63 días, respectivamente; en esta misma localidad de Ocozocoautla, Rincón (2021) evaluó variedades criollas y mejoradas de grano amarillo e indicó que las plantas de una variedad criolla Olotillo amarillo florecieron a los 76 días, lo cual coincide con los resultados obtenidos. Las plantas de estas variedades criollas de

Olotillo son muy altas, estadísticamente sobresalieron 12 con plantas de 341 a 305 cm, mientras que Rincón (2021) reportó alturas de 325 cm. En las regiones donde se cultivan variedades criollas de Olotillo, son muy apreciadas por su producción de forraje o rastrojo para el ganado y los productores seleccionan mazorcas largas e indirectamente seleccionan plantas altas y tardías. En producción de forraje las variedades fueron estadísticamente iguales, sobresaliendo numéricamente la variedad 26 de Guerrero y la variedad 35 de Chiapas con un peso promedio por planta de 2.0 y 1.97 kg, lo que equivaldría a un rendimiento potencial de forraje verde de 60 ton/ha.

En las variables de elotes, el promedio de longitud fue de 19.7 cm, el peso de elotes con brácteas fue de 197 g, y sin brácteas de 153 g, la dulzura promedio de lotes fue de 10.3 y el promedio de hileras de grano fue de 10 (Cuadro 2). Sobresalió un grupo de 38 variedades con los elotes más largos, de 24.8 a 18.1 cm de longitud, destacando las variedades 4 de Chiapas y 26 de Guerrero con elotes de 24.8 y 24 cm de longitud, respectivamente. Esta característica es importante porque el comprador de elotes llega a las parcelas y pone el precio de compra según la longitud que observa en ellos. En peso de elotes con brácteas, como lo vende el productor, sobresalieron estadísticamente un grupo de 15 variedades, con valores de 597 a 399 g, entre ellas, 4 de Guerrero, 10 de Chiapas y 1 de Nayarit, la variedad 26 de Guerrero de 597 g, equivaldría a tener una producción de elotes de 17 ton/ha; en peso de elote sin brácteas, sobresalieron estadísticamente 41 variedades con valores de 227 a 109 g; en el mercado local, los elotes tienen un precio de \$ 5 a 7 por pieza, pero varía de acuerdo con la temporada de producción, siendo más caro en la época seca (Coutiño *et al.*, 2015). En el contenido de azúcares solubles el grupo que sobresalió estadísticamente fue de 32 variedades con valores que variaron de 14.1 a 7.5 °Brix, la variedad testigo Tuxpeño (V1A) fue la de elotes más dulces, la cual es de grano amarillo formada por 4 ciclos de Selección Recurrente; estos resultados son superiores a los reportados por Coutiño (2007), quien evaluó diferentes razas de maíces criollos y los elotes arrojaron valores de 8.9 a 7.5 °Brix. Generalmente, los elotes amarillos son más dulces que los blancos, afirman los productores y los consumidores. El número de hileras de los elotes de Olotillo es de 8 a 12, por ello, sobresalieron estadísticamente 10 variedades, entre ellas, las variedades 46 y la testigo Tuxpeño con 14 hileras y las demás de 12.

**Cuadro 2.** Características eloterías de las mejores 15 variedades en producción de elote.

Variedad	Municipio	Edo.	LE (cm)	PECB (g)	PE (g)	AZ (°Brix)	NH
26	Coyuca de Benítez	Guerrero	24.0	597	213	9.5	12
14	San Luis Acatlán	Guerrero	23.1	520	227	11.4	12
38	Ocozocoautla	Chiapas	19.1	517	220	11.1	12
22	San Luis Acatlán	Guerrero	19.2	507	193	7.4	12
35	Ocozocoautla	Chiapas	22.0	463	127	9.0	8
17	Marquelia	Guerrero	20.7	463	203	11.0	12
1	Cintalapa	Chiapas	21.1	460	110	9.6	10
46	Ocozocoautla	Chiapas	21.0	450	213	11.3	14
36	Jiquipilas	Chiapas	21.2	443	167	9.1	10
37	Ocozocoautla	Chiapas	21.9	433	113	12.3	8
42	Ocozocoautla	Chiapas	17.4	420	137	10.3	10
30	La Yesca	Nayarit	18.5	420	180	12.0	12
43	Ocozocoautla	Chiapas	23.0	420	203	10.6	12
9	Suchiapa	Chiapas	21.8	410	133	9.5	8
49 T1)	Ocozocoautla	Chiapas	22.3	400	223	14.1	14
48 (T2)	Ocozocoautla	Chiapas	13.8	220	110	7.5	8
P			19.7	366	153	10.3	10
			6.6	197	117	4	3.9

LE=longitud de elote, PECB=peso de elote con brácteas, PE=peso de elote, AZ=contenido de azúcares, NH=No. de hileras



## **Conclusiones**

Se encontró amplia variación entre las variedades de la raza Olotillo procedentes de las cuatro entidades del país en todas las variables de planta y elote, excepto en la producción de forraje verde. Estas variedades se caracterizan por ser de plantas muy altas y tardías, por lo que tienen potencial para la producción de forraje, unas de Guerrero y otras de Chiapas. En sus características eloteras, sobresalieron 4 variedades de Guerrero, 10 de Chiapas y una de Nayarit, las cuales tuvieron los elotes más largos, de mayor peso y de mayor número de hileras, las cuales son una buena opción para ofrecerlas a los productores de elotes de la región.

## **Agradecimientos y fuente financiadora**

Se agradece a la Comisión Nacional para el Uso y Conservación de la Biodiversidad el financiamiento para realizar el proyecto Evolución de poblaciones evolutivas para la raza de maíz Olotillo en Ocozocoautla, Chiapas, durante los años 2019 al 2022.

## **Referencias bibliográficas (5)**

- Coutiño E. B., Cruz V., J. M. Hernández C., N. O. Gómez M., F. J. Cruz C., V. A. Vidal M., C. E. Aguilar J. (2021). Diversidad fenotípica de razas de maíz cultivadas en Chiapas, México. Libro técnico No. 14. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas, México. 309 p.
- Coutiño E. B., Vidal M. V., Cruz V. C. y Gómez G. M. (2015). Características eloteras y de grano de variedades nativas de maíz de Chiapas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Vol.6, No.5:1119-1127.
- Díaz L. V. (2013). Evaluación de variedades eloteras de maíz en Guadalupe Victoria, Villaflores, Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. pp: 4-28.
- Rincón E. D. (2021). Rendimiento y calidad de grano de híbridos y variedades de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en Chiapas. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Chiapas. Villaflores, Chiapas. 102 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Avances de siembra y cosecha. Resumen de los estados. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto)

## CALIDAD DEL GRANO DE MAICES CULTIVADOS EN CUETZALA DEL PROGRESO, GUERRERO, MÉXICO

Jonathan Aparicio-Ramírez<sup>1</sup>, Oscar Martín Antúnez-Ocampo<sup>2\*</sup>, Martín Solís-Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. <sup>2</sup>Campo Experimental Iguala.

\*Autor para correspondencia: [antunez.oscar@inifap.gob.mx](mailto:antunez.oscar@inifap.gob.mx)

**Palabras claves:** grano, Guerrero, maíces.

### Introducción

En México, el maíz forma parte de la alimentación, sociedad, cultura y economía (Cortes, 2016), ya que el consumo *per cápita* es de 100 kg al año, y los alimentos que sobre salen son el elote, tlascal, tamal y la tortilla, este último uso es el más importante en la gastronomía mexicana. La importancia del maíz radica en que es un alimento de primera necesidad para el 94% de la población, principalmente en zonas rurales, donde el consumo diario es de 328 g diario *per capita* y provee el 70% del total de las calorías, cerca del 50% de las proteínas y 49% del calcio (Cortes, 2016). En este sentido, el 65% de la producción a nivel nacional se obtiene con maíces nativos, donde algunos presentan una amplia adaptación a diversas condiciones agroclimáticas; además, por sus características del grano como el color, sabor y textura son muy apreciados para la elaboración de tortillas, tamales, atoles, totopos y otras comidas tradicionales mexicanas, tal es el caso de maíces pigmentados (azul, negro, rojo, morado) (Urías-Lugo *et al.*, 2015). Los maíces nativos poseen características fisicoquímicas importantes que al consumirlos aportan nutrientes favorables para la salud humana. En el Estado de Guerrero, el maíz es el principal cultivo agrícola y se siembra en diferentes condiciones agroecológicas y altitudes desde el nivel del mar hasta 2 880 m, principalmente de temporal (95%), usando maíces nativos (pepitilla, arrocillo, ancho) y mejorados (H,516, VS-535, Tornado, DK.357), (González-Mateos *et al.*, 2018). La importancia de este cereal para los agricultores es que lo cultivan para el autoconsumo y venta, destacando que en autoconsumo se emplean genotipos nativos que se conservan y transfieren de generación en generación, sin embargo, la superficie sembrada de estos maíces ha disminuido por la introducción de maíces mejorados, los cuales sobresalen en rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, pero de menor preferencia para hacer tortillas. Por otro lado, las investigaciones enfocadas en aspectos de calidad nutricional del grano de los maíces nativos son limitadas, ya que la mayoría de los estudios se han destinado, en especial, al aumento del rendimiento, porte de la planta, resistencia a sequía y enfermedades. En otros casos, el mejoramiento genético de los maíces ha modificado las características fisicoquímicas de los maíces con el paso de los años (López-Morales *et al.*, 2019). En este contexto, los estudios referentes a las propiedades químicas de los maíces nativos y mejorados en el Estado de Guerrero son limitadas, los cuales pueden ser una alternativa funcional para el consumo humano.

### Objetivo

Determinar las características química y nutricional de granos de maíces criollos y mejorados, que se cultivan en Cuetzala del Progreso, Estado de Guerrero, donde la hipótesis, fue que el al menos un material de maíz sobresale en características químicas y nutricionales que el resto de los materiales.

### Materiales y métodos

Material vegetal. Se utilizaron semillas de dos maíces nativos y de un mejorado, conocidos localmente como Negro y Arrocillo, y DK-357. Las semillas de los maíces se recolectaron en enero de 2023, en el municipio de Cuetzala del Progreso, con agricultores que cultivan los materiales en estudio.

Factores de estudio y diseño experimental. El factor de estudio fue el genotipo de maíz, donde los tratamientos fueron los materiales recolectados: Arrocillo (T1), Negro (T2) y DK-357 (T3) (Figura 1), los cuales se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones para las variables morfológicas y 12 para las químicas del grano.



**Figura 1.** Mazorcas de los genotipos de maíces recolectados en Cuetzala del Progreso, Estado de Guerrero.

Establecimiento y manejo del experimento. La toma de datos morfológicos y los análisis químicos de los granos se realizó en los laboratorios de Química Ambiental y de Zootecnia, del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGRO), ubicado en el municipio de Cocula (altitud de 640 m; 180 15' 16" LN y 990 38' 46" de LO), Estado Guerrero.

Variables evaluadas y análisis de la información. En todos los genotipos de maíz se registraron las variables de diámetro del grano (mm) con un vernier digital Truper® modelo CAL-6MP, en la parte media del grano, peso (g) de 100 granos con una báscula digital Torrey® serie L-PCR. Estas variables se registraron en cinco grupos de 100 granos en cada material colectado.

Las variables químicas que se determinaron fueron los contenidos de materia seca (%), con la fórmula:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso de la capsula+muestra seca}-\text{peso de la capsula}}{\text{peso de la muestra inicial}} \times 100 ; \text{ ceniza (\%)}, \text{ mediante la fórmula:}$$

$$\% \text{ de ceniza} = \frac{\text{peso final}-\text{peso de la bandeja de aluminio}}{\text{peso de la muestra}} \times 100; \text{ proteína cruda, calculando el } \% N = \frac{(\text{ml gastados de ácido clorhídrico}) \times \text{normalidad del hci} \times 1.4}{\text{peso de la muestra}}$$

y posteriormente este factor es igual a 0.014 meq de N x 100. Finalmente  $\% \text{ de proteína cruda} = \% N \times 6.25$ . La determinación de N total fue por el método de macro Kjeldahl (Malavolta *et al.*, 1997).

La información 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

El tamaño y peso del grano mostraron significancia ( $\alpha < 0.5$ ) por efecto del genotipo de maíz, de igual manera; los contenidos de materia seca (MS), nitrógeno (N) y proteína cruda (PC) ( $\alpha < 0.5$ ). Sin embargo, el contenido de ceniza (Ce) y de fibra detergente neutra (FDN) no fueron afectados por el tipo de maíz, ya que estas variables no mostraron significancia ( $\alpha > 0.5$ ) (Cuadro 1).

El maíz Negro presentó el mayor diámetro ecuatorial (12.5 mm) y peso (65 g) del grano, en comparación con los valores registrados en los granos de Arrocillo y mejorado (Cuadro 1). En el caso del contenido de ceniza y de fibra detergente neutra, todos los maíces presentaron valores estadísticamente similares (Cuadro 1). Respuesta diferente se presentó en el resto de las variables químicas evaluadas, ya que destacaron los valores obtenidos en los granos del maíz Negro, quienes tuvieron el mayor contenido de MS (89.42%), N (3.88%) y de proteína (24.25%).

**Cuadro 1.** Significancia y promedios de las variables de morfológicas y químicas del grano de tres maíces Cultivados en Cuetzala del Progreso, en el Estado de Guerrero.

F.V.	Ps (g)	DG (mm)	MS (%)	Ce (%)	N (%)	PC (%)	FDN (%)
	*	*	*	ns	*	*	ns
<b>Arrocillo</b>	43.92b	9.70b	86.88c	6.50	2.92c	18.13c	6.86
<b>Negro</b>	65.83a	12.50a	89.42a	7.50	3.88a	24.25a	7.203
<b>Mejorado</b>	30.917c	8.10c	88.04b	8.00	3.31b	20.66b	5.21
<b>C. V. (%)</b>	8	19	3	32	33	21	64
<b>Media G.</b>	47	10.09	1.00	7.44	6.02	20.92	6.42

F.V. = Fuente de variación. \* = Significativa,  $\alpha < 0.05$ . ns= No significativo,  $\alpha > 0.05$ . C. V. = Coeficiente de variación. Ps. = Peso de 100 semillas Dg = Diámetro del grano. MS = Materia seca. Ce = Ceniza. N = Nitrógeno. PC = Proteína cruda. FDN = Fibra detergente neutra.

El tamaño del grano, es una característica ligada al genotipo, pero su disminución se ve favorecido por la escasa y mal distribución de la precipitación principalmente en la etapa del llenado del grano (Ángeles-Gaspar *et al.*, 2010; Bâzinger *et al.*, 2012). En maíces nativos del Estado de Morelos, Broa *et al.* (2019) reportaron valores de proteína entre 7.6 y 11.5%; mientras que, Vázquez *et al.* (2010) obtuvieron valores de 6.9 a 12.5% de proteína, estos resultados están dentro de lo informado (9.7 y 11.9%) para maíces nativos mexicanos (Gaytán-Martínez *et al.*, 2013). Entre los aspectos que alteran la composición de los granos (proteína, carbohidratos) es la fertilización del cultivo, ya que algunos agricultores no la realizan en momentos oportunos, ya sea por la usencia de lluvia o es reducida la dosis por el costo de los fertilizantes. En este sentido, se ha reportado que las características físico-químicas y los componentes estructurales del grano de maíz dependen de la variedad, condiciones del cultivo y de los métodos de selección implementados por los agricultores, y por los cambios climatológicos (Broa *et al.*, 2019). Al respecto, Ángeles-Gaspar *et al.* (2010) indicaron que la variación genética del maíz está relacionada con los factores asociados a la humedad del suelo, temperatura, altitud y a la duración del periodo de crecimiento de las plantas. Por ejemplo, Vázquez-Carrillo *et al.* (2016) informaron que precipitaciones mayores de 500 mm y temperaturas promedio entre 15 y 26 °C en la etapa de llenado del grano, incrementaron el tamaño del grano, la dureza y el contenido de almidón. La diferencia entre genotipo se ha relacionado principalmente con la interacción genotipo x ambiente, ya que los genotipos responden de manera diferente a las variantes del ambiente (Bazinger *et al.*, 2012).

## Conclusiones

Los maíces cultivados de Cuetzala del Progreso, principalmente el genotipo nativo denominado Negro, sobresale por sus características fisicoquímicas, las cuales pueden aprovecharse en procesos como nixtamalización que es fundamental para mejorar el valor nutricional del maíz, en específico, por su color de grano (antioxidantes) o la elaboración de subproductos. Sin embargo, el uso de estos maíces nativos se ha ido modificando con el paso de los años debido a factores como la globalización, cambios en la vida social y productiva de la zona, cambios de preferencias de los consumidores y la migración.

## Agradecimientos

A los agricultores de maíz de Cuetzala del Progreso, al personal del CEP-CSAEGro por brindar todas las facilidades para llevar a cabo la investigación.

## Fuente financiadora

Sin fuente de financiamiento

## Referencias bibliográficas

Broa R. E., Vázquez C. M. G., Estrella C. N. G., Hernández S. J. H., Ramírez V. B. y Bahena D. G. (2019). Características fisicoquímicas y calidad de la proteína de maíces nativos pigmentados de Morelos en dos años de cultivo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(3), 683-697.

Gaytán-Martínez M., Reyes-Vega M. D., Figueroa-Cárdenas J. D., Morales-Sánchez E, y Rincón-Sánchez F. (2013). Selección de maíces criollos para su aplicación en la industria con base en su valor agregado. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(3A):339-346.

González-Mateos R., Noriega-Cantú D. H., Volke-Haller V. H., Pereyda-Hernández J., Domínguez-Márquez V. M. y Garrido-Ramírez E. R. (2018). Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) y respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes, y biofertilizantes, en Guerrero, México. *Agroproductividad* 11: 22-31.

López-Morales F., Vázquez-Carrillo M.G., García-Zavala J.J., López-Romero G., Reyes-López D. y Molina-Galán J. G. (2019). Estabilidad y adaptación del rendimiento y calidad de tortilla en maíz Tuxpeño, Valles-Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(8): 1809-1821.

Vázquez-Carrillo M. G., Rojas-Martínez I., Santiago-Ramos D., Arellano-Vázquez J., Espinosa-Calderón A., García-Pérez M. and Crossa J. (2016). Stability analysis of yield and gran quality traits for the nixtamalization process of maize genotypes cultivated in the Central High Valleys of Mexico. *Crop Sci*. 56(6):3090-3099.



## CONTENIDO MINERAL DE SEMILLAS DE AJONJOLÍ CULTIVADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo<sup>1\*</sup>, Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>2</sup>, Filiberto Anzures-Olvera<sup>1</sup>, Juan Elías Sabino-López<sup>3</sup>, Mariana Espinosa-Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Iguala-INIFAP. Iguala, Guerrero <sup>2</sup>CENID RASPA-INIFAP. Gomez Palacio, Durango. <sup>3</sup>Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala, Guerrero.

\*Autor para correspondencia: [antunez.oscar@inifap.gob.mx](mailto:antunez.oscar@inifap.gob.mx)

**Palabras claves:** ajonjolí, minerales, semillas.

### Introducción

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es una planta herbácea que pertenece a la familia pedaliaceas, y su centro de origen son las regiones tropicales y subtropicales del continente africano, específicamente Etiopía. Posteriormente, fue introducido en Asia Central, Indonesia y China. En México, la semilla de ajonjolí fue introducida por esclavos africanos durante la época de la conquista española. Entre las características que resaltan al cultivo de ajonjolí es su tolerancia a la sequía, ya que la planta presenta un sistema radicular extenso y no tolera un periodo de precipitaciones durante la etapa de maduración de la semilla (Baradas, 1994). Otro aspecto importante del ajonjolí es que la semilla contiene diversos minerales (Mg, P, Fe, Ca, Zn, K, y vitaminas (B, C, E) y de aceite comestible, que es de alto valor nutricional y terapéutico (Hata *et al.*, 2012), que lo convierte en un cultivo oleaginoso de importancia mundial. En México, el consumo *per cápita* de ajonjolí es de 700 g y su cultivo representa una fuente de empleos e ingresos, ya que se cultiva en 12 estados, siendo Sinaloa, Guerrero, y Michoacán los principales productores (SIAP, 2022). En el Estado de Guerrero, se siembra mayormente en condiciones de secano o temporal (primavera-verano), en suelos delgados con baja fertilidad y con un manejo agronómico limitado, lo que permite obtener de 650 a 800 kg ha<sup>-1</sup> de rendimiento de semilla. En cuanto a las variedades de ajonjolí, las más comunes son de color blanco y negro o tostado. Las variedades de semilla de color blanco se caracterizan por tener un desarrollo abundante y requerir mayor cantidad de nutrientes del suelo; por lo tanto, la semilla recibe mejor precio y se usan para la panificación y reposterías. Las variedades de color negro, corresponde a las semillas mezcladas (coloraciones) entre amarillo a marrón oscuro (la más cultivada en México), la planta es más pequeña con menor rendimiento, y se desarrolla en suelos pobres en nutrientes, por lo que es más rústica que la blanca y se usa para la producción de aceites y harinas. La problemática de los bajos rendimientos de ajonjolí se relaciona principalmente con la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la escasa aplicación de fertilizantes químicos (N-P-K) y orgánicos por los productores. En este sentido, es importante señalar que los trabajos de investigación en el cultivo de ajonjolí en el Estado Guerrero son limitados.

### Objetivo

Determinar el contenido mineral de variedades de ajonjolí cultivadas en el Estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que al menos una variedad presenta diferente contenido de minerales que el resto de los materiales.

### Materiales y métodos

Material vegetal. Se utilizaron semillas de cinco variedades de ajonjolí (500 g de cada genotipo) provenientes de la cosecha del ciclo agrícola PV (julio a octubre de 2022). Las características generales de cuatro variedades de ajonjolí, se describen a continuación:

**Igualteco.** La planta es ramificada, la cual es preferida por los productores por su amplio tramo de fructificación. Esta variedad tiene una altura de 1.70 a 2.0 m, su cápsula es larga y de semilla blanca; el rendimiento varía de 920 a 1,000 kg ha<sup>-1</sup> bajo condiciones de temporal.

Zirándaro. La planta es ramificada, tiene la semilla blanca, las cápsulas cortas y tres por axila. Esta variedad presenta un rendimiento que oscila de 900 a 1,000 kg ha<sup>-1</sup>, además de que su ciclo es de 97 días a cosecha, y de que tira todas sus hojas al momento de madurar, lo que favorece el corte y secado de las plantas y cápsulas.

JR-20 (Negro). La planta es ramificada, tiene un ciclo de vida de 90-100 días. La altura alcanza 1.6 m; el color de semillas es negro, el rendimiento mínimo es de 600 kg ha<sup>-1</sup> y el potencial es de 1 000kg ha<sup>-1</sup>.

San Joaquín. La planta es de vara, de ciclo precoz, que produce de tres a cinco cápsulas por axila. La semilla de esta variedad es de color blanca, con un rendimiento de 757 a 1,500 kg ha<sup>-1</sup> y se adapta muy bien en siembras de temporal, riego y humedad residual.

El establecimiento y manejo del experimento. Las variedades se establecieron en el mes de julio en los terrenos agrícolas del Campo Experimental Iguala del INIFAP en Guerrero, ubicado a 740 m de altitud. El suelo en la profundidad de 0 a 20 cm presentó color gris rojizo en seco y café rojizo en húmedo, con conductividad eléctrica de 0.45 dS m<sup>-1</sup>, 5.4 % de materia orgánica y pH de 7.5. La siembra fue manual depositando de 8 a 10 semillas por mata; la distancia entre matas fue de 0.30 m. A los 15 días después de nacidas las plántulas (dde) se realizó el aclareo, dejando tres plantas por mata para obtener una densidad de población de 150, 000 plantas por hectárea. La fertilización al suelo fue 60N-40P-00K en dos aplicaciones la primera fertilización fue a los 15 dde aplicando todo el fósforo y la segunda se hizo a los 40 dde, aplicando el resto del N. Las malezas se controlaron con Paraquat a los 35 dde y manual mediante deshierbes con azadón. En relación a las plagas como el gusano de alambre (*Agriotes lineatus* L.) y la gallina ciega (*Phyllophaga* spp) se controlaron con 7 kg ha<sup>-1</sup> de Terbufos al 5 % en la siembra. En el caso de las plagas del follaje se controlaron con 0.750 y 1 L de Cipermetina y Malation, respectivamente. El corte de las plantas se hizo cuando las hojas se tornaron amarillentas, la actividad fue de forma manual, posteriormente se formaron los manojos para el secado. Una vez secas se realizó el vareo para desprender todas las semillas contenidas en las cápsulas y finalmente se limpió con una malla de poro de 2 mm de tamaño.

Factor en estudio y diseño experimental. El factor en estudio fue el genotipo de ajonjolí y los tratamientos fueron las variedades de ajonjolí, que son Igualteco, San Joaquín, Calentano, Zirandaro, y JR-20 (localmente conocidos como Negro) (Figura 1). Los genotipos de ajonjolí se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por 100 g de semilla representativa de cada genotipo.

Caracterización química de las muestras de ajonjolí. El análisis químico de las muestras se realizó en el laboratorio de suelos del CENID - RASPA. La determinación de nutrientes minerales (K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn) se realizó de acuerdo con la metodología reportada en el manual de referencia para análisis de plantas de Yash (1998), por aspiración directa en un espectrofotómetro de absorción atómica Annalyst 700 de Perkinelmer. La determinación de P se llevó a cabo mediante espectrofotometría visible, empleando la metodología de la norma AOAC 970.39 y utilizando un espectrofotómetro UV-VIS Evolution 60 y el nitrógeno total siguiendo el manual antes citado con adaptación colorimétrica. Como control de calidad externo se empleó el material de referencia certificado de la marca NIST® SRM® 1573<sup>a</sup> de hojas de tomate, con recuperaciones superiores al 95 por ciento para cada uno de los elementos reportados.

VARIABLES EVALUADAS. Las mediciones se expresan por peso de materia seca en las siguientes unidades: Porcentaje (%) para Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg). Los datos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel 2010, posteriormente se sometieron a un análisis de varianza y prueba de medias (Tukey, al 5%) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

## Resultados y discusión

Los análisis de varianza detectaron significancia ( $\alpha \leq 0.05$ ) por efecto del genotipo en los contenidos de los macro-minerales de las semillas de ajonjolí (Cuadro 1). Las semillas de la variedad San Joaquín registraron el mayor contenido de nitrógeno (3.32%) y proteína (20.75%), posteriormente le siguieron las semillas de

color negro de JR-20 (3.07% N y 19.18% de proteína); en contraste, la variedad Calentana presentó los valores más bajos en los dos parámetros (2.83% de N y 17.68% de proteína) (Cuadro1).



**Figura 1.** Semillas representativas de cada variedad de ajonjolí en estudio.

**Cuadro 1.** Contenido de macrominerales y proteína de semillas de ajonjolí, cultivados en Iguala de la Independencia, Estado de Guerrero.

Variedad	Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio	Proteína
					(Mg)	
	%					
Igualteco	2.95 bc	2.96 a	0.99 a	1.18 a	0.24 a	18.43b c
Zirándaro	2.99 b	2.02 c	0.87 b	1.27 a	0.20 b	18.68 b
Calentana	2.83 c	3.31 a	0.98 a	0.89 b	0.20 b	17.68 c
San Joaquín	3.32 a	2.36 bc	0.97 a	1.17 a	0.20 b	20.75 a
Negro	3.07 b	2.48 b	0.88 b	1.33 a	0.27 a	19.18 b
C.V. (%)	2	6	4	9	5	2
MeG	3.03	2.63	0.94	1.17	0.23	18.97

\* = Significativo,  $\alpha \leq 0.05$ . C.V. = Coeficiente de variación. MeG= media general. DMS(N)= 0.16. DMS(p)=0.46. DMS(K)= 0.09. DMS(Ca)= 0.26. DMS(Mg)= 0.02. Letras iguales en cada parámetro son estadísticamente iguales ( $p \geq 0.05$ ).

Las semillas de las variedades Calentana e Igualteco únicamente destacaron en el contenido de fósforo (3.31%) y potasio (0.99%), respectivamente; mientras que, la variedad Zirándano registró los menores contenidos de estos minerales en sus semillas (2.02% P y 0.87% K). Comportamiento diferente también se presentó en las semillas de la variedad JR-20, las cuales sobresalieron principalmente en calcio (1.33%) y magnesio (0.27%), en comparación con el contenido mineral del resto de las variedades. La variedad Calentana obtuvo el contenido más bajo de Ca y Mg en la semilla (Cuadro 1).

La importancia del ajonjolí como alimento, radica por su alto valor nutritivo, por el contenido de proteína (entre 12 y 23%), lípidos, minerales (P, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu) y vitaminas (B, C, E) fundamentales para la salud humana (Acevedo *et al.*, 2013; Rodríguez *et al.*, 2018). En este sentido, los resultados obtenidos en la investigación, en relación a la proteína (17 a 20%) se encuentran dentro del rango reportado por diversos autores. Otro aspecto importante es la calidad mineral de la semilla, especialmente al considerar el contenido de minerales, entre los que destaca el fósforo y potasio que son de los más sobresalientes y en menor cantidad el zinc y manganeso (Gharby *et al.*, 2017), ya que intervienen en el mantenimiento del sistema nervioso (mensajero, neurotransmisores, transmisión neuromuscular) y óseo, forman parte de los tejidos corporales y de algunas enzimas, y liberación hormonal; además participan en el metabolismo celular, de glucosa y en la formación de proteínas; sin embargo, ninguno de ellos puede ser sintetizado por el organismo humano, por lo tanto, se depende de la alimentación para obtenerlos. Es por ello, que un bajo contenido del mineral en la semilla no garantiza que la fracción ingerida sea disponible para la digestión, absorción, transporte, utilización y eliminación (Damián y Mujica, 2020).

## Conclusiones

La caracterización química permite concluir que todas las variedades de ajonjolís son una alternativa de fuente de proteína; pero, destacan por su alto contenido (> 19%) las variedades San Joaquín y JR-20 (Negro). Además, la composición mineral (P, K, Ca, Mg) justifica la inclusión de las semillas en la dieta habitual de la población, ya que estos contenidos la hacen recomendable para tratar problemas de estrés, anemia, entre otros padecimientos.

## Agradecimientos

A los estudiantes de servicio social del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CSAEGro) y de la Universidad Autónoma del Estado de Guerrero (UAGro).

## Fuente financiadora

Caracterización y productividad *ex situ* y aspectos socioeconómicos de productores de frijoles nativos de Guerrero, México, SIGI 2-16-2048235996-A-M-2-2.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo D., Marrugo Y. y Montero P. 2013. Evaluación de las propiedades reológicas de pastas de ajonjolí artesanal y tecnificada. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 16 (1): 245 – 251
- Damián N. y Mujica E. 2020. Comparación de la bioaccesibilidad de calcio en leche de vaca, semillas de ajonjolí (*Sesamum indicum*) y almendra (*Prunus amygdalus*). Anales de la Facultad de Medicina 81(4): 427-31.
- Gharby S., Harhar H., Bouzoubaa Z., Asdadi A., El Yadini A. and Charrouf Z. 2017. Chemical Characterization and Oxidative Stability of Seeds and Oil of Sesame Grown in Morocco. Journal of the Saudi Society of Agricultural Science 16: 105-111.
- Rodríguez I., Pérez H. I., García, R. M. & Sánchez, Z. S. (2018). Efectos de la densidad de población en parámetros agronómicos del cultivo ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). Revista Científica Agroecosistemas 6(3): 33-39.
- Sayed M. 2010. Determination of nutritional and physical properties of sesame seed (*Sesamum indicum* L.). Biosystem Engineering and Environment 33:304-309.

## CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA DE CHILES NATIVOS DE LA REGIÓN MONTAÑA, GUERRERO

Ismaela Guzmán-Olea<sup>1</sup>, Oscar Martín Antúnez-Ocampo<sup>2\*</sup>, Juan Elías Sabino-López<sup>1</sup>, Mariana Espinosa-Rodríguez<sup>1</sup>, Delfina Natividad Herrera-Castro<sup>1</sup>, Mirna Vázquez-Villamar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, Universidad Autónoma de Guerrero. Iguala, Guerrero, <sup>2</sup>Campo Experimental Iguala-INIFAP. Iguala, Guerrero.

\*Autor para correspondencia: [antunez.oscar@inifap.gob.mx](mailto:antunez.oscar@inifap.gob.mx)

**Palabras claves.** chiles, genotipos, frutos.

### Introducción

El chile (*Capsicum* spp.) es originario de América, donde se concentra la mayor diversidad morfológica del género *Capsicum* (Rodríguez-Campos, 2018); siendo México uno de los centros de domesticación, donde existen variantes en cuanto a forma, sabor, tamaño y pungencia (Castellón-Martínez *et al.*, 2014), características que le han permitido ser de los cultivos de mayor consumo popular (consumo per cápita de 8 a 9 kg) (Castellón-Martínez *et al.*, 2012). Entre las principales variedades cultivadas se encuentran el jalapeño, serrano, habanero, ancho, mulato, pasilla y piquín (Salinas *et al.*, 2010). También, se cultivan en menor superficie chiles nativos o criollos, que presentan características particulares en cuanto a precocidad, tolerancia y resistencia a factores adversos del clima (sequía o precipitación), tipo de suelo (textura, fertilidad), plagas y enfermedades (Latournerie *et al.*, 2002; Aguirre y Muños, 2015). La mayor diversidad de chiles nativos se encuentra en comunidades rurales del trópico mexicano (estados de Michoacán, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Campeche, Yucatán, Chiapas y Quintana Roo) (Katz y Aguilar-Meléndez, 2018); sin embargo, estos chiles son cultivados y utilizados en áreas reducidas y solo son conocidos a nivel regional o local (Aguilar-Rincón *et al.*, 2010). La importancia de la diversidad de chiles nativos en diferentes ámbitos (económico, social y cultural) deriva principalmente en la economía (como fuente de ingreso) y alimentación (guisos tradicionales o regionales) de los agricultores de zonas rurales (Pérez *et al.*, 2016); además de sus usos medicinal, ornamental, religioso y espiritual en las comunidades en donde se cultivan (Montaño-Lugo *et al.*, 2014).

### Objetivo

Caracterizar *ex situ* los parámetros morfológicos de ocho genotipos de chiles nativos de Teticic, Olinalá, Guerrero, cultivados en invernadero. La hipótesis planteada fue que al menos un genotipo presenta diferentes características morfológicas de planta y fruto que el resto de los materiales.

### Materiales y métodos

**Material vegetal.** Se utilizaron semillas de chiles nativos (100 g de cada genotipo) que se recolectaron en el año 2019, con productores de la localidad de Teticic, que se ubicada a 1 285 m de altitud (98° 50' 34.2"; 17° 52' 02.7"), Olinalá, Estado de Guerrero.

**Factor en estudio y diseño experimental.** El factor en estudio fue el genotipo de chile y los tratamientos fueron los materiales recolectados, que localmente son conocidos como Cascabel (CAS), Gallo gallina mediano (GGM), Chilaca (CHI), Larguillo grande (LG), Gallo gallina grande (GGG), Serrano (S), Mochiteco (M) y Larguillo chico (LCH). Los genotipos de chile se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con seis repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por tres plantas representativas de cada genotipo, trasplantadas cada una en bolsa negra de polietileno de 12 L de volumen, con tierra de monte como sustrato.

**Establecimiento y manejo del experimento.** Las semillas se sembraron el 28 de octubre de 2020, en charolas de polipropileno de 200 cavidades llenas de turba; se depositaron de dos a tres semillas por cavidad y se cubrieron con el mismo sustrato. Desde que las plántulas emergieron hasta su trasplante se regaron manualmente dos veces al día, con agua potable (pH: 7.6; CE: 0.5 dS m<sup>-1</sup>). El trasplante se realizó a los 48 días después de la siembra (dds), cuando las plántulas presentaron de 15 a 20 cm de altura y de cuatro a seis hojas verdaderas; se colocaron en bolsas de polietileno color negro de 12 L de volumen, rellenas de tierra de monte (pH de 7.11; CE de 4.78 dS m<sup>-1</sup>). Las bolsas se establecieron en un invernadero cenital, cubierto con malla antiáfidos en las paredes y plástico blanco en el techo, con 70% de transmisión

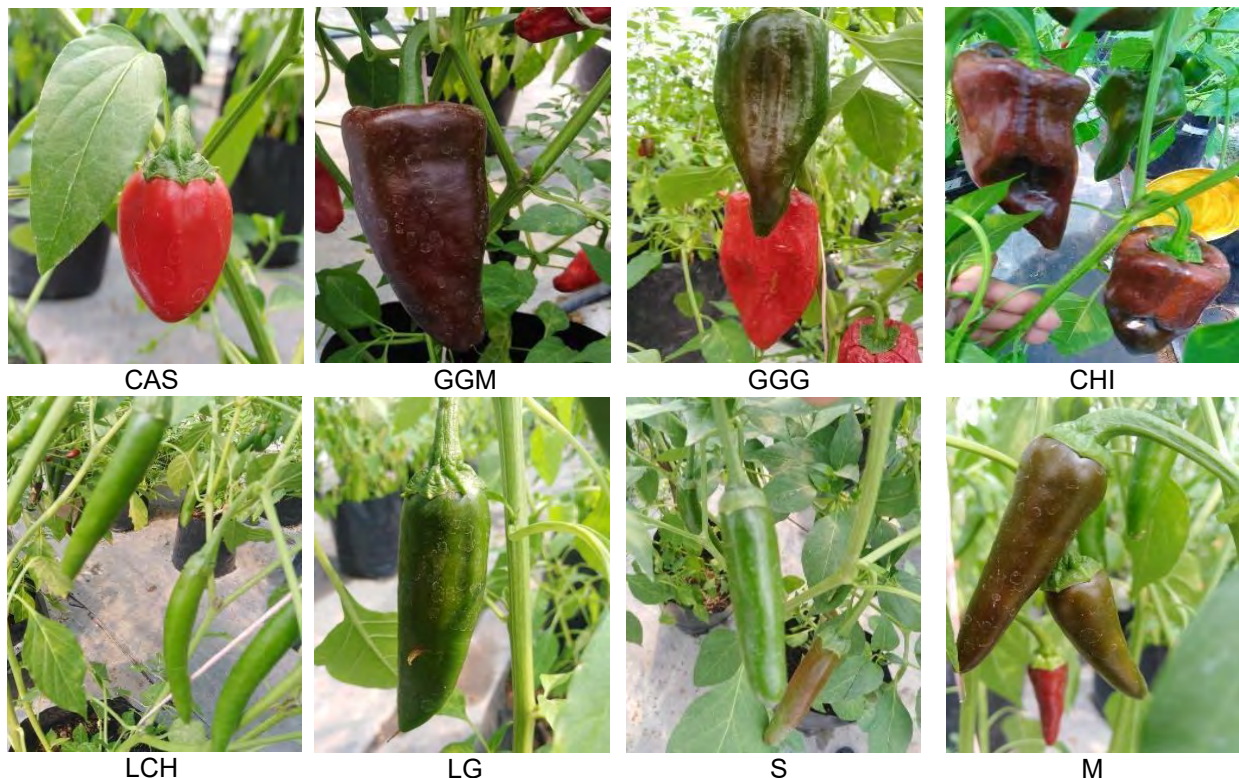


de luz, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero, unidad Tuxpan (18° 20' 51"; 99° 30' 32"; a 758 m de altitud). El tutoreo se realizó a los 15 días después del trasplante (ddt), con rafia sujeta a la estructura del invernadero. El riego fue manual, aplicando un promedio de 2 L de solución nutritiva (SN) de Steiner (1984) por maceta dos veces al día, cuya concentración se modificó de acuerdo con los requerimientos hídricos y etapa fenológica del cultivo; al 25% en etapa vegetativa, 50% en botonomiento floral, 75% en floración y 100% en fructificación. el control de plagas se hizo con la instalación de trampas cromáticas y aplicación de productos ecológicos como extracto de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) y ajo (*Allium sativum*); y de Muralla max (Imidacloprid + Betacyflutrin; dosis: 0.4 L ha-1).

Variables evaluadas y análisis de la información. La caracterización *ex situ* de los rasgos (cualitativos) de cada material se determinó con base en los descriptores de *Capsicum* propuestos en la Guía del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI, 1995). Los datos se organizaron en una hoja de cálculo de Excel 2010, para su análisis descriptivo.

### Resultados y discusión

Los genotipos presentaron un crecimiento diferente; cuatro (CAS, GGM, GGG y LG) de forma erecta y el resto (LCH, S, M y CHI) de cualidad compacta, todos con tallo cilíndrico de color verde y ramificación densa (mayor de siete ramas), con hojas lanceoladas (CAS, GGM, GGG, CHI, LCH, LG y S) y oval (M) de color verde. Estas características difieren con lo observado en dos genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) que presentaron hojas en forma oval (Elizondo-Cabalca y Monge-Pérez, 2016), y en chile Jalapeño (*C. annuum*) con hojas de forma ovoide-alargada (Partida y Quezada, 2012). El crecimiento compacto también se ha reportado en chile Pico de Paloma (*C. frutescens* L.) (Ramírez-Meras *et al.*, 2015).



**Figura 1.** Características físicas de frutos de ocho genotipos de chile nativo de Teticic, Olinalá, Guerrero. CAS = Cascabel. GGM = Gallo gallina mediano. GGG = Gallo gallina grande. CHI = Chilaca. LCH = Larguillo chico. LG = Larguillo grande. S = Serrano. M = Mochiteco.

En todos los genotipos, la planta produjo una flor por axila; pero en algunos casos llegaron a tener dos flores. En siete genotipos se observó que las flores son de color blanco (GGM, GGG, CHI, LCH, LG, SE y

MO) y en un genotipo (CAS) son de color amarillo claro, y están en posición erecta. La forma de los frutos es diversa, pues se tuvo un genotipo (CAS) con frutos redondos, tres (GGM, GGG y M) con forma triangular, no (CHI) con frutos acampanulados y tres (LGH, LG y S) en forma elongada (Cuadro 2), presentando un color verde claro y oscuro en estado inmaduro, pero al madurar son completamente de color rojo claro y oscuro (Figura 1). Estos rasgos se han observado principalmente en chiles de la especie *C. annuum* (flor pequeña de color blanca por nudo y frutos redondos) (Aguilar-Rincón et al., 2010; Partida y Quezada, 2012), en cambio, en plantas de la especie *C. frutescens* llegan a presentar dos o más flores por nudo, cuya flor es de color blanca verdosa o amarilla verdosa (De la Cruz-Lázaro et al., 2017).

Las características cualitativas de los genotipos evaluados en la presente investigación pueden ser el resultado de las prácticas tradicionales (selección) que realizan los agricultores o grupos étnicos, quienes conservan las semillas de los frutos de las mejores plantas. Otros factores de selección son las preferencias humanas, las cuales dependen de los aspectos socioculturales. Por lo tanto, la variabilidad de formas, tamaños y colores de los frutos será el resultado de los factores señalados anteriormente más el efecto de las condiciones ambientales predominantes donde se cultivan (Murillo-Amador et al., 2015). Por ejemplo, los frutos de Chilaca, Gallo gallina grande y mediano al tener una forma triangular (similar al chile Poblano) se utilizan principalmente en seco, para elaborar mole y adobo en la región Montaña del estado de Guerrero (Aguilar-Rincón et al., 2010)

## Conclusiones

Los chiles nativos de Teticic, Olinalá, Guerrero, mostraron tres tipos de crecimiento (erecto CAS, GGM, GGG y LG; intermedio: CHI; compacto: LCH, S y M). Todos con tallos cilíndricos de color verde y ramificación densa, con hojas de color verde lanceoladas (CAS, GGM, GGG, CHI, LCH, LG 6 y S) y oval (M). Tal variabilidad es una alternativa para seleccionar materiales sobresalientes en productividad y resistencia a plagas y enfermedades, y con ello diseñar programas de conservación y mejoramiento de estos recursos genéticos.

## Agradecimientos

A Ismaela Guzmán Olea y a la UAGro por dar todas las facilidades para llevar a cabo la investigación, y a los productores de Teticic por aportar su valiosa semilla.

## Fuente financiadora

Sin fuente de financiamiento.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar-Rincón, V. H., Corona-Torres, T., López-López, P., Latournerie-Moreno, L., Ramírez-Meraz, M., Villalón-Mendoza, H., and Aguilar, C. J. A., 2010. Los chiles de México y su distribución. *SINAREFI, Colegio de Postgraduados, INIFAP, ITConkal, UANL, UAN. Montecillo, Texcoco, Estado de México*, 114 p.
- Castellón-Martínez, E., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chávez-Servia, J. L., and Vera-Guzmán, A. M., 2014. Variación fenotípica de morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) nativo de Oaxaca, México. *Phyton* 83(2), pp. 225-236.
- De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R., Preciado-Rangel, P., and Márquez-Hernández, C., 2017. Caracterización morfológica *in situ* de chile silvestre Pico de paloma (*Capsicum frutescens*) en Tabasco, México. *Acta Universitaria* 27(2), pp. 10-16.
- Elizondo-Cabalceta, E., and Monge-Pérez, J. E., 2016. Caracterización morfológica de 12 genotipos de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) cultivados en invernadero en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), pp. 60-72.
- Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E. O., Troyo-Diéguéz, E., Córdoba-Matson, M. V., Hernández-Montiel, L. G. and Nieto-Garibay, A., 2015. Estudio de línea base de características morfométricas de *Capsicum annuum* silvestres que crecen cerca de dos reservas de biosfera en la Península de Baja California para el manejo futuro de la conservación. *BMC Plant Biology* 118 (15), pp. 1-18.

## CARACTERIZACIÓN DE FRIJOLES CULTIVADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL ESTADO DE GUERRERO

Oscar Martín Antúnez-Ocampo<sup>1\*</sup>, Daniela Lizeth Castañeda-Jiménez<sup>2</sup>, Cristo Omar Puente-Valenzuela<sup>3</sup>, Erika Nava-Reyna<sup>3</sup>, Brenda Zulema Guerrero-Aguilar<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Iguala-INIFAP. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Guerrero. <sup>3</sup>CENID- RASPA-INIFAP.

<sup>4</sup>Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato.

\*Autor para correspondencia: [antunez.oscar@inifap.gob.mx](mailto:antunez.oscar@inifap.gob.mx)

**Palabras claves:** frijoles, grano, peso.

### Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) forma parte importante de la dieta alimenticia del ser humano en diversos países, especialmente África, India y los que integran a Latinoamérica (Chávez-Mendoza *et al.*, 2019), donde su producción y consumo han alcanzado un carácter internacional. En México, el frijol es la base de la alimentación de comunidades rurales e indígenas, porque les provee la mayor cantidad de proteína (14 a 33 %), fibra dietética (15.5 a 21.0 g), almidón, ácido  $\alpha$ -linolénico y minerales (fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc) (Gomes Basso Los *et al.*, 2018; Corzo-Ríos *et al.*, 2020). También, contiene compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoles, isoflavonas, taninos, antocianinas y procianidinas (Parmar *et al.*, 2017; Chávez-Mendoza *et al.*, 2019); propiedades benéficas para la prevención y control de la obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Ulloa *et al.*, 2011; Hayat *et al.*, 2014; Gomes Basso Los *et al.*, 2018; Pérez-Ramírez *et al.*, 2018; Armendáriz-Fernández *et al.*, 2019). Tal es la importancia del frijol, que se encuentra en el marco de la soberanía alimentaria, en virtud de que representa un alimento primordial para la población rural y urbana del país; el consumo anual per cápita es de 9.9 Kg, donde la producción nacional cubre casi la totalidad de los requerimientos de consumo de los mexicanos.

Los estados que registran la mayor variabilidad genética de frijoles son Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Guerrero y Michoacán; además, son los que tienen la mayor presencia de materiales nativos que en su mayoría son resguardados por pueblos indígenas (la comunidad indígena representa el 23 % de la población nacional). En el caso de las especies cultivadas, son las poblaciones campesinas mestizas y grupos indígenas quienes han generado tal variabilidad a través de procesos de selección, diversificación, innovación, intercambio, adaptación, mejoramiento genético, uso y manejo (Boege, 2009). En el Estado de Guerrero, existe una gran diversidad de frijoles, producto de la amplia diversidad climática y edáfica que hay en la entidad. En este sentido, los genotipos nativos se siembran tradicionalmente para autoconsumo como grano o en vaina tierna (ejote) y en menor grado se comercializan, siendo esta última actividad una significativa fuente de ingresos para el productor y su familia. Por otro lado, las investigaciones en frijol son limitadas, solo se tienen los resultados de Solano-Rodríguez y Gil-Muñoz (2018), quienes determinaron el manejo agrícola y el aprovechamiento tradicional del frijol Chaparro (*Phaseolus vulgaris* L.) entre los Nahuas del municipio de Copanatoyac. También, se cuenta con la descripción de las prácticas agrícolas, morfológica, contenido de proteína y calidad culinaria de los frijoles de la comunidad de Tlatzala, municipio Tlapa de Comonfort (Solano *et al.*, 2009). Todo esto conlleva a un limitado conocimiento sobre la distribución geográfica del género *Phaseolus* y más aún sobre la variabilidad de las especies silvestres y cultivadas en los terrenos agrícolas del estado de Guerrero.

### Objetivo

Caracterizar morfológicamente el grano de las diferentes poblaciones de frijol que se cultivan en la Región Norte del Estado de Guerrero. La hipótesis planteada fue que más de una población de frijol presenta diferente tamaño y peso de semilla.

### Materiales y métodos

Material vegetal. Se utilizaron semillas de frijoles (500 g de cada genotipo) que fueron recolectadas directamente con agricultores de distintos municipios de la Región Norte del Estado de Guerrero, las cuales

se obtuvieron en marzo de 2023 (Cuadro 1). Es importante señalar que, la mayoría de los agricultores que siembran frijol lo siguen haciendo en sistemas tradicionales de policultivo; asociando o intercalado: maíz (*Zea mays* L.)-frijol (*Phaseolus* spp.)-calabaza (*Cucurbita* spp.).

Cada población de frijol recolectada se almacenó en recipientes de plástico con capacidad de 945 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.

<b>Código</b>	<b>Nombre del frijol</b>	<b>Color del grano</b>	<b>Municipio</b>	<b>Localidad</b>
APC-1	Frijol rayado	Rojo blanco	Apaxtla de Castrejón	Apaxtla de Castrejón
APC-2	Frijol negro	Negro	Apaxtla de Castrejón	Apaxtla de Castrejón
APC-3	Frijol café	Café claro	Apaxtla de Castrejón	Apaxtla de Castrejón
APC-4	Frijol comba blanco	Blanco	Apaxtla de Castrejón	Apaxtla de Castrejón
APC-5	Frijol flor de mayo	Rosa morado	Apaxtla de Castrejón	Apaxtla de Castrejón
AP-1	Frijol flor de mayo	Rosa morado	Cuetzala del Progreso	Apetlanca
AP-2	Frijol negro de caña	Negro	Cuetzala del Progreso	Apetlanca
CU-1	Frijol blanco	Blanco	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-2	Frijol flor de mayo	Pinto	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-3	Frijol colorado	Rojo	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-4	Frijol café rayado	Café marrón	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-5	Frijol pachiteco	Rojo café	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-6	Frijol bola	Café	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-7	Frijol negro	Negro	Cuetzala del Progreso	Cuetzala del progreso
CU-8	Frijol chino	Café	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
CU-9	Frijol bola	Café	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
CU-10	Frijol negro	Negro	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
CU-11	Frijol payasito	Rojo blanco	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
CU-12	Frijol rojo (gota de agua)	Rojo blanco	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
CU-13	Frijol flor de mayo	Café oscuro	Cuetzala del Progreso	Chilacachapa
GC-1	Frijol flor de mayo	Rosa morado	General Canuto	Providencia
GC-2	Frijol de vara	Café	General Canuto	Acapetlahuaya
GC-3	Frijol chino	Rojizo	general Canuto	Ixtepec
GC-4	Frijol de caña	Café	General Canuto	Acapetlahuaya
GC-5	Frijol rosa de caña	Rosa	General canuto	Acapetlahuaya
GC-6	Frijol amarillo	Amarillo	General canuto	Providencia
IXC-1	Frijol de vara	Café	Ixcateopan de Cuauhtémoc	Tenanguillo
IXC-2	Frijol caña	Café	Ixcateopan de Cuauhtémoc	Tenanguillo
IXC-3	Frijol vara	Café-negro	Ixcateopan de Cuauhtémoc	Tenanguillo
OX-1	Frijol matequilla	Café	Teloloapan	Oxtotitlán
OX-2	Frijol chino	Café claro	Teloloapan	Oxtotitlán
OX-3	Frijol rojo	Rojo	Teloloapan	Oxtotitlán
PAA-1	Frijol flor de mayo	Pinto	Pedro Ascencio Alquisiras	Ayahualco
TAX-1	Frijol pinto	Ensalada	Taxco de Alarcón	San Juan del Monte
TAX-2	Frijol capulines de caña	Ensalada	Taxco de Alarcón	Los Chapulines

Factor de estudio y diseño experimental. El genotipo de frijol fue el factor en estudio, y los tratamientos fueron 36 frijoles recolectados, que localmente son conocidos por el color del grano y habito de crecimiento



de la planta. Los genotipos de frijol se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones. Cada repetición estuvo constituida por 100 semillas representativas de cada genotipo.

Establecimiento y manejo del experimento. Las actividades de caracterización se realizaron en las instalaciones del Campo Experimental Iguala, Iguala de la Independencia, Estado de Guerrero.

VARIABLES EN ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN. La caracterización se basó en la guía de descriptores para frijol común del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2005). Las variables morfológicas evaluadas en la semilla fueron: longitud (cm), ancho (cm), grosor (cm), peso de 100 semillas (g) y peso individual de la semilla (g). La longitud, anchura y grosor se midieron con un vernier digital marca Steren® (modelo HER-411) en la parte polar y media de la semilla. El peso de 100 semillas y peso individual se cuantificó con una báscula digital marca RHINO (modelo BAR-6). En todas las variables evaluadas se utilizaron cuatro muestras representativas de 100 semillas de cada población de frijol recolectada y se obtuvo un promedio para cada repetición. La información 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 componentes del tamaño y peso de la semilla mostraron significancia ( $\alpha \leq 0.05$ ) por efecto el genotipo de frijol (Cuadro 2). En general las dimensiones de la semilla difieren entre materiales, ya que la longitud osciló de 8.20 a 16.2 mm y el diámetro varió de 5.43 a 11.17 mm. La mayor longitud de semilla se registró en siete poblaciones, destacando los frijoles de nombre café (16.27 mm) y negro (15.87 mm) provenientes del municipio de Cuetzala del Progreso. Mientras que, el frijol Comba (11.17 mm) de Apaxtla de Castrejón y los frijoles flor de mayo (10.03 mm) y de vara (11.10 mm) de General Canuto, fueron los más sobresalientes en diámetro ecuatorial. Es importante señalar que, los materiales de Cuetzala también resaltaron en grosor, ya que los frijoles flor de mayo (6.67 y 6.50 mm) registraron los valores más altos. Esta característica de la semilla fluctuó entre 4.27 y 6.67 mm,

**Cuadro 2.** Variación de las características físicas de la semilla de poblaciones de frijol recolectadas en la Región Norte del Estado de Guerrero.

DESCRIPCIÓN INDIVIDUAL	PESO (G)	LONGITUD (mm)	DIÁMETRO (mm)	GROSOR (mm)	PESO (g) DE 100 SEMILLAS
<b>SIGNIFICANCIA</b>	*	*	*	*	*
<b>INTERVALO</b>	0.15-0.57	8.20-16.27	5.43-11.17	4.27-6.67	14.00-97-51.77
<b>PROMEDIO</b>	0.35	12.24	7.79	5.30	34.26
<b>D.E.</b>	0.03	0.30	0.22	0.20	1.08
<b>C.V. (%)</b>	0.03	0.30	0.22	0.20	1.08
<b>R<sup>2</sup></b>	0.96	0.97	0.97	0.92	0.98

El peso de semilla osciló de 0.15 a 0.57, siendo los más sobresalientes los frijoles flor de mayo, rojo, café, negro de caña y payasito, del municipio de Cuetzala del Progreso. Es importante mencionar que algunos de estos frijoles también destacaron en la variable de peso de 100 semillas, la cual varió de 14.97 a 51.77 g; pero, los más destacaron fueron el frijol café (51.77) y negro de caña (50.97 g), posteriormente le siguieron el frijol bola (48.70 g) y payasito (49.80 g) (Figura 1). Los resultados obtenidos en peso individual de semilla se pueden clasificar de acuerdo con la escala propuesta por Singh *et al.* (1991a-b) que considera como granos pequeños a los que pesan menos de 25 g. En este sentido las poblaciones de frijol recolectadas corresponden de manera cercana a las razas Jalisco y Mesoamericana (Singh *et al.*, 1991a) cuyo peso oscila de 22.4 a 57.5 g/100 semillas (Solano-Cervantes *et al.*, 2009), en este caso solo seis poblaciones registraron valores menores de 22 g, y ninguna superó los 52 g (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos en los frijoles de la Región Norte concuerdan con las investigaciones de Papa y Gepts (2003) y Bitocchi *et al.* (2012) quienes indicaron que México al ser centro de origen y domesticación del frijol, cuenta con amplia diversidad de variedades locales y formas silvestres; además, reportaron que los ecotipos, poblaciones o variedades locales, no solo difieren en caracteres fenotípicos o genéticos de la



planta y caracteres del grano (Soleri *et al.*, 2013; Olsen y Wendel, 2013) sino que también expresan diferente composición nutricional de grano. En este contexto, las diferencias morfológicas de las poblaciones de frijol se pueden relacionar con la adaptación de las poblaciones a condiciones restrictivas de producción y a los sistemas agrícolas específicos, así como, el prolongado proceso de selección a que han sido sometidas (Soleri *et al.* 2013).



**Figura 1.** Semillas de las poblaciones de frijol recolectadas en el municipio de Cuetzala del Progreso, Estado de Guerrero.

### Conclusiones

Las poblaciones de frijoles recolectadas en la Región Norte del Estado de Guerrero mostraron diferencias en el tamaño y peso de la semilla, siendo las más sobresalientes los de Cuetzala del Progreso en algunos parámetros. La diversidad observada en la semilla de los frijoles son producto de la conservación *in situ* y prácticas agrícolas realizada por agricultores que las han preservado y que algunos de ellos se caracterizan por integrar familias de escasos recursos económicos, en las que el grano constituye la base alimenticia.

## **Agradecimientos**

A los estudiantes de servicio social del periodo agosto de 2023 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, SIGI 2-16-2048235996-A-M.2-2.

## **Referencias bibliográficas**

- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., Papa, R. 2012. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109: 788-796.
- Chávez-Mendoza C., Hernández-Figueroa K. y Sánchez E. 2019. Antioxidant Capacity and Phytonutrient Content in the Seed Coat and Cotyledon of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) from Various Regions in Mexico. *Antioxidants* 8: 1-19.
- Solano C. F., Díaz R. R., Jacinto H. C., Aguirre Á. L., Huerta de la P. A. 2009. Prácticas agrícolas, descripción morfológica, proteínica y culinaria del grano de cultivares de frijol sembrados en la región de Tlatzala, Guerrero. *Ra Ximhai* 5: 187-199
- Solano-Rodríguez A. y Gil-Muñoz A. 2018. El frijol “chaparro” (*Phaseolus vulgaris* L.) entre los Na Savi de Copanatoyac, Guerrero, México: Aportes a su conocimiento. *Agroproductividad* 11(10):137-143.
- Soleri D., Worthington M., Aragón-Cuevas F., Smith S. E. and Gepts P. 2013. Farmers’ Varietal Identification in a Reference Sample of Local *Phaseolus* Species in the Sierra Juárez, Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* 67: 283-298.

## RENDIMIENTO DE GENOTIPOS DE AJONJOLÍ EN TEMPORAL DEL TRÓPICO SECO

Rocio Toledo-Aguilar<sup>1\*</sup>, Romualdo Vásquez-Ortiz<sup>1</sup>, Sandra Elizabeth Hernández-González<sup>2</sup>, Jesús Martínez-Sánchez<sup>3</sup>, David H. Noriega-Cantú<sup>1</sup>, César del Ángel Hernández-Galeno<sup>1</sup>, José Luis Arispe-Vázquez<sup>1</sup>, Manuel Grajales-Solís<sup>4</sup>, Luis Antonio Gálvez-Marroquín<sup>5</sup>

<sup>1</sup>INIFAP - Campo Experimental Iguala, <sup>2</sup>Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, <sup>3</sup>INIFAP - Campo Experimental Centro de Chiapas, <sup>4</sup>INIFAP - Campo Experimental Rosario Izapa, <sup>5</sup>INIFAP - Campo Experimental Valles Centrales, S.E. Costa de Oaxaca

\*Autora para correspondencia: toledo.rocio@inifap.gob.mx

**Palabras clave.** *Sesamum indicum* L., productividad, oleaginosas anuales

### Introducción

El ajonjolí es un producto que por sus características de calidad y de aceite es ampliamente conocido en el mundo, también se emplean en forma directa en confitería y en la industria panadera. En México, esta oleaginosa se siembra mayormente en condiciones de temporal y en 2022 se cultivaron a nivel nacional 81,468 ha, de las cuáles en Guerrero se sembraron 19.3 %, y se obtuvieron 13,794 toneladas de grano, el rendimiento promedio fue de 880 kg·ha<sup>-1</sup> (SIAP-SADER, 2023). Los principales municipios donde se produce esta oleaginosa en Guerrero son Cuajinicuilapa, Arcelia y San Marcos, con un aporte de 1,855, 1,950 y 1,675 toneladas.

Los productores de ajonjolí buscan genotipos más estables, con mayor productividad y resistencia a plagas y enfermedades, y la oferta de genotipos con estas características son limitados en Guerrero y en México.

### Objetivo

El objetivo de la presente investigación fue evaluar e identificar genotipos de ajonjolí con mayor rendimiento para mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo.

### Materiales y métodos

Se evaluaron 50 genotipos de ajonjolí que incluyó colectas realizadas en el estado de Guerrero, accesiones del banco de germoplasma del INIFAP - Campo Experimental Zacatepec, variedades y materiales de reciente introducción a México. El ensayo se estableció en el INIFAP - Campo Experimental Iguala, durante los ciclos PV 2021 y PV 2022, bajo un diseño experimental en bloques completo al azar con tres repeticiones.

Las siembras se realizaron el 18 de junio de 2021 y 24 de junio de 2022, las semillas se depositaron a 50 cm entre matas y 70 cm entre surcos; a los 28 y 24 días después de la siembra (dds) se realizó aclareo para dejar 2 y 3 plantas por mata y obtener una densidad de 71,428 y 85,714 plantas/ha en 2021 y 2022. La unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 5.0 m de largo, separados a 0.70 m (10.5 m<sup>2</sup>), con 82 y 99 plantas en total en 2021 y 2022, de las cuales se seleccionaron 5 plantas en competencia completa para el registro de las variables agronómicas.

La fertilización se realizó con una dosis mínima de nitrógeno con sulfato de amonio, en dos aplicaciones a los 25 y 60 dds. Se diluyeron 5.0 kg de sulfato de amonio en 200 L de agua y se aplicó al suelo en drench con mochila. Además, se aplicó Biozyme® TF (500 mL·ha<sup>-1</sup> a los 28 y 50 dds).

Se registraron las variables días a floración, maduración y cosecha, altura de la planta (cm), altura a la primera cápsula (cm), tramo de carga (cm), número de ramas, número de cápsulas por planta, número de semillas por cápsula, largo y ancho de la cápsula (cm), peso seco de semillas por cápsula (g), peso seco de semillas por planta (g), y se estimó el rendimiento de grano por hectárea (kg·ha<sup>-1</sup>) (IPGRI & NBPGR, 2004). La cosecha se realizó de forma manual, el periodo de cosecha fue del 20 de septiembre al 3 de noviembre de acuerdo a la madurez fisiológica de cada genotipo. Se realizó análisis de varianza combinado y prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05) con el programa estadístico SAS V9.2 (SAS Institute, 2011).

## Resultados y discusión

Durante el ensayo, la precipitación fue de 531 mm y temperatura promedio de 24.7 °C en 2021. En tratamiento y en la interacción Trat\*Loc, todas las variables mostraron diferencias altamente significativas; en localidades, las variables que no mostraron variación estadística fueron altura a la primera cápsula, número de semillas por cápsula y longitud de la cápsula (Cuadro 1). El coeficiente de variación estuvo entre 4.51 y 57.12 %. La mayoría de los genotipos evaluados son colectas con material genético heterogéneo, lo que propicia encontrar dentro de la misma colecta plantas con pocas o muchas ramas. Por lo contrario, las variables que mostraron más estabilidad fueron altura de la planta, altura a la primera cápsula, tramo de carga, número de semillas por cápsula, las variables reproductivas, longitud y ancho de la cápsula.

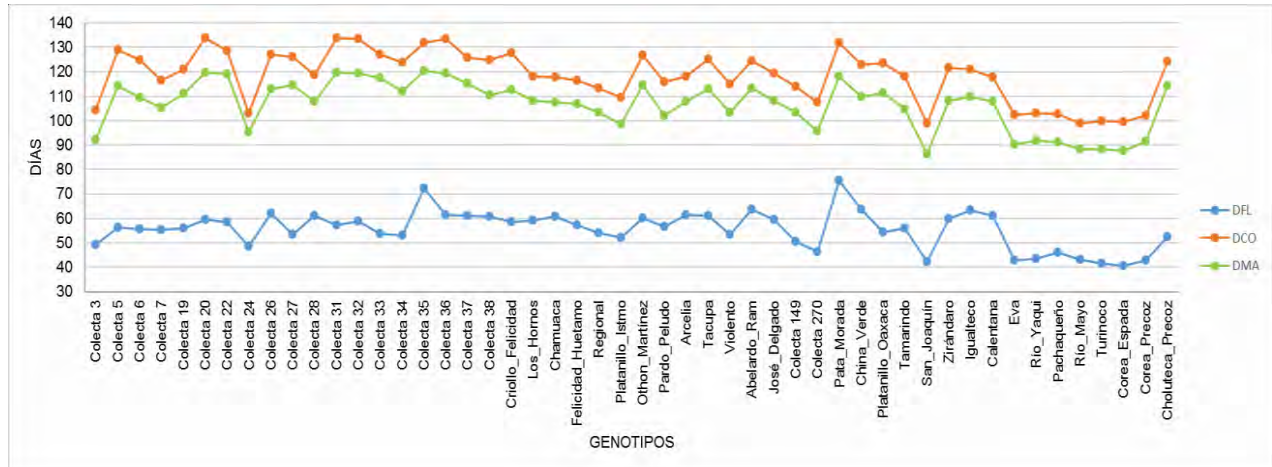
**Cuadro 1.** Análisis de varianza combinado de características agronómicas en genotipos de ajonjolí, PV 2021 y 2022.

TIPO DE VARIABLE	FV	TRAT	LOC	TRAT*LOC	CV (%)
<b>ALTURA DE LA PLANTA (M)</b>		17.33***	35.48 ***	3.16 ***	11.47
<b>ALTURA DE LA PRIMERA CÁPSULA (M)</b>		50.96***	3.01 ns	3.05 ***	20.77
<b>VEGETATIVA</b>	Tramo de carga (m)	10.67***	345.44 ***	3.14 ***	20.86
	Número de ramas	38.68***	23.43 ***	2.72 ***	57.25
	Días a floración	55.49***	99.16 ***	5.08 ***	4.51
<b>REPRODUCTIVA</b>	Días a maduración	61.85***	61.97 ***	4.31 ***	3.76
	Días a cosecha	68.63***	96.87 ***	5.05 ***	3.17
	Número de semillas por cápsula	9.74***	1.83 ns	3.48 ***	13.23
	Longitud de la cápsula (mm)	32.94***	1.33 ns	3.69 ***	8.01
<b>RENDIMIENTO DE GRANO</b>	Ancho de la cápsula (mm)	15.67***	49.08 ***	7.10 ***	8.20
	Peso seco de semillas/cápsula (g)	8.01***	34.30 ***	2.36 ***	12.20
	Rendimiento de semilla/ha (kg)	5.20***	399.81 ***	2.66 ***	31.38

En la prueba de comparación de medias para las variables vegetativas se obtuvo que los genotipos Col 19 y China Verde presentaron la mayor altura de planta con 2.07 y 2.06 m; mientras que la variedad Pachaqueño sólo alcanzó 1.39 m. En altura a la primera cápsula, los genotipos Abelardo Rmz y Pata Morada presentaron el dato más alto, 1.11 y 1.13 m, lo que no es deseable, suelen ser genotipos altos, con susceptibilidad al acame, así como menor tiempo para la formación brotes florales y llenado de fruto, antes del término del periodo de lluvias. En el caso de Pata Morada, es susceptible a virosis, lo que retrasó la formación de cápsulas. Por lo contrario, las variedades San Joaquín, Corea Espada y Corea Precoc desarrollaron cápsulas a partir de los 0.32, 0.34 y .037 m. En tramo de la carga, que es el espacio donde se desarrollan las cápsulas de ajonjolí, la Col3 presentó el mayor tramo de carga, con 1.26 m, y la Col35 el menor tramo con 0.74 cm. Los genotipos Felicidad, Chamacua y Zirándaro mostraron el mayor número de ramas con 8.1 y 7.7 ramas en promedio. También, se detectaron 11 genotipos que no producen ramas, con los que se puede incrementar la densidad de siembra por hectárea para valorar su rendimiento.

En las variables reproductivas, los genotipos más precoces en la apertura floral fueron Corea Espada, Turinoco y San Joaquín con 41 y 42 días; los más tardíos para esta variable fueron Pata Morada y Col 35, con 76 y 72 días. Pata Morada tardó más en la apertura floral debido a la virosis que presentó. En la maduración fisiológica de las cápsulas, los genotipos San Joaquín, Corea Espada y Turinoco tuvieron el menor tiempo para esta variable, con 86 y 88 días; Col 35 y Col 31 requirieron casi 121 y 120 días para la maduración fisiológica. Para días a cosecha, San Joaquín, Río\_Mayo y Corea\_Espada fueron los genotipos que se cosecharon primero, a los 99 días en promedio desde la siembra; los más tardíos fueron Col31, Col20, Col 36 y Col 32 con 134 días a la cosecha desde la siembra (Figura 1).

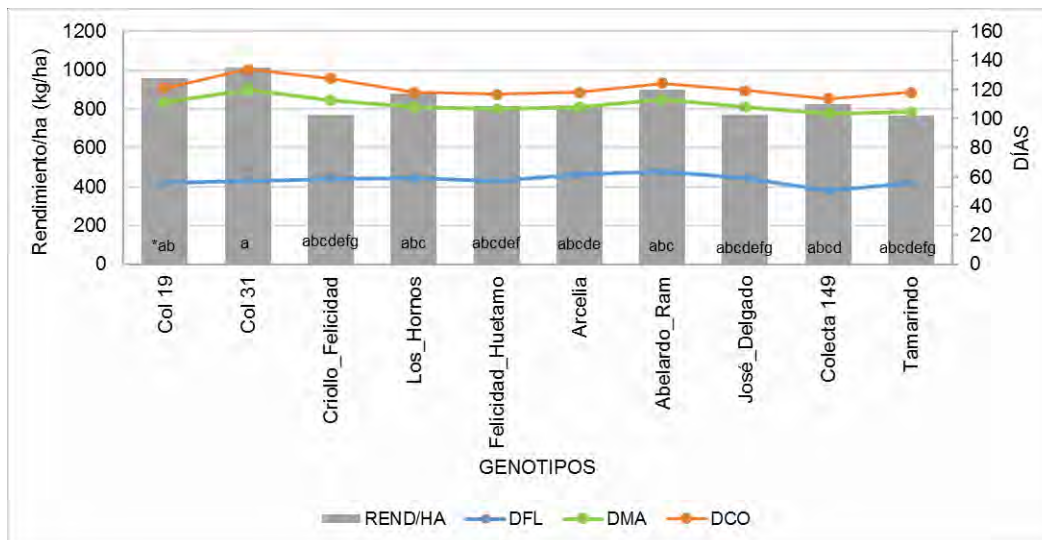




DFL=días a floración, DMA: días a maduración, DCO= días a cosecha.

**Figura 1.** Variables reproductivas en genotipos de ajonjolí evaluados bajo temporal en trópico seco, PV 2021 y 2022. Iguala.

En componentes de rendimiento, las cápsulas presentaron de 58 a 92 semillas, de 26.6 a 45.4 mm de largo y 7.8 a 9.9 mm de ancho y un peso de grano variable por cápsula de 0.77 a 1.42 g. En el peso de grano/planta, el intervalo fue de 12.2 a 32.4 g. En rendimiento estimado por hectárea, también se observó variación con 335 a 1,015 kg·ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Los genotipos que fueron superiores son Col31 (1,015 ka·ha<sup>-1</sup>), Col19 (959.0 kg·ha<sup>-1</sup>), AbelardoR (898.2 kh·ha<sup>-1</sup>), Los\_Hornos (878.7 kg·ha<sup>-1</sup>) y Col 149 (826.0 ka·ha<sup>-1</sup>). Por lo contrario, Col3 y San Joaquín fueron las que produjeron menos, con 358, 344 y 335 ka·ha<sup>-1</sup>. Es de destacar que Col 31 y San 19 fueron de los genotipos que presentaron menor daño por cercospora y diabrotica, al igual que HuetamoFel. Col31 es un material de vara, con un tramo de carga de 116 cm, 119 cápsulas por planta, 33.9 mm de largo de cápsula y 9.9 mm de ancho de cápsula; Col 19 es ramificado, con 2 a 3 ramas, 115 cm de tramo de carga, 135 cápsulas por planta, 33.5 mm de largo y 8.5 mm de ancho de cápsula; HuetamoFel, es ramificado, con 7 ramas, 85 cm de tramo de carga, 186 cápsulas por planta, cápsulas de 30.8 y 8.1 mm de largo y ancho.



REND/HA: Rendimiento de grano por hectárea, DFL=días a floración, DMA: días a maduración, DCO= días a cosecha. \*Letras en barras corresponde a la prueba de comparación de medias del rendimiento de grano por hectárea (Tukey, DMS=430.71).

**Figura 2.** Rendimiento de grano en genotipos superiores de ajonjolí evaluados bajo temporal en trópico seco, PV 2021 y 2022.



El rendimiento de un material depende de varios factores, como el climático, sanitarios, genético y la interacción entre ellos, por ello, las evaluaciones de materiales deben realizarse en varios ambientes, que pueden ser años o localidades diversas para estimar su rendimiento potencial, en los dos ciclos de evaluación, se visualizan al menos tres materiales prospectos que pueden ser de interés por su rendimiento de grano. Por su parte, variado Tesfaye *et al.* (2021) indicaron que el rendimiento se correlaciona positivamente con número de cápsulas/planta, y de manera negativa con días a floración inicial y días a floración del 50 % de la población, es decir, los materiales más tardíos fueron los de mayor rendimiento, lo cual también ocurrió en el ensayo de este estudio. Golestani y Pakniyat (2015) de igual forma, identificaron materiales con días a maduración entre 116 y 125 dds. Teklu *et al.* (2017) indican que seleccionar genotipos con mayor tramo de carga tienen un efecto positivo en el rendimiento de semilla

### Conclusiones

Se detectó variación para todas las variables agronómicas y se identificaron tres genotipos con mayor rendimiento de grano por hectárea, los cuáles son dos ramificados y uno de vara, todos de ciclo tardío. En los genotipos de vara (sin ramificaciones), se recomienda realizar evaluaciones de densidades de población para valorar su influencia en el rendimiento.

### Fuente financiera

INIFAP, a través del proyecto Producción e incremento en la productividad del cultivo de ajonjolí en la región del Pacífico Sur de México (2252335077).

### Referencias bibliográficas

- Golestani M., Pakniyat H. 2015. Evaluation of traits related to drought stress in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Journal of Asian Scientific Research*, 2015, 5(9): 465-472, <https://doi.org/10.18488/journal.2/2015.5.9/2.9.465.472>
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) & NBPGR (National Bureau of Plant Genetic Resources). 2004. Descriptors for sesame (*Sesamum* spp.). National Bureau of Plant Genetic Resources.
- SAS Institute. 2012. SAS/STAT User's Guide: Software Version 9.4. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.
- SIAP-SADER [Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural]. 2023. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>. Consulta: julio de 2023.
- Teklu DH, Shimelis H, Tesfaye A, Abady S. 2017. Appraisal of the sesame production opportunities and constraints, and farmer-preferred varieties and traits, in Eastern and Southwestern Ethiopia. *Sustainability* 13:11202, <https://doi.org/10.3390/su132011202>
- Tesfaye T, Tesfaye K, Kenehi G, Alemu T, and Alemu A. 2022. Genome-wide association study for yield-related traits in sesame (*Sesamum indicum*). *Plant Breeding*:1-11, <https://doi.org/10.1111/pbr.13004>

## LA FERIA DEL CHILE EN NOGADA COMO PARTE DE LA DIVERSIDAD BIOCULTURAL EN EL MUNICIPIO DE CALPAN, PUEBLA

Martina Blanca-Bautista <sup>1\*</sup>, Ignacio Ocampo-Fletes <sup>2</sup>, José Pedro Juárez-Sánchez <sup>2</sup>; Braulio Edgar Herrera-Cabrera <sup>2</sup>, Efraín Pérez-Ramírez <sup>2</sup>, Primo Sánchez-Morales <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Egresada de Doctorado en Ciencias. Colegio de Posgraduados Campus Puebla. <sup>2</sup> Colegio de Postgraduados Campus Puebla. <sup>3</sup> Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

\* Autor para correspondencia: [lluvia1017@live.com.mx](mailto:lluvia1017@live.com.mx)

**Palabras clave.** Agrobiodiversidad, cultura, tradición

### Introducción.

La diversidad biocultural la encontramos muy presente en nuestro país, estando conectada con pueblos indígenas y comunidades locales, abarcando elementos bióticos y abióticos que pueden ir desde semillas locales, animales, plantas, conocimientos ancestrales, tradiciones y cultura que se va transmitiendo de generación en generación.

En el año 2010 la UNESCO declara a la cocina tradicional mexicana como Patrimonio Cultural de la Humanidad, siendo las cocineras tradicionales las figuras protagonistas ya que son las portadoras de conocimientos culinarios ancestrales que han compartido de generación en generación (Medina, 2017). Por tal motivo el gobierno nacional ha considerado la necesidad de conservar y difundir la cocina tradicional, tomando acciones como la creación de ferias temáticas, siendo además canales alternativos de comercialización para la agricultura familiar y para un desarrollo rural sostenible (Feito, 2020).

Este tipo de ferias por lo regular llevan el nombre de su producto principal (cacao, chile, mole, etc), pero además del platillo estrella ofrecen al público una amplia variedad de productos frescos y artesanías a precios accesibles ya que la compra se da directo con los productores de la región, sin intermediarios, ofreciéndoles un beneficio económico a las familias campesinas.

En el estado de Puebla uno de los platillos más tradicionales y representativo es el chile en nogada, el cual de acuerdo con la historia fue cocinado por primera vez para Agustín de Iturbide en agosto de 1821 por las monjas del convento de Santa Mónica, siendo un platillo barroco por excelencia con más del 90% de sus ingredientes de origen español. Originalmente el platillo era postre y con la entrada del ejército Trigarante se realiza una decoración con los tres colores de la bandera de las tres garantías

En el año 2003 en el municipio de Calpan se dio inicio con la primera feria del chile en nogada, por iniciativa de un grupo de cocineras tradicionales, que ya preparaban el platillo desde generaciones pasadas y creían en el potencial que tendría al darlo a conocer a visitantes y turistas, ya que todos los ingredientes del platillo crecían en la región, esta feria inicio también como un concurso para premiar al mejor chile en nogada y desde ese entonces se continuo año con año con la tradicional feria del chile en nogada en Calpan.

### Objetivo

Conocer las características, beneficios y origen de la tradicional feria del chile en nogada del municipio de Calpan, Puebla.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en el municipio de Calpan, Puebla, se encuentra conformado por cuatro comunidades: San Lucas Atzala, San Mateo Ozolco, San José Pueblo Nuevo y San Andrés Calpan, esta última es la cabecera municipal. El municipio se localiza en las siguientes coordenadas geográficas: 19° 06'36" y 19° 41'12" de latitud norte y 98° 23'54" y 98° 32'24" de longitud oeste, su altitud varía entre 2,200 y 3,200 msnm (INEGI, 2012). Cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (85.11%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (14.89%) con una temperatura anual entre los 12 a los 18 °C.

Fue una investigación con enfoque mixto sincrónico, incorporando datos cualitativos y cuantitativos. Se realizó aplicando una encuesta con el objetivo de captar información sobre la tradicional feria del chile en nogada del municipio. Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó un muestreo estratificado aleatorio (MEA) distribución de Neyman, resultando una muestra de 81 familias.

## Resultados y discusión

La edad que presentan los productores en el municipio de Calpan va desde los 19 hasta los 98 años, teniendo como promedio 61 años. En escolaridad el 22% terminó primaria, 26% secundaria, 17% bachillerato, 5% licenciatura, 3% posgrado y 27% tienen primaria incompleta. El municipio de Calpan presenta gran variedad de cultivos sembrados, entre los que destacan: maíz, frijol, calabaza, haba y chícharo. Los productos obtenidos en un 27% son para venta, 7% consumo y 65% ambos. Para el caso de la fruticultura se encontró que el 75% de los entrevistados desempeñan esta actividad teniendo como principales frutales: pera 56%, tejocote 51%, capulín 40%, durazno 37%, ciruela 33%, manzana 28%, nogal 14% y otras frutas 9%, en esta última destacaron: chabacano, frambuesa, zarzamora y uva. Para su manejo se conservan prácticas ancestrales.

Calpan es conocido como “cuna de la nuez de castilla”, ya que fue en el traspatio del exconvento franciscano donde fueron sembrados los primeros nogales en el año 1539 y fueron traídos desde España por los frailes franciscanos. Además de la nuez de castilla, ingrediente principal para la elaboración de la nogada (salsa de nuez) en el municipio de cultivan todos los ingredientes para la preparación de este platillo, como son: pera lechera, granada, durazno criollo, manzana panochera y chile poblano criollo, la carne de cerdo que se utiliza es producida en los traspatios campesinos de las familias, así mismo el huevo para el capeado del platillo lo obtiene de gallinas de traspatio, siendo todo un proceso familiar y sustentable, conservando ya hasta por cuatro generaciones.

La feria del chile en nogada se ha realizado por más de 20 años, generando una importante derrama económica al municipio, llegando a vender hasta 120 000 chiles en nogada, siendo beneficiadas más de 500 familias entre cocineras, productores, artesanos y personal contratado. Esta feria se realiza en el mes de agosto, abarcando todos los fines de semana de este mes, aunque algunas familias inician con la venta de chiles desde julio y terminan en el mes de septiembre. El precio del chile en nogada va desde los \$180 hasta los \$500 dependiendo del tamaño del chile.

En 2023 se presentaron 35 cocineras tradicionales para poner a la venta este platillo, aunque cabe destacar que también existen casas certificadas donde los visitantes podrán degustar este exquisito platillo. Para la elaboración de los chiles en nogada participan todos los integrantes de la familia, desde los más pequeños pelando la nuez hasta las abuelitas que supervisan todo el proceso mientras tuestan los chiles o pican la fruta.

El éxito de estas ferias consiste en la preparación de platillos tradicionales por las cocineras tradicionales del municipio, que conservan recetas heredadas de sus abuelas basadas en conocimientos, ingredientes y secretos culinarios para la elaboración de tan complejo platillo. Salas *et al.* (2020) al respecto afirma que las cocineras son las receptoras y emisoras de esa herencia gastronómica, de la cocina tradicional mexicana, siendo un modelo cultural que abarca actividades agrarias, culturales y técnicas culinarias. En el mismo sentido Boege (2021) señala que las ferias temáticas son un acto didáctico, artístico y político a la vez, una revaloración y reapropiación de la cultura campesina, reforzando el sentimiento de pertenencia.

A partir de esto también han surgido nuevos productos como el helado de nogada, pan y variedad de postres y artesanías con ingredientes del chile en nogada, principalmente nuez de castilla, a su vez año con año más cocineras y productores se van uniendo a esta tradicional feria.

## Conclusiones

La feria del chile en nogada en Calpan es parte del patrimonio biocultural del municipio, ya que desde su origen engloba diferentes prácticas sociales, ambientales, económicas y culturales, que van desde el cultivo y conservación de diversas variedades de frutales hasta llegar a su proceso de comercialización y valor

agregado, rescatando conocimientos ancestrales para el cultivo de los ingredientes y para la preparación del platillo poblano.

### **Agradecimiento y fuentes financiadora**

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)

### **Referencias bibliográficas**

- Boege, E. (2021). Agricultura campesina sostenible y defensa *in situ* de semillas y cultivos nativos. La experiencia del Proyecto de Desarrollo Rural Integral Vicente Guerrero A.C., en Tlaxcala. *En: Ortega, R. Estudios de diversidad, conservación in situ y mejoramiento de maíces nativos en México*. Edit. UACH. Universidad Autónoma de Chapingo, México, 178-201 pp.
- Feito, M. C. (2020). Comercialización de la agricultura familiar para el desarrollo rural: feria de la Universidad Nacional de La Matanza. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 58(1), e187384. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.187384>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2012). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Andrés Calpan, Puebla. Disponible en internet: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/21/21143.pdf>
- Medina, F. X. (2017) Reflexiones sobre el patrimonio y la alimentación desde las perspectivas cultural y turística. *Anales de Antropología*, 51(2), 106-113.
- Salas, J., Medina, F. X. y Vázquez-Medina, J.A. (2020). Regional cuisines and “cocineras tradicionales” (traditional female cooks) in the state of Coahuila (Mexico): heritage, social discourses, identities and socioeconomic development. *Journal of Tourism and Heritage Research*, 3(3): 1-14.

## DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE CHILE APAXTLECO

Silvia Quirino-Huaxcuaulli<sup>1</sup>, Rocío Toledo-Aguilar<sup>2</sup>, César Omar Montoya-García<sup>3</sup>, César del Ángel Hernández-Galeno<sup>2</sup>, David H. Noriega-Cantú<sup>2</sup>, Teolincacihuatl Romero-Rosales<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, <sup>2</sup>INIFAP - Campo Experimental Iguala, <sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Horticultura

\*Autora para correspondencia: toledo.rocio@inifap.gob.mx

**Palabras clave.** *Capsicum annuum* L.; variedad local; recursos fitogenéticos.

### Introducción

México tiene una gran diversidad de chiles, sobre todo de la especie *C. annuum* L. Dentro de esta especie se encuentran diversas variedades locales que se cultivan en pequeñas parcelas o traspatios, que están adaptadas a condiciones de producción diversas, y tienen hábitos de crecimiento, usos y propiedades diferenciadas (Jardón, 2017). El chile apaxtleco lleva su nombre porque se cultiva únicamente en la región de Apaxtla, en el estado de Guerrero, y tiene importancia por los recursos económicos que genera y por ser empleado en la preparación del mole típico en esta región; sin embargo, su diversidad morfológica no ha sido descrita y que ello visualice el estado que guarda este recurso fitogenético para definir estrategias de uso y conservación.

### Objetivo

El objetivo fue analizar y describir la diversidad morfológica de un grupo de poblaciones de chile apaxtleco e identificar las características que apoyan mayormente su diversidad.

### Materiales y métodos

Se evaluaron 24 poblaciones endémicas de chile apaxtleco, bajo condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Autónoma de Guerrero. La siembra se realizó en julio de 2020 en bolsas de polietileno negro, con capacidad de 16 L, como sustrato se utilizó Lama, Tezontle rojo y Tierra de monte (2:1:1).

Las poblaciones de chile se evaluaron bajo un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones. Cada parcela experimental se constituyó por ocho plantas, con una planta por maceta. Las macetas se acomodaron a 30 cm entre macetas, en hileras dobles separadas a 1 m entre ellas. El registro de las variables morfológicas se realizó en cinco plantas por cada parcela experimental

Se registraron 59 variables morfológicas y agronómicas del manual de descriptores para *Capsicum* (IPGRI *et al.*, 1995, Biodiversity International) en las etapas vegetativa, de floración, fructificación inmadura y madura. Se obtuvo la prueba del supuesto de normalidad con Kolmogórov-Smirnov para todas las variables. Se realizó análisis de varianza para las variables cuantitativas, con excepción de número de lóculos y número de flores por axila porque los datos no mostraron distribución normal. En las variables cualitativas y las dos cuantitativas mencionadas se obtuvo la prueba de Proc Rank, y se realizó análisis de varianza con los rangos para identificar diferencias entre poblaciones. Se obtuvo el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1964; Karkee *et al.*, 2021). Así también, se realizó análisis discriminante Stepwise, para obtener las variables con mayor aporte a la variación morfológica total.

Con el conjunto de variables obtenidas, se realizó análisis de componentes principales y agrupamientos, para ello se obtuvo las distancias con el método de Gower y método de agrupamiento UPGMA. Los análisis se realizaron en el programa SAS V9.4 (SAS Institute, 2012).

### Resultados y discusión

Descripción de la diversidad morfológica

Se encontraron diferencias significativas en 72.9 % de las características morfológicas analizadas, lo que refleja variación entre las poblaciones locales de chile apaxtleco analizadas. En variables cuantitativas no se observaron diferencias estadísticas significativas, pero si hubo variación numérica para para ancho de la planta (15 - 92 cm), días a floración (46 - 73 días), número de flores por axila (1 - 2), espesor de la pared



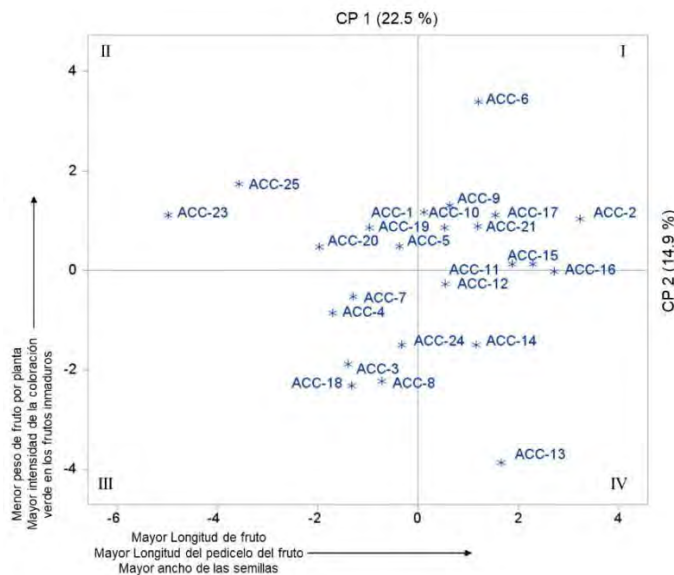
del fruto (0.76 - 3.82 mm) y número de lóculos (2 - 4). En 20 variables cuantitativas si se observaron diferencias significativas.

En variables cualitativas, intensidad de la coloración antocianínica en los nudos de la planta, color del fruto en estado maduro, forma del fruto tanto en la unión con el pedicelo, como en la punta, y arrugamiento transversal del fruto fueron las que mostraron mayor diversidad, con valores superior a 1 en el índice de diversidad de Shannon-Weaver. Particularmente, en coloración del fruto se distinguieron cinco tipos que van del naranja oscuro a marrón, lo que está determinado por compuestos carotenoides, clorofilas y flavonoides (Hayano-Kanashiro *et al.*, 2016). Karkee *et al.* (2021) indican que las características con mayor índice de diversidad tienen una relación con la preferencia del consumidor como color, forma y superficie del fruto.

Los análisis multivariados se realizaron con 17 variables, que resultaron de los análisis previos y Stepwise, las cuales fueron: manchas antocianínica en los nudos de la planta, longitud del tallo, macollamiento, color del filamento, peso y número de frutos por planta, color del fruto en estado intermedio, longitud y ancho del fruto, longitud del pedicelo, forma del ápice del fruto, arrugamiento transversal y textura del fruto, apéndice del fruto, número de semillas por fruto, textura y ancho de la semilla.

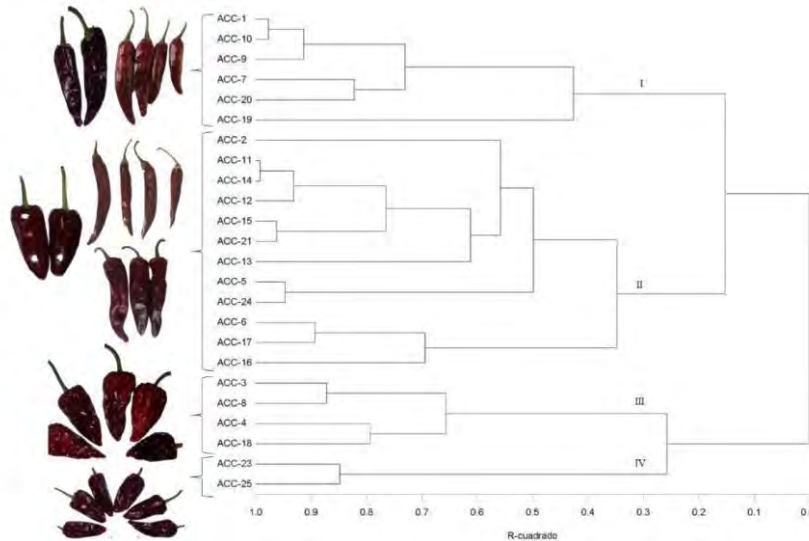
En componentes principales (CP), con los primeros seis se explicó 76.5 % de la variación total. El CP 1 explicó 22.5 % de la variación, las variables con mayor contribución fueron longitud del fruto y pedicelo, y ancho de las semillas. El CP 2 aportó 14.9 % de la variación total, y peso fresco del fruto por planta y color del fruto en estado intermedio intervinieron mayormente. El CP 3 con 13.5 %, las variables número de frutos por planta y ancho del fruto fueron las de mayor aporte. El CP 4 con 11.9 % de variación total, conformada por tipo de epidermis del fruto y textura de la semilla. El CP 5 con 6.9 % de variación total, con mayor influencia por color del filamento y número de semillas por fruto. El CP 6, con 6.5 % de variación, se integró por la forma del apéndice del fruto, únicamente. Las variables vegetativas como presencia de antocianinas en los nudos de las plantas, longitud del tallo, macollamiento, así como, forma del ápice del fruto y arrugamiento transversal del fruto contribuyeron en menor proporción en este análisis.

En la Figura 1, de la dispersión de las poblaciones de chile apaxtleco a través de los primeros dos componentes principales, las poblaciones situadas hacia la derecha de la figura indica que tienen mayor longitud del fruto y del pedicelo y mayor ancho de las semillas, caso contrario con las poblaciones situadas a la izquierda; y las accesiones situadas hacia arriba poseen menor peso de fruto por planta, y mayor intensidad de la coloración verde del fruto en estado inmaduro.



**Figura 1.** Dispersión de las poblaciones locales de chile apaxtleco a través de los primeros dos componentes principales.

En el análisis de conglomerados se identificaron cuatro agrupaciones (Figura 2). Los patrones de asociación se determinaron en gran medida por características del fruto, como su forma, color, peso y número de frutos por planta. El grupo II fue donde se concentraron la mayor cantidad de poblaciones de chile apaxtleco, y su diversidad es más amplia en comparación con los demás grupos, las características que definieron su agregación fueron principalmente chiles largos, anchos, de forma triangular, lisos y rugosos, en este grupo se integraron chiles denominados carricillos, que son chiles alargados de ancho medio, pero también de chiles con forma triangular y textura lisa. En el Grupo I, se asociaron principalmente chiles semianchos y de textura semirugosa. En el Grupo III, con chiles anchos lisos y rugosos, y en el Grupo IV, sólo se integraron chiles anchos lisos.



**Figura 2.** Dendrograma de poblaciones de chile apaxtleco, generado con distancias de Gower y método de agrupamiento UPGMA.

## Conclusiones

La diversidad morfológica de las poblaciones locales de chile apaxtleco es mayor en variables de frutos, y en menor proporción en variables vegetativas y de semillas.

Las 17 variables empleadas en el análisis de componentes principales y agrupamiento pudieron mostrar la relación y diferenciación entre las poblaciones de chile, nuevamente, las variables de frutos intervinieron más para explicar la variación total en este chile local. Además, se identificaron seis componentes principales que explicaron 76 % de la variación total. La forma y textura de los chiles fueron características de importancia en la agrupación.

Las variables vegetativas como presencia de antocianinas en los nudos de las plantas, longitud del tallo, macollamiento, así como, forma del ápice del fruto y arrugamiento transversal del fruto contribuyeron en menor proporción en la diversidad morfológica en este estudio.

## Doi del artículo para consulta

<http://doi.org/10.56369/tsaes.4531>

## Referencias bibliográficas

- Hayano-Kanashiro C, Gámez-Meza N, Medina-Juárez LA (2016) Wild pepper *Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*: taxonomy, plant morphology, distribution, genetic diversity, genome sequencing, and phytochemical compounds. *Crop Science* 56:1-11. <http://doi.org/10.2135/cropsci2014.11.0789>
- IPGRI, AVRDC, CATIE [International Plant Genetic Resources Institute, Asian Vegetable Research and Development Center, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. (1995). *Descriptors for Capsicum* (*Capsicum* spp.). IPGRI, AVRDC, CATIE. 51 p. [https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/345.pdf](https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/345.pdf)
- Jardón BL (2017) De Sonora a Yucatán. Chiles en México: diversidad y domesticación. *Oikos*, 17, pp. 25-29.
- Karkee A, Mainali RP, Basnet S, Ghimire KH, Joshi BK, Thapa P, Shrestha DS, Joshi P, Pokhrel P, Mishra KK (2021) Agro-morphological characterization and intra-varietal diversity of akabarechilli (*Capsicum* spp.) landraces of Nepal. *SAARC Journal of Agriculture* 19(2):37-55. <http://doi.org/10.3329/sja.v19i2.57671>
- SAS Institute (2012) SAS/STAT User's Guide: Software Version 9.4. Statistical Analysis System Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Shannon CE, Weaver W (1964) *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois. Chicago, USA.

## DIAGNÓSTICO Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DE INTERVENCIÓN EN LAS CUENCAS APORTADORAS A LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA PEÑITAS

Walter López-Báez<sup>1\*</sup>, Osías Ruiz-Álvarez, Jaime López-Martínez, Eileen Salina-Cruz<sup>1</sup>, Alma Liz Vargas-de la Mora<sup>1</sup>, Leonel Hernández-Santiago<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro de Chiapas, INIFAP

\* Autor para correspondencia. [lopez.walter@inifap.gob.mx](mailto:lopez.walter@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Erosión, deforestación, escurrimiento, electricidad, sedimento.

### Introducción

La Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo, conocida como “Presa Peñitas”, constituye el cuarto aprovechamiento del sistema Grijalva-Usumacinta; el cual se construyó en 1986, sobre el río Grijalva, en el municipio de Ostucán, Chiapas. Se localiza a 72 kilómetros aguas abajo de la Presa Malpaso; entre los paralelos 17° 09' 6.58" y 17°28' 51.41" Norte y meridianos 93° 2' 26.78" y 93°42' 19.90" Oeste. Tiene una capacidad de 1,091 millones de metros cúbicos, una cortina de 58 metros de altura y una capacidad efectiva de 420 megavatios (DOF, 2010). La visión de desarrollo que prevalece actualmente en el área de abastecimiento de la presa, no considera la interacción espacio-temporal que existe entre el agua, bosque y suelo, con los diferentes usos de la tierra; lo cual ha generado alteraciones en la dinámica de los escurrimientos y en la producción de sedimento, situación que afecta el funcionamiento de la central hidroeléctrica y a la vez provoca inundaciones en el estado de Tabasco. Derivado de las inundaciones recurrentes en el estado de Tabasco, el 01 de diciembre de 2020, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2020), el decreto presidencial sobre las medidas de coordinación que deberían observar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal; para el manejo de presas y la reducción de desastres por inundaciones en la cuenca del Río Grijalva, y su relación con el control y despacho de la energía eléctrica, con sentido social y de protección civil. En este contexto, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) solicitó al INIFAP participar en la elaboración de una propuesta técnica para el manejo integral y sustentable de las cuencas abastecedoras de la Central Hidroeléctrica Ángel Albino Corzo;

### Objetivo

Identificar líneas de intervención que permitan a estas cuencas, continuar aportando adecuadamente agua para la generación de electricidad, a la vez, que la población (particularmente la que habita en las partes media y alta), siga obteniendo los medios de vida con sus actividades productivas. En este documento se presentan los resultados de la primera fase de estudio, la cual estuvo enfocada en el diagnóstico y priorización de microcuencas intervención; y en la formulación, con la participación de la población local, de planes de acción para restaurarlas y/o conservarlas en función del grado de deterioro.

### Materiales y métodos

Área de estudio: el estudio se llevó a cabo en la cuenca del Río Mezcalapa, en el tramo que comprende desde la cortina de la presa Nezahualcóyotl hasta la cortina de la presa Ángel Albino Corzo (figura 1). Esta zona está conformada y alimentada por tres subcuencas: Presa Peñitas, Zayula y Tzimbac.

Las tres subcuencas se encuentran en la subprovincia Sierras del Norte de Chiapas, cuentan con relieve montañoso y precipitaciones altas, debido a ello, la mayoría de las comunidades son de difícil acceso y con alta marginación. La población total en la zona de abastecimiento de la Presa Peñitas es de 61,348 habitantes distribuida en 297 localidades (INEGI, 2020).

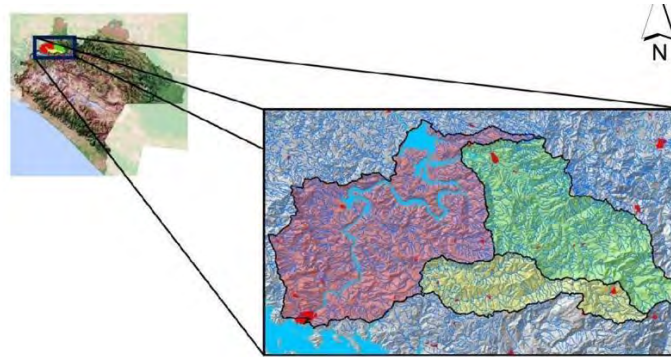


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Método: para el diagnóstico biofísico y la priorización se consideró a la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y acción (López, 2014) e incluyó: a) análisis de las características geomorfológicas y de la red de drenaje de las cuencas (Álvarez y Medrano, 2020); b) información sobre clima, geología, edafología, topografía, balance hídrico, estación de crecimiento, potencial productivo y erosión hídrica (Wischmeier y Smith, 1978); c) dinámica de uso del suelo durante 1986-2016 y; d) levantamiento de datos de campo a través de transectos, estudios de suelos y análisis de agua. Como fuente de información se utilizaron imágenes de satélite Landsat e información de las capas vectoriales de uso del suelo y vegetación serie VI del INEGI escala 1: 250,000. En la priorización de microcuencas se utilizaron los parámetros de tasa de deforestación promedio anual (ha) para el período 1986-2016, volumen de escurrimiento (m<sup>3</sup>), volumen de erosión potencial (ton año<sup>-1</sup>), uso del suelo agrícola y pecuario (ha) e índice de marginación, a los cuales se les asignó un valor específico en el valor final de priorización. En las microcuencas identificadas como prioritarias se impartieron talleres comunitarios e intercomunitarios de sensibilización sobre el enfoque de cuencas y se realizaron diagnósticos socioeconómicos, productivos y de algunos servicios básicos; todo esto con la participación de la población. Con la información obtenida se elaboraron planes de acción por microcuenca, los cuales incluyeron cinco programas: seguridad alimentaria con agricultura de conservación, seguridad hídrica, conservación de suelos en áreas productivas, ganadería regenerativa (restauración productiva) y conservación de bosques existentes.

## Resultados y discusión

Características físicas identificadas: el área de abastecimiento de la Central Hidroeléctrica Presa Peñitas abarca una superficie total de 124,987.07 ha, dividida en tres subcuencas y 26 microcuencas (figura 2). La subcuenca Presa Peñitas cuenta con 57,797.1 ha y fue subdividida en 16 microcuencas. Por su parte, la subcuenca Zayula se conforma por 41,959.46 ha y se subdivide en 5 microcuencas. Tzimbac abarca 25,230.9 ha y se subdivide en 5 microcuencas. El área total de estudio se distribuye en 12 municipios; sin embargo, el 95% del área se encuentra dentro los municipios de Tecpatán, Mezcalapa, Ostuacán, Francisco León, Ocoatepec, Tapalapa y Chapultenango. De acuerdo con la Regionalización Hidrológica realizada por la CONAGUA, la subcuenca Presa Peñitas forma parte de la Región Hidrológica No. 30, Grijalva-Usumacinta y pertenece a la cuenca Grijalva-Villahermosa.

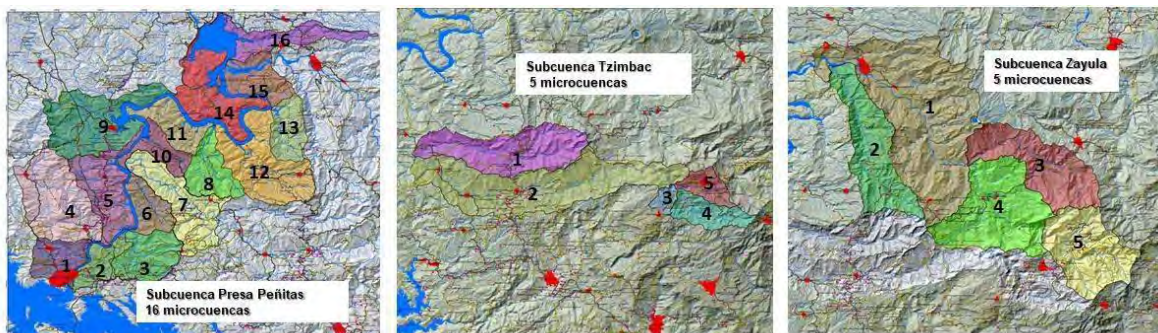


Figura 2. Subcuencas y su división en microcuencas



Características morfológicas e hidrológicas: Por su menor índice de compacidad, la magnitud de la escorrentía generada por una precipitación es mayor en Zayula, en esta subcuenca, el tiempo que toma el agua de lluvia en los límites más extremos de la cuenca para llegar al punto de salida de la misma, es menor en comparación con las otras dos subcuencas. En general, las tres subcuencas presentan pendiente media por arriba del 30%, siendo más pronunciada en Zayula, lo cual, aunado a las precipitaciones altas y tasa de deforestación, incrementa la velocidad de los escurrimientos y producción de sedimentos (cuadro 1). Las corrientes de las tres subcuencas son de tipo dendrítico y el orden de las mismas no es mayor a 5. Las características del cauce principal de Presa peñitas es diferente a las otras dos subcuencas, principalmente en su pendiente y longitud. La de menor densidad de drenaje es Zayula, lo cual indica que en esta subcuenca el desalojo del agua es menor que en las otras dos subcuencas.

**Cuadro 1.** Características morfológicas de las subcuencas

Parámetro	Subcuenca		
	Presa Peñitas	Tzimbac	Zayula
Área (ha)	65,416.60	19,601.20	41,898.00
Perímetro (km)	166.24	99.6	120.02
Índice de forma	0.55	0.16	0.26
Relación de circularidad	0.30	0.25	0.37
Pendiente media (%)	33.7	42.40	44.1
Índice de compacidad	1.83	2.01	1.13
Proporción de elongación	0.83	0.45	0.58

Precipitación y temperatura: El clima predominante en las tres subcuencas es cálido húmedo Af (m), con temperatura media anual mayor a 22 °C y del mes más frío mayor a 18°C. La precipitación promedio anual en Presa Peñitas es de 1,178, para Tzimbac de 3,111 y para Zayula de 3,276 mm.

Uso del suelo: En promedio, el 27.2% del área que abastece al embalse de la Presa Peñitas está ocupada por ganadería bovina, con mayor presencia en la subcuenca Tzimbac, donde ocupa el 37.7% del área (cuadro 2). La agricultura ocupa en promedio el 5.14% del área de estudio. La vegetación forestal en promedio ocupa 39.7% del área; y la subcuenca Zayula sobresale con el 44.3% del área. Los principales tipos de suelo en las tres subcuencas son: Acrisoles, Litosoles y Cambisoles que en conjunto ocupan el 90% del área. Los Acrisoles ocupan el 50% del total de la superficie, con mayor predominancia en subcuenca Presa Peñitas con el 70% de la superficie.

**Cuadro 2.** Uso del suelo por subcuenca

Uso del suelo	Superficie (ha) por subcuenca						Total	
	Presa	%	Zayula	%	Tzimbac	%	Ha	%
Agrícola	4,971.66	7.60	754.15	1.80	803.65	4.10	6,529.45	5.14
Ganadería	16,942.90	25.90	10,851.35	25.90	7,389.61	37.70	35,183.86	27.72
Forestal	24,662.06	37.70	18,560.42	44.30	7,213.20	36.80	50,435.68	39.74
Vegetación	14,849.57	22.70	10,474.28	25.00	4,135.83	21.10	29,459.68	23.21
Otros	3,990.41	6.10	1,256.91	3.00	58.80	0.30	5,306.13	4.18
<b>Total</b>	<b>65,416.60</b>	<b>100</b>	<b>41,897.10</b>	<b>100</b>	<b>19,601.10</b>	<b>100</b>	<b>126,914.80</b>	<b>100</b>

Tasa de deforestación: En general, durante el período 1986-2016, el área que abastece al embalse de la Hidroeléctrica Peñitas perdió 55,018 ha de bosques. La subcuenca Presa Peñitas perdió el 70.4% de su vegetación forestal a una tasa promedio de 1,054 ha año<sup>-1</sup>, por su parte, Tzimbac cedió el 53.4% a una tasa de 285.3 ha año<sup>-1</sup> y Zayula perdió el 48.7% a una tasa promedio de 498 ha año<sup>-1</sup> (cuadro 3). Según información proporcionada por la población entrevistada, una de las principales causas la apertura de nuevas tierras para la práctica de la ganadería, fenómenos naturales tales como deslizamientos e incendios.

**Cuadro 3.** Dinámica de la deforestación por subcuenca 1986-2016.

Año	Presa Peñitas (ha)		Tzimbac (ha)		Zayula (ha)	
	Forestal	Pérdida	Forestal	Pérdida		Pérdida
1986	44,796	-	15,927	-	30,651	-
1993	28,880	15,916	12,474	3,454	26,848	3,803
2002	22,122	6,759	9,753	2,721	21,572	5,276
2007	19,341	2,781	8,443	1,310	19,445	2,128
2011	15,857	3,484	7,627	816	16,395	3,049
2016	13,272	2,585	7,368	259	15,716	679
Total		31,524		8,559		14,935
%		70.37		53.74		48.73

Balance hídrico: Al combinar el tamaño de cada subcuenca con la precipitación, Presa Peñitas fue la subcuenca con mayor volumen de captación de agua, sin embargo, fue la de menor volumen de infiltración neta (cuadro 4), probablemente debido a su mayor tasa de deforestación y problemas de compactación combinados con la distribución espacial de la pendiente.

**Cuadro 4.** Componentes del balance hídrico por subcuenca

	Subcuenca					
	Presa Peñitas		Tzimbac		Zayula	
		%		%		%
<b>Precipitación media anual (m<sup>3</sup>)</b>	1,872,877,694	100	541,187,598	100	1,372,566,456	100
<b>Escorrentamiento superficial medio anual</b>	810,497,186	43.28	174,736,848	32.29	580,760,319	42.31
<b>Evapotranspiración media anual (m<sup>3</sup>)</b>	976,755,564	52.15	253,287,835	46.80	574,431,026	41.85
<b>Infiltración media anual (m<sup>3</sup>)</b>	85,624,944	4.57	113,162,915	20.91	217,375,111	15.84
<b>Infiltración neta (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	1,309		5,773		5,188	

Erosión hídrica actual: Más del 90% del área que abastece al embalse de la Hidroeléctrica Presa Peñitas presenta pérdida de suelo por erosión hídrica por arriba de las 50 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 76% del área presenta erosión mayor a 150 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Zayula es la subcuenca más afectada por este problema, ya que más del 50% de su superficie presenta erosión extrema con más de 350 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (cuadro 5). El volumen de sedimento proveniente de las partes alta, como consecuencia de la erosión, representa problemas de asolvamiento en el embalse de la presa y dificultades en la operación y eficiencia de la misma.

**Cuadro 5.** Erosión hídrica actual del suelo por subcuenca

Clase de erosión	Subcuenca						Total	
	Presa Peñitas		Zayula		Tzimbac			
ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
< 50	8,330	13	2,064	5	1,048	5	11,442	9.04
50 – 150	10,552	16	4,174	10	4,288	22	19,014	15.02
150 – 250	18,102	28	5,388	13	5,477	28	28,966	22.87
250 – 350	13,397	21	5,409	13	3,286	17	22,092	17.45
> 350	14,792	23	24,821	59	5,503	28	45,115	35.63

Priorización de microcuencas para la intervención: en el cuadro 6 se presentan las nueve microcuencas priorizadas, con información de precipitación, volumen de escurrimiento, erosión y tasa de deforestación y su porcentaje de aporte al total de la subcuenca a la que pertenecen. En estas nueve microcuencas, que cubren el 54% del área de abastecimiento del embalse de la hidroeléctrica Peñitas, se espera que al intervenirlas con acciones de restauración y/o conservación se reduzca significativamente el escurrimiento, así como, la producción y arrastre de sedimentos, favoreciendo la infiltración y el flujo base.

**Cuadro 6.** Microcuencas priorizadas por subcuencas.

Microcuenca/subcuenca	Superficie		Precipitación		Escurrimiento		Erosión potencial		Deforestación 1986-2016		Valor priorizado
	ha	%	Volumen anual en toda el área (lt*1000)	%	Volumen anual pico (lt*1000)	%	Ton*1000	(%)	Superficie (ha)	Tasa ha año-1	
<b>Subcuenca Presa Peñitas</b>											
Río Cambac	6,538	10.7	204,078	11.4	108,731	11.4	4,701	10.5	3301.1	110.0	17.7
Loma Bonita	4,773	7.8	170,515	9.5	87,415	9.2	3,404	7.6	2725.6	90.9	16.9
Río Chintul	6,959	11.4	168,739	9.4	89,142	9.4	5,617	12.6	2995.9	99.9	16.6
Subtotal	3 18,269	30	543,332	30	285,288	30	13,723	31	9,023		
Total subcuenca	61,146	100	1,792,695	100	951,710	100	44,616	100	31,585.1	65.8	
<b>Subcuenca Sayula</b>											
Río Magdalena	16,196	9	551,696	40	310,278	41	17,102	33.6	5,240	174.7	31.6
Río Magdalena (V.)	7,824	19	252,428	18	132,004	17	9,450	18.6	3,385	112.8	22.7
Río Susnubac	6,067	14	191,654	14	102,592	13	10,790	21.2	1,306	43.5	18.7
Subtotal	3 30,087	72	995,779	72	544,873	71	37,343	73	9,931		
Total subcuenca	41,898	100	1,388,465	100	763,020	100	50,896	100	14,930	99.5	

**Subcuenca Tzimbac**

Río zimbac	10,018	51	257,775	48	144,974	48	9,157	51.9	4,306	143.5	39.6
Río zapac	5,869	30	155,119	29	86,864	29	4,646	26.3	3,030	101.0	27.6
Río Cuachi	,908	10	64,498	12	33,729	11	2,159	12.2	520	17.3	14.2
Subtotal 3 microcuencas	17,795	91	477,392	88	265,566	89	15,962	90	7,856		
Total	9,601	100	540,844	100	299,813	100	17,647	100	8,549	57.0	

**Planes de acción:** se elaboró un plan de acción para cada una de las nueve microcuencas prioritarias, los cuales incluyen acciones para: a) garantizar la seguridad alimentaria de la población, con prácticas agroecológicas; b) garantizar el abastecimiento de agua a las comunidades; c) detener y/o revertir la pérdida de suelo por erosión en las áreas agropecuarias; d) arborizar los potreros con sistemas silvopastoriles y reactivar la ganadería y; conservar los bosques existentes. Cada plan incluye metas físicas y financieras, población objetivo, ubicación de las áreas de implementación dentro de las microcuencas (Cuadro 7) y una carta de aceptación por parte de las autoridades de las localidades involucradas.

**Cuadro 7.** Metas de los planes de acción

Concepto	Conservación de bosques	Conservación de Suelo y agua	Ganadería y medio ambiente	Sistemas de abastecimiento de agua	Seguridad alimentaria	Total
Hectáreas	24,598	23,128	17,633	1,519	3,156	63,528
Costos (1000\$)	60,979.3	1,940,285	1,159,284	60,545	64,492	3,285,585
(\$/ha)	2,478.99	83,893.62	65,743.35	39,864.26	20,434.64	51,718.50

**Conclusiones**

Los resultados del estudio confirman que las alteraciones en la función hidrológica de las cuencas que abastecen la Central Hidroeléctrica Peñitas, es debido falta de planeación integral y sistémica del territorio,

lo cual ha generado un desbalance en la cubierta vegetal y su relación con la formación de escurrimiento y producción de sedimentos. La priorización de las nueve microcuencas y la formulación de sus planes de acción, es un insumo importante para detener y/o revertir la problemática. Los principales desafíos para la implementación de los planes de acción son lograr la integración efectiva de las instituciones, superar la discontinuidad de las acciones por los cambios de gobiernos y recuperar confianza por parte de la población rural hacia las instituciones gubernamentales.

### **Agradecimientos**

A la Comisión Federal de Electricidad por el financiamiento parcial para la realización de este estudio.

### **Referencias bibliográficas**

- Álvarez S. A. y Medrano P. O. R. (2020). Caracterización geomorfológica de la subcuenca Río Mezcalapa, región hidrológica Grijalva-Usumacinta (RH-30) en Sureste de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(80), 32-44.
- DOF. (2010). Diario Oficial de la Federación del 29/04/2010. Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5141106&fecha=29/04/2010#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5141106&fecha=29/04/2010#gsc.tab=0)
- DOF. (2020). Diario Oficial de la Federación del 1/12/2020. DECRETO por el que se establecen las medidas de coordinación que deberán observar las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para el manejo de presas y la reducción de desastres por inundaciones en la cuenca del Río Grijalva, y su relación en el control y despacho de generación eléctrica, con sentido social y de protección civil. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5606505&fecha=01/12/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5606505&fecha=01/12/2020#gsc.tab=0)
- INEGI. (2020). Censo de población y vivienda. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- López B. W. (2014). Watershed Management Analysis as a Tool for Sustainable Use of Natural Resources, *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.017>. XIII (2). Pp.39- 46.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses -A Guide to Conservation Planning. US-DA, Agric. Hbk., 537

## IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA IDONEIDAD DE HABITAT DEL CULTIVO DE HIGO (*Ficus carica* L.) EN MEXICO

Karla Janeth Martínez-Macias<sup>1</sup>, Selenne Yuridia Márquez-Guerrero<sup>1\*</sup>, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes<sup>2</sup>, Miguel Ángel Segura-Castruita<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Torreón, <sup>2</sup>INIFAP CENID RASPA), <sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Tlajomulco.

\* Autor para correspondencia: [selenne.marquez@hotmail.com](mailto:selenne.marquez@hotmail.com)

**Palabras clave.** Modelo de circulación global, max-ent, modelado de nicho ecológico

### Introducción

El aumento de la temperatura ambiental afecta la producción, disponibilidad y distribución de los cultivos afectando el bienestar humano, siendo esto preocupante ya que, se prevé que para el año 2100 la temperatura aumentará de 1.5 °C a 2 °C con un nivel de confianza medio, esto intensificado por las actividades antrópicas (Rivera-Aguirre *et al.* 2021).

Los problemas ambientales son complejos y requieren una combinación de nuevos métodos y herramientas, como los sistemas de información geográfica; que permiten manejar mayor cantidad de datos para desarrollar y generar conocimiento a través de productos cartográficos. El Modelado de Nicho Ecológico, es una herramienta de utilidad para evaluación de riesgos, capaz de predecir el potencial de desarrollo de una especie vegetal con respecto a las condiciones ambientales (Rivera-Aguirre *et al.* 2021). Este modelo se sustenta en el desarrollo de tecnología informática, que permite un enfoque metodológico para ampliar y resolver interrogantes en diferentes campos y mejorar sus interpretaciones.

Los cultivos emergentes o alternativos, son aquellos que se han introducido recientemente y responden a nuevas demandas y oportunidades comerciales. En este sentido, la higuera, se ha introducido como una alternativa frutícola en México, debido a su alta capacidad nutritiva, nutracéutica y antioxidante, versatilidad y adaptabilidad a establecerse en zonas semi áridas.

### Objetivo

La determinación de los escenarios de cambio climático tiene como objetivo determinar los impactos en las propiedades de la tierra, por tanto, el objetivo de esta investigación es determinar áreas de idoneidad de hábitat del cultivo de higo (*Ficus carica* L.), ante condiciones de clima actual y escenarios de cambio climático en México a través de los modelos de Nicho Ecológico.

### Materiales y métodos

El área de estudio se acota a los puntos de presencia de higo en predios agrícolas en México, la cual se encuentra delimitadas por las coordenadas extremas 32° 17' 44.52" de latitud norte y 92° 30' 00" de longitud oeste, con una superficie estimada de 721,990 km<sup>2</sup> y con un gradiente de elevación de 0 a 5417 msnm. La precipitación es de 800 a 1600 mm por año, con un promedio de 1200 mm, mientras que la temperatura media anual oscila entre 16°C y 25°C.

**Registros geográficos del higo.** Se obtuvieron 644 puntos de incidencia del cultivo de higo para México de la base de datos de Global Biodiversity Information Facility. Se realizó un primer filtro para eliminar datos que estuvieran a 1 km de distancia entre ellos mediante la plataforma NicheToolBox de CONABIO. Después se llevó a cabo, un segundo filtro con el software de ArcGIS 10.8, que mediante la capa vectorial de uso de suelo y vegetación serie VII de INEGI proveniente de CONABIO, se seleccionaron los puntos de presencia del cultivo dentro de áreas agrícolas, reduciendo el número de datos a 68. Este proceso evita la autocorrelación espacial y la sobreestimación en los modelos de distribución.

**Variables climáticas actuales y futuras.** Los datos de clima se obtuvieron de la base de datos de WorldClim ver 2.0, con una resolución de ~1 km<sup>2</sup> píxel, con información promedio mundial de 1970 al 2000. Para clima futuro, se descargó la información del CMIP5 (Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5 2013) para el periodo 2061-2080 (horizonte 2070) con vías de concentración representativas (RCP) 2.6 y 8.5, utilizando el Modelo de Circulación Global (GCMs por sus siglas en inglés) HADGEM2-ES (Hadley



Centre Global Environment Model version 2-EarthSystem), modelo recomendado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático para la República Mexicana.

Variables topográficas y edafológicas. La información topográfica de elevación (ELE) se extrajo de WorldClim 2.0 con una resolución espacial de ~1 km<sup>2</sup>, mientras que los datos de edafología se obtuvieron del portal de información de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>). Se descargaron los valores de arena (ARE), limo (LIM), arcilla (ARC), fragmentos rocosos (FR), pH (PH) y materia orgánica (MO) a 90 cm de profundidad, con una resolución de 90 m<sup>2</sup>, las capas que fueron reescaladas ~1 km<sup>2</sup>. Después todas las variables se transformaron a formato ASCII y posteriormente se realizó un polígono mínimo convexo (PMC), generado con los puntos de presencia del cultivo en zonas agrícolas (figura 1).



**Figura 1.** Polígono Mínimo Convexo y puntos de incidencia del cultivo de higo en áreas agrícolas

Modelación actual. Se utilizó el algoritmo del software MaxEnt ver 3.4.4 (Máxima Entropía por sus siglas en inglés). Las variables seleccionadas después de la depuración fueron BIO5, BIO9, BIO12, BIO17, MO, ELE, FR y ARC. Los criterios de configuración de MaxEnt consistieron en replicado interno por validación cruzada (1,000 iteraciones), salida tipo logística (100 repeticiones), un umbral de convergencia de 0.0001 en el que se seleccionó 75% de los registros para entrenar el modelo y 25% para la validación (Phillips y Dudik 2008).

Modelación bajo escenarios de cambio climático. Para obtener los modelos de idoneidad de hábitat en condiciones de cambio climático, se transfirieron los parámetros de calibración del modelo con mejor ajuste del clima actual, a clima a futuro a MaxEnt ver. 3.4.4. Para estimar la superficie de zonas de idoneidad de hábitat actual y futura de la higuera, se realizó una reclasificación, con el software ArcMap ver. 10.8 a través de la herramienta reclass, de la cual mediante la escala Likert se proyectaron cuatro niveles para la idoneidad (mala, regular, buena y excelente).

Cambio porcentual de superficie por efectos de cambio climático. La tendencia del cambio de superficie por efectos del cambio climático, se cuantificó mediante la ecuación propuesta por Gutiérrez y Trejo (2014), tanto para el RCP 2.6 como el 8.5, tomando como referencia el clima actual, así como el cambio entre escenarios.

$$\% \text{ Cambio} = \left[ \frac{S_1 - S_0}{S_0} \right] \times 100$$

Donde S0 es la superficie total, de acuerdo al escenario base, y S1 es la superficie bajo condiciones de cambio climático.

### Resultados y discusión

Modelación de idoneidad de hábitat para clima actual. Para las 100 réplicas realizadas de los modelos de idoneidad de hábitat actual, se obtuvieron valores de AUC de entre 0.918 y 0.924 para el entrenamiento y de 0.831 a 0.981 para la validación, lo cual indica que los modelos presentaron un desempeño adecuado. El valor de ROC parcial para el mejor modelo fue de 1.85 con un AUC de 0.924 para entrenamiento y 0.846 para validación (D.S. = 0.0001).

La superficie estimada del cultivo de higo para clima actual fue de 719,097.84 km<sup>2</sup> y se localiza principalmente en el Norte, pasando por la Sierra Madre Occidental, hasta el Eje Neo volcánico Transversal (Figura 2). Los estados con mayor superficie fueron Chihuahua (86,978.20 km<sup>2</sup>, 12.10%), Jalisco (35,346.02 km<sup>2</sup>, 4.95%), Michoacán y Coahuila con 33,302.92 km<sup>2</sup> (4.62%) cada uno.

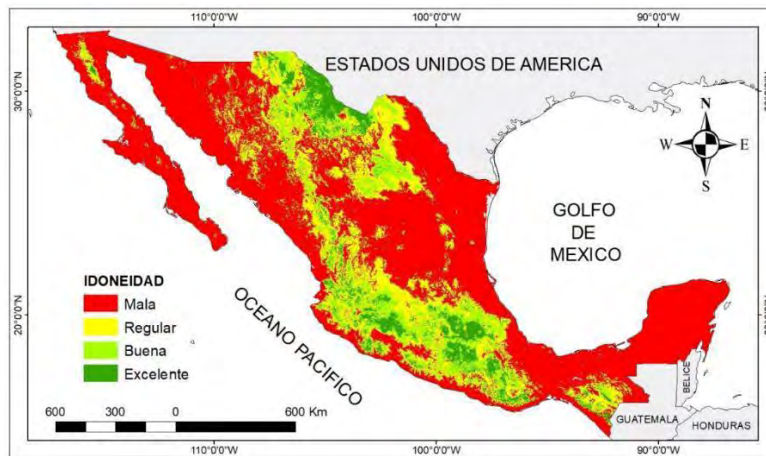


Figura 2. Áreas de idoneidad del cultivo de higo para clima actual.

Modelación de idoneidad de hábitat bajo efectos del cambio climático (RCP 2.6 y 8.5). Los valores obtenidos de la prueba AUC de ROC estándar para los modelos de circulación global HADGEM2-ES para el 2070 fueron de 0.918 a 0.924 para el entrenamiento de los modelos, y de 0.831 a 0.981 para la validación (Figura 3a-b). Los valores de ROC parcial y los dos escenarios RCP 2.6 y 8.5, fueron de entre 1.81 y 1.83, en todos los casos fueron significativos ( $p < 0.01$ ).

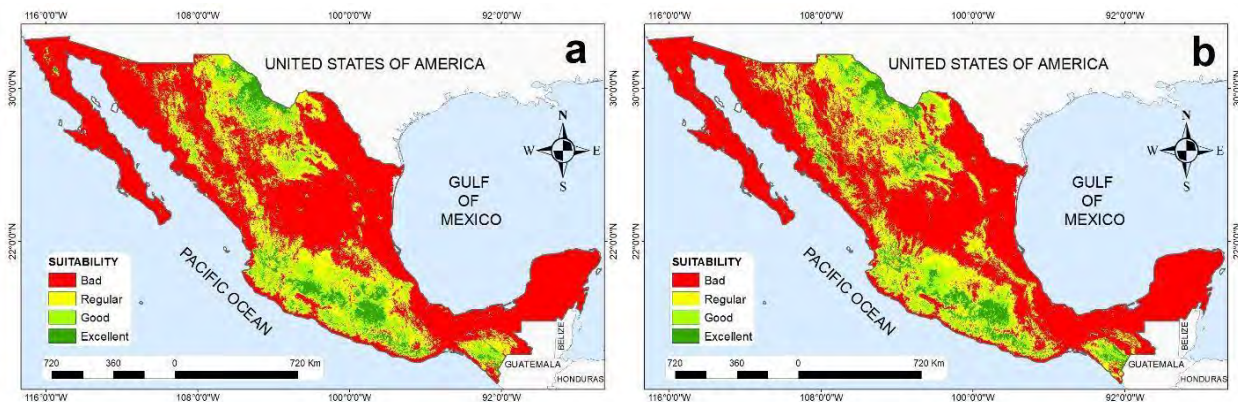


Figura 3. a) HADGEM2-ES 2070 RCP 2.6, b) HADGEM2-ES 2070 RCP 8.5

Las superficies catalogadas como idóneas para el establecimiento del cultivo de higo en México para clima actual y futuro se encuentran en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Incrementos y decrementos de superficie del cultivo de higo en diferentes escenarios climáticos HADGEM2-ES Actual México 2070

	Km <sup>2</sup>	2.6	8.5
			%
MALA	1,237,798.81	+1.37	+10.10
REGULAR	367,165.52	-5.18	-3.74
BUENA	230,353.83	-13.51	-9.77
EXCELENTE	129,221.93	+1.96	-1.29

Los resultados encontrados en este estudio, permitieron identificar las áreas con las características ambientales aptas para el establecimiento del cultivo de higo, dichas zonas geográficas coinciden con la producción de higo en México. Se han desarrollado metodologías para modelar idoneidad de hábitat para clima actual y para escenarios de cambio. Sin embargo, estos estudios, se han enfocado principalmente en especies forestales maderables y no maderables, mientras que en cultivos agrícolas hay poca o nula información. Los resultados obtenidos para los escenarios de cambio climático son similares a los obtenidos por Duran- Puga *et al.* (2016), en donde la distribución de *Morus alba L.*, con el modelo HadGEM2-ES para los años 2050 y 2070, indican una tasa de reducción para este cultivo en la República Mexicana, sin embargo, un aumento para los estados de Chihuahua, Baja California y Sonora, y a los obtenidos por Martínez-Sifuentes (2020) con de *Pinus greggii* en el cual la especie estudiada reduce su distribución. Otras investigaciones sugieren un aumento de la precipitación en todos los RCP de este modelo y un aumento en la temperatura de entre 0.7 y 2.1 °C, lo que permite monitorear y planificar estrategias para minimizar los cambios negativos que se pudieran tener por cambio climático en diversas especies y diversos ámbitos ambientales.

### Conclusiones

El modelado de Nicho Ecológico es una forma muy útil de generar estrategias apropiadas que garanticen la sustentabilidad de los sistemas agroalimentarios. El sur-oeste, norte y el eje volcánico de México, presentan idoneidad de hábitat para el cultivo de higo para el año 2070, aumentando los sitios malos y regulares por lo que, los hallazgos del presente estudio son de gran importancia ya que representan un avance en el estudio del cultivo de higo en nuestro país, a su vez, sirve como guía para aprovechar las zonas donde este cultivo tiene potencial para su producción actual y futura.

### Referencias bibliográficas

- Durán-Puga N, Loya-Olguin, JL., Ruiz-Corral, JA, González-Eguiarte DR, García-Paredes JD, y Martínez-González S. 2017. *Impactos del cambio climático en la distribución potencial de Morus alba L. en México. Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas.* (13), 2511–2521. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.475>
- Gutiérrez E, Trejo I. 2014. *Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. Revista Mexicana de Biodiversidad* **85**: 179-188. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.37737>
- Martínez-Sifuentes AR, Villanueva-Díaz JV, Manzanilla-Quiñones U, Becerra-López JL, Hernández-Herrera JA, Estrada-Ávalos J, Velázquez-Pérez AH. 2020. *Spatial modeling of the ecological niche of Pinus greggii Engelm. (Pinaceae): a species conservation proposal in Mexico under climatic change scenarios. iForest - Biogeosciences and Forestry.* 13(5):426-434. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3491-013>
- Phillips SJ, Dudík M. 2008. *Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. Ecography* **31**: 161-175. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
- Rivera-Aguirre D, Ortiz-Acosta M, Bernal-Mendoza H, Sánchez-Rojas G, Ramírez-Bravo E, Jiménez-García D. 2021. *Impacto del cambio climático en la distribución potencial de tres cultivos agrícolas en México. Acta Agrícola Pecuaria.* **7** (1):1-16 DOI: <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071015>.

## DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA Y POBLACIONES DE *Rhysomatus nigerrimus* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EN LA REGIÓN SOYERA DE CHIAPAS

Guillermo López-Guillén<sup>1\*</sup>, Jaime Gómez Ruiz<sup>2</sup>, Leopoldo Cruz-López<sup>2</sup>, Manuel Grajales Solís<sup>1</sup>, Moisés Alonso Báez<sup>1</sup>, Edilberto Aragón-Robles<sup>3</sup>, Verónica Mariles Flores<sup>4</sup>

<sup>1</sup>INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa, <sup>2</sup>Grupo Académico Ecología de Artrópodos y Manejo de Plagas, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, El Colegio de la Frontera Sur

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, <sup>4</sup>INIFAP, Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca,

\*Autor para correspondencia: [lopez.guillermo@inifap.gob.mx](mailto:lopez.guillermo@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Picudo de la soya, muestreo, distribución.

### Introducción

El picudo de la soya, *Rhysomatus nigerrimus* (Fahraeus) (Coleoptera: Curculionidae), es una plaga de importancia económica en el cultivo de soya en Chiapas, Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz (López-Guillén *et al.*, 2012; Terán-Vargas y López-Guillén 2014). Las hembras y los machos del picudo causan daños directos e indirectos en distintas etapas fenológicas del cultivo de soya. Sin embargo, son las hembras las que ocasionan mayores pérdidas económicas porque depositan sus huevos en el interior de las vainas en donde se desarrollan las larvas (López-Guillén *et al.*, 2012). El daño causado por las larvas limita el rendimiento de grano hasta en un 70% cuando no se aplica ninguna medida de control y afecta la calidad de los granos para alimentación humana y semilla para siembra (López-Guillén *et al.*, 2012; Terán-Vargas y López-Guillén 2014).

La distribución geográfica de insectos plagas, se considera como un componente importante en el análisis de riesgo y toma de decisiones para la aplicación de métodos de control (López-Collado *et al.*, 2013). Los estudios de distribución geográfica pueden ser vistos desde una perspectiva global, continental, nacional o regional (Hominick *et al.*, 1996). El picudo de la soya, se observó por primera vez en el año 2008 en cultivos de soya de Altamira, Tamaulipas y Tapachula, Chiapas (López-Guillén *et al.*, 2012). A la fecha, *R. nigerrimus*, se distribuye geográficamente en cultivos de soya de San Luis Potosí y Veracruz (Terán-Vargas y López-Guillén, 2014). Este insecto plaga, puede dispersarse y dañar cultivos de soya de otras regiones soyeras de México, localizadas en los estados de Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Sinaloa y otros estados.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue determinar la distribución geográfica de adultos de *R. nigerrimus* con dos métodos de muestreo.

### Materiales y métodos

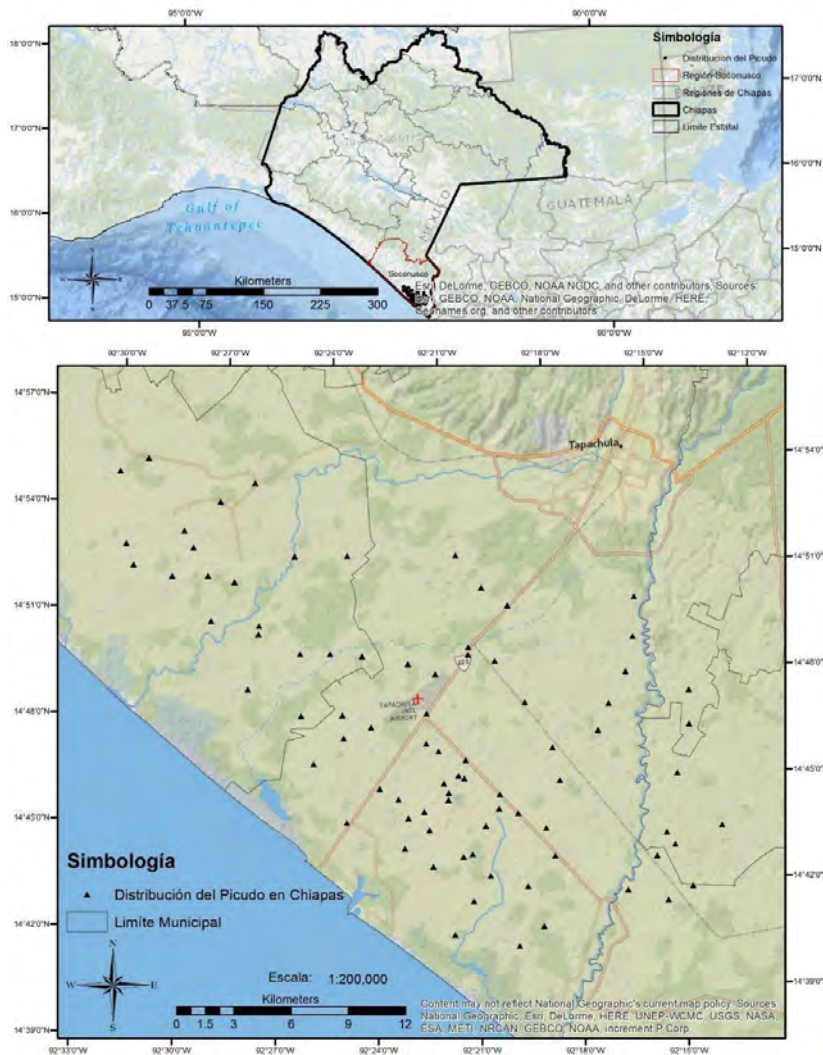
Los muestreos para determinar la distribución geográfica de *R. nigerrimus* en la región soyera del estado de Chiapas, se llevaron a cabo en el ciclo primavera-verano del cultivo de soya del año 2014. Se hizo un sólo muestreo entre la etapa fenológica vegetativa (V4) y reproductiva (R2) del cultivo de soya en cada localidad visitada. Los monitoreos de las poblaciones de adultos de *R. nigerrimus* se llevaron a cabo por medio de dos métodos de muestreo: 1) inspección visual directa sobre plantas; y 2) sacudido de plantas de soya. Los dos métodos de muestreo se consideran como métodos directos de muestreo que permiten estimar poblaciones de una plaga. Para la inspección directa de adultos del picudo en plantas de soya, se observó detenidamente 1 m lineal con plantas de soya en busca de adultos de *R. nigerrimus*. En el caso del método de sacudido de plantas de soya, se sacudió cuidadosamente 1 m lineal con plantas de soya sobre una manta blanca de 1 m por 80 cm para registrar el número de adultos de *R. nigerrimus* caídos en la manta. En cada localidad visitada, se monitorearon 50 m lineales con plantas de soya de manera aleatoria para buscar la presencia de adultos del picudo con los dos métodos de muestreo, respectivamente. En un formato de papel, se registró el número de picudos encontrados en cada punto de muestro con plantas de soya.

Los datos de las poblaciones de adultos de *R. nigerrimus*, se analizaron con sus promedios para cada método de muestreo y localidad visitada. Los cálculos se hicieron en el programa de cómputo Excel.



## Resultados y discusión

Se monitorearon un total de 82 localidades, distribuidas en seis municipios de la región Costa-Soconusco. En el municipio de Tapachula, se registraron 14 localidades infestadas con adultos de *R. nigerrimus* con el método de inspección visual, y 26 localidades infestadas con adultos del picudo con el método de sacudido de plantas. En el municipio de Mazatán, se registró una localidad infestada con adultos de *R. nigerrimus* con ambos métodos de muestreo. En el municipio de Frontera Hidalgo, se encontró únicamente una localidad con adultos de *R. nigerrimus* por el método de sacudido de plantas de soya. En el municipio de Suchiate, se registraron dos localidades infestadas con adultos del picudo por el método de sacudido de plantas y una localidad por el método de inspección visual (Figura 1). Por último, en el municipio de Tuxtla Chico, no se registraron localidades infestadas por adultos del picudo de la soya. De acuerdo con lo registrado, el método de muestreo por sacudido de plantas permitió encontrar más localidades infestadas con adultos de *R. nigerrimus*.



**Figura 1.** Distribución geográfica de *R. nigerrimus* en la región soyera de Chiapas.

En el Cuadro 1, se muestran el promedio de adultos de *R. nigerrimus* que se encontró en cada uno de los municipios visitados con dos métodos de muestreo. En las localidades del municipio de Tapachula, se observaron mayores promedios con ambos métodos de muestreo, seguidos por el municipio de Mazatán y Suchiate.



**Cuadro 1.** Promedio de adultos de *R. nigerrimus* en los municipios visitados de la región sojera de Chiapas.

PROMEDIO DE PICUDOS POR METRO LINEAL		INSPECCIÓN VISUAL	SACUDIDO DE PLANTAS
MUNICIPIO	Localidades		
TAPACHULA	51	0.09	0.14
MAZATÁN	22	0.01	0.1
FRONTERA HIDALGO	4	0	0.01
SUCHIATE	3	0.02	0.01
TUXTLA CHICO	2	0	0

### Conclusiones

El mayor número de localidades infestadas, se registró en el municipio de Tapachula. El método de muestreo por sacudido de plantas permitió encontrar más localidades infestadas en todos los municipios visitados.

### Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia, Humanidades y Tecnología (CONAHCYT) (Fondo Sectorial: SEP-CONACYT CB2017-2018; A1-S-23359) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (SIGI número: 1485135342) por el financiamiento otorgado para el desarrollo del presente trabajo.

### Referencias bibliográficas

- Hominick, W.M., A.P. Reid, D.A. Bohan, B.R. Briscoe. 1996. Entomopathogenic nematodes: biodiversity, geographical distribution and the convention on biological diversity. *Biocontrol Science and Technology* 6:317–33.
- López-Collado, J., J.I. López-Arroyo, P.L. Robles-García, and M. Márquez-Santos. 2013. Geographic distribution of habitat, development, and population growth rates of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in Mexico. *Journal of Insect Science* 13(114): 1-17.
- López-Guillén, G., A.P. Terán-Vargas, J. Gómez Ruiz, J. San-Juan Lara, G.H. Rosado-Neto, C.W. O'Brien, L. Cruz-López, L.A. Rodríguez-Del-Bosque, R. Alatorre-Rosas. 2012. First record of *Rhyssomatus nigerrimus* (Curculionidae: Molytinae: Cleogonini) infestations in soybeans in Mexico. *Florida Entomologist* 95: 524–528.
- Terán-Vargas, A.P., G. López-Guillén. 2014. El picudo de la soya *Rhyssomatus nigerrimus* Fahraeus 1837 (Coleoptera: Curculionidae). Folleto Técnico 38. INIFAP/CIRNE, Campo Experimental Las Huastecas, Tamaulipas, México.

## ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE RPAS COMERCIAL COMO ALTERNATIVA AL MONITOREO DE SALUD DE LOS CULTIVOS

Enrique Miguel-Valle<sup>1,2</sup>, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes<sup>2</sup>, Ramón Trucíos-Caciano<sup>2</sup>, Nuria Aide López-Hernández, Yenifer Moreno-Sepúlveda<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Torreón, <sup>2</sup>CENID RASPA-INIFAP,

\*Autor para correspondencia: [yenimosep2795@gmail.com](mailto:yenimosep2795@gmail.com)

**Palabras clave.** Rpas, multiespectral, RGB.

### Introducción

La teledetección basada en la implementación de tecnologías como lo son los Rpas (Remotely Piloted Aircraft System) ofrecen grandes posibilidades para adquirir de forma rápida y sencilla datos de campo para aplicaciones de agricultura de precisión (Candiago *et al.*, 2015). Estas tecnologías son vitales para la comprensión de los cambios de los cultivos espaciotemporalmente, así como en el crecimiento de los cultivos a nivel intra-campo para mejorar la producción agrícola utilizando enfoque de agricultura inteligente y de precisión (Nduku, 2023).

El adquirir un sensor multiespectral representa un costo considerable, y en la mayoría de los casos, representa un obstáculo directo a la economía de un pequeño productor, por lo tanto, resulta importante conocer alternativas que puedan subsanar dichas complejidades y puedan aportar información aproximada de la salud de los cultivos a un costo relativamente más bajo.

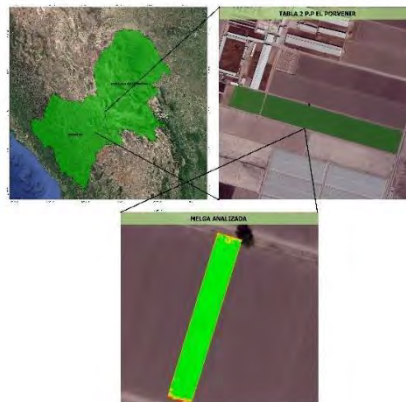
### Objetivos

El objetivo del presente estudio fue encontrar la asociación entre índices espectrales de sensor multiespectral abordo de RPAS de alto costo y de índices espectrales del espectro RGB de RPAS comercial.

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

El presente trabajo se realizó en un predio ubicado, en el municipio de Francisco I Madero, perteneciente al estado de Coahuila, ubicado geográficamente en las coordenadas 25°46'53.2" latitud norte y 103°18'28" longitud oeste a una altitud de 1,109 msnm. Los vuelos se realizaron en una superficie de 12 ha, donde se analizaron una superficie efectiva de 25 m de ancho por 125 m de largo donde se estableció el cultivo de maíz forrajero el trabajo se realizó en el ciclo de primavera, considerando una fecha de siembra del 03 de marzo del 2021, se sembró una variedad híbrida NB3NS de la casa comercial ABT, el marco de plantación fue de 5 semillas por metro cuadrado considerado ciclo precoz con duración de 100 días a cosecha, el el riego fue de forma superficial mediante el sistema de riego por válvulas alfalferas. (Figura 1).



**Figura 1.** Área de adquisición de índices espectrales.

**Planeación de vuelo**

La planeación de vuelo consistió en definir la región de interés y los parámetros de vuelo, para la adquisición de las imágenes.

**eBee clasic**

La planeación de vuelo se realizó en el software eMotion 3.5, en el cual se configura el área de interés, el pixel, altura. Solape y dirección de vuelo.

**Dji Mavic pro**

La planeación de vuelo se realizó mediante la aplicación de acceso libre Pix4DCapture mediante el uso de un equipo celular y sistema operativo Android, donde se identificó el área de interés de vuelo, configurando altura y pixel.

La recopilación de los datos espacio temporales se desarrollaron bajo las siguientes características “Rpas eBee clásico” que se muestran en la (Figura 2a), se consideraron una resolución de 18 cm/px, altura de 191.0 m, cubriendo un área total de vuelo de 12 ha-1 con una duración de 00:06:31 minutos. “Dji Mavic Pro (Figura 2b), se consideró una resolución de 3.98 cm/px, altura de vuelo de 121m cubriendo un total de 12 ha-1 con una duración de vuelo de 10 minutos.



**Figura 2.** características de vuelo para cada RPAS.

Se realizó un total de 3 vuelos en un horario de 09:00 am a 10:30 am con las características que muestra en cuadro1, durante el establecimiento del cultivo forrajero en el ciclo de primavera del año 2021.

**Cuadro 1.** Características de vuelo y número de vuelos.

FECHA DE VUELO	HORA DE VUELO	cm/Px		ALTURA DE VUELO	
		eBee + Sequoia	DJI RGB	eBee + Sequoia	DJI RGB
23/03/2021	09:15	18	3.98	191	121
09/04/2021	10:20				
27/04/2021	09:30				

**Recolección de datos**

La recolección de datos con RPAS consistió en la captura de imágenes aéreas a lo largo de una ruta de vuelo que es ajustada a parámetros previamente definidos (Escalante, 2016).

**Rpas eBee clasico**

Es un Rpas de ala fija el cual tiene un peso de 1.1 kg, con un alcance de radio enlace de 3 km, con cobertura de vuelo a 120 m de altura de 220ha-1 y una resistencia al viento de 12 m/s, con precisión de aterrizaje automático en aterrizaje lineal de 5 m, con precisión absoluta en “X”, “Y”, “Z” GCPs (puntos de control) de 3 a 5 cm.

**Sensor multiespectral Sequoia**

La información multiespectral fue recaba mediante un sensor denominado Sequoia el cual cuenta con 4 sensores de una banda de 1.2m/Px, con una definición de 1280 x 960 píxeles, cuenta con 4 bandas verde (550 BP 40), rojo (660 Bp 40), borde rojo (735 BP 10) e infrarrojo cercano (790 BP 40).

Rpas Dji Mavic Pro

Se considera como un Rpas cuadricóptero debido a que cuenta con cuatro motores, tiene un peso de 734 gramos, con una velocidad máxima de 65 km/hr, distancia de vuelo sin viento de 13 km, cobertura de vuelo a 120 m de 50 ha-1, resistencia al viento de 10 m/seg, sistema de posicionamiento por satélite GPS/GLONASS y sensor con 12.35 píxeles efectivos.

Generación de orto mosaico

Rpas eBee clasico

La generación de ortomosaico multiespectral se realizó utilizando el software eMotion 3.5 primeramente para etiquetar geográficamente cada una de las imágenes utilizando los archivos bb3 del RPAS los cuales contienen datos GPS. El software pix4D fue utilizado para generar el mosaico una vez etiquetadas geográficamente las imágenes, en este software se obtuvo la reflectancia de cada una de las bandas del sensor, así mismo se obtuvieron los índices de vegetación tales como NDVI, SAVI Y NDRE estos índices son los más utilizados para el monitoreo de la salud del cultivo.

Rpas Dji Mavic Pro

La generación de ortomosaico se realizó mediante el uso del software pix4D, uniendo cada una de las imágenes, así mismo mediante este software se pudo obtener cada uno de las bandas por separado (azul, verde y rojo).

Calculo de índices de vegetación

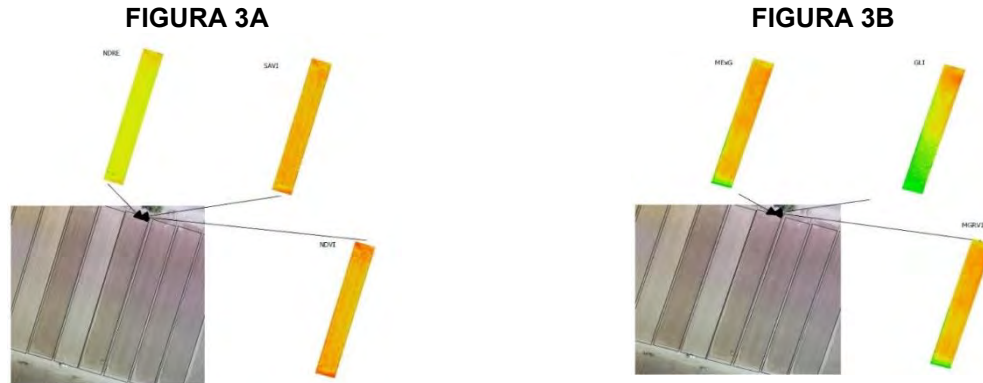
La determinación de los índices de vegetación (NDVI, NDRE y SAVI) se generaron automáticamente en el software Pix4DMapper utilizando la reflectancia de cada una de las bandas (Cuadro 2).

Una vez generados los ortomosaicos del área sobrevolada y la información por bandas separadas (verde, roja y azul). Se obtuvieron los índices de vegetación de sensor RGB a través del software libre Qgis 14.3.

**Cuadro 2.** Índices de vegetación multiespectrales y RGB

ÍNDICE DE VEGETACIÓN	ECUACIÓN	REFERENCIA
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	(Rouse <i>et al.</i> , 1974).
SAVI	$\left[ \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right] * (1 + L)$	(Huete 1988)
NDRE	$\frac{NIR - RE}{NIR + RE}$	(Barnes <i>et al.</i> , 2000)
MEXG	$1.62 * G - 0.884 * R - 0.311 * B$	Burgos-artizzu <i>et al.</i> , 2011
MGRVI	$\frac{G^2 - R^2}{G^2 + R^2}$	Bendig <i>et al.</i> , 2015
GLI	$\frac{2G - R - B}{2G + R + B}$	Louhaichi et al., 2001

La figura 3 nos muestran los diferentes índices de vegetación obtenidos por RPAS. En la figura 3a se muestran los índices de vegetación recabados por el sensor Sequoia y en la figura 3b se muestran los índices de vegetación determinados por medio de un sensor RGB.



**Figura 3.** índices de vegetación multispectral y RGB.

**Análisis estadístico**

Los datos de los vuelos, se procesaron en el software libre Qgis 3.14 donde se extrajeron los pixeles que se encuentren en el área de la melga de cada una de las imágenes mediante la herramienta “informe de valores únicos de capa raster”. Posteriormente se realizó un análisis de correlación mediante el paquete de análisis estadístico Minitab 17 entre los índices multispectrales y los RGB.

**Resultados y discusión**

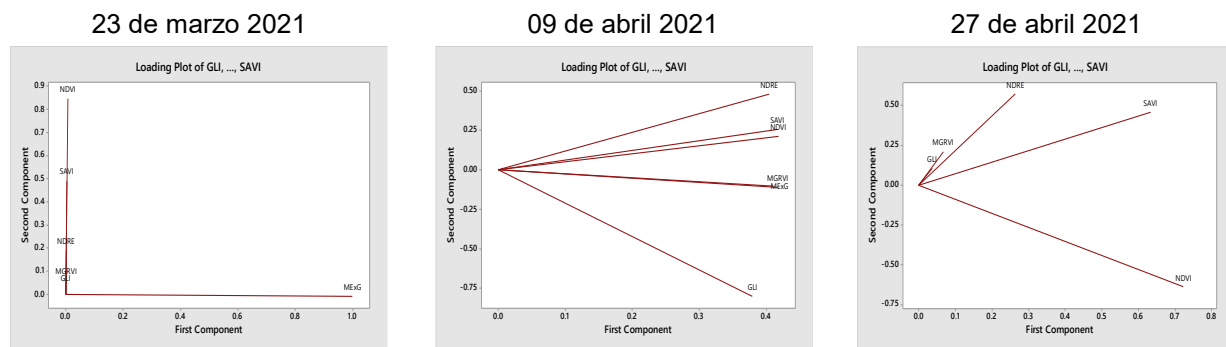
La asociación de los índices del vuelo del 23 de marzo mostró una alta y significativa correlación ( $r = 0.948$ ,  $p < 0.05$ ) entre los índices NDRE y GLI. Cabe mencionar que estos dos índices de vegetación se enfocan en aspectos similares de la salud de las plantas. Resultado similar al encontrado entre los índices NDRE y MGRVI ( $r = 0.940$ ,  $p < 0.05$ ), seguido por la correlación entre NDVI y GLI ( $r = 0.903$ ,  $p < 0.05$ ), cabe mencionar que el cultivo en esta fecha se encontraba con 20 días después de siembra en una etapa fenológica de V3. Para la fecha del 09 de abril se puede observar que se encontró la correlación más alta ( $r = 0.978$ ,  $p < 0.05$ ) entre los índices NDVI y MGRVI, donde el cultivo de maíz se encontraba en una etapa fenológica de V4. El índice MGRVI por ser un índice modificado del índice de vegetación NDVI, es más sensible a los cambios en la cubierta vegetal minimizando los efectos que pueden ocurrir por los efectos de saturación en los valores altos de NDVI. En la fecha del 27 de abril, la mayor correlación ( $r = 0.987$ ,  $p < 0.05$ ) entre los índices NDRE y MEXG (Figura 4).

23 de marzo 2021						09 de abril 2021						27 de abril 2021					
MEXG	GLI	MEXG	MGRVI	NDRE	NDVI	MEXG	GLI	MEXG	MGRVI	NDRE	NDVI	MEXG	GLI	MEXG	MGRVI	NDRE	NDVI
	0.977						0.876						0.996				
	0.000						0.000						0.000				
MGRVI	0.999	0.977				MGRVI	0.908	0.975				MGRVI	0.998	0.996			
	0.000	0.000					0.000	0.000					0.000	0.000			
NDRE	0.948	0.902	0.940			NDRE	0.777	0.899	0.929			NDRE	0.975	0.987	0.980		
	0.000	0.000	0.000				0.000	0.000	0.000				0.000	0.000	0.000		
NDVI	0.903	0.830	0.896	0.978		NDVI	0.849	0.963	0.978	0.981		NDVI	0.899	0.915	0.897	0.949	
	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	
SAVI	0.877	0.793	0.867	0.970	0.996	SAVI	0.842	0.947	0.970	0.989	0.998	SAVI	0.944	0.961	0.946	0.987	0.985
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

**Figura 4.** Correlación en índices multispectral eBee clásico + sequoia y DJI Mavic Pro con sensor RGB.

De acuerdo a la figura 5 para la fecha del 23 de marzo se ubicaron los índices NDVI, SAVI, NDRE, MGRVI y GLI en el primer componente dejando solamente el índice MEXG en el segundo componente. Para el vuelo del 9 de abril se ubicaron todos los índices en el primer componente NDVI, SAVI, NDRE, MGRVI, MEXG Y GLI. Para la fecha del 27 de abril todos los índices se encontraron en el primer componente, con una mayor asociación entre los índices GLI y MGRVI





**Figura 5.** Analisis de componentes principales para los diferentes vuelos.

## Conclusiones

Como resultado, es probable que exista una correlación entre los valores de NDRE y GLI, NDVI Y GLI especialmente cuando se trata de detectar tendencias generales en la salud y el estrés de las plantas. Sin embargo, la correlación exacta dependerá de varios factores, como la especie de planta específica, las condiciones ambientales y la precisión de los datos de teledetección que se utilicen.

Es importante generar una base de datos durante todo un ciclo del cultivo mediante seguimiento multispectral e IV RGB esto con la finalidad de identificar la variabilidad de cada uno de los índices RGB en la evolución del cultivo.

Por otro lado, la información que nos representa el rango espectral RGB nos ayuda de forma visual a identificar áreas de oportunidad dentro de una zona agrícola en producción.

## Referencias bibliográficas

Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Richards, S.E.; Colaizzi, P.D.; Haberland, J.; Kostrewski, M.; Waller, P.; Choi, C.; Riley, E.; Tompson, T.; *et al.* Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA, 16–19 July 2000; ASA-CSSA-SSSA: Madison, WI, USA, 2000. Available online:

<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.463.8007&rep=rep1&type=pdf> (accessed on 4 August 2023)

Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L., Bareth, G., 2015. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley 39, 79–87.

Burgos-artizzu, X.P., Ribeiro, A., Guijarro, M., Pajares, G., 2011. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. Computers and Electronics in Agriculture 75, 337–346

Candiago Sebastian., Remondino Fabio., De Giglio Michaela., Debbini Marco and Gattelli Mario. Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. Remot Sens 2015 7(4). En línea 20 de julio de 2023. 4026-4047; <https://doi.org/10.3390/rs70404026>

Nduku Lwandile., Munghemesulu Cilence., Masaba-Munghemesulu Zinhle, Mukalazi Kalumba Ahmed., Johannes Chirima George., Masiza Wonga and De Villiers Colette. Global Research Trends for Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing Application In Wheat Crop Monitoring. Geomatics 2023, 3(1). En línea 20 de julio 2023. <https://doi.org/10.3390/geomatics3010006>

## PROSPECCIÓN DE HIPERPARÁSITOS ASOCIADOS A CENICILLA POLVOSA (*OIDIOPSIS SICULA* SCAL.) EN CULTIVO DE CHILE (*Capsicum annum* L.)

Roxana Martínez-Cerón<sup>1\*</sup>, Jonathan Fernández-Mendiola<sup>1</sup> y Marcos Espadas-Reséndiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

\*Autor para correspondencia: [roxanamtzceron@gmail.com](mailto:roxanamtzceron@gmail.com)

### Resumen

El chile (*Capsicum annum* L.) es una hortaliza que se destaca por su alta producción a nivel mundial. Entre los factores que reducen su producción, se encuentran las enfermedades fungosas. El presente trabajo tuvo como finalidad aislar e identificar morfológicamente hiperparásitos asociados a cenicilla (*Oidiopsis sicula* Scal.) con potencial como biocontroladores. El aislamiento se realizó a partir de diluciones en serie del signo presente en las hojas, así como por la técnica de partes vegetales en medio de cultivo. Para la identificación, se realizaron preparaciones permanentes. Se identificó a nivel de género a *Penicillium*, *Aspergillus*, *Gliocladium*, *Ampelomyces* y *Cladosporium*.

**Palabras clave:** hongos biocontroladores, hiperparásitos, control biológico.

### Introducción

El chile se destaca por su gran diversidad, convirtiéndose en una de las hortalizas con mayor producción a nivel mundial. China ocupa el primer lugar en la producción del vegetal, con rendimientos de 19 millones de toneladas por año (SIAP, 2021). A nivel mundial, México ocupa el 2° lugar de producción; sin embargo, los rendimientos se ven severamente afectados por la presencia de fitopatógenos, siendo los hongos los de mayor importancia económica, como *Leveillula taurica* (fase teleomórfica), que en su forma asexual *Oidiopsis sicula* representa un grave problema para la producción de chile, principalmente en zonas cálidas. El control químico se ha vuelto poco funcional debido a que elevan los costos de producción y por la resistencia que ha desarrollado *Oidiopsis sicula*, en consecuencia, es fundamental buscar alternativas de control, en ese sentido, en el presente trabajo se realizó la búsqueda de hongos hiperparásitos asociados a cenicillas, para poder ser evaluados como potenciales agentes de control biológico de la cenicilla del chile (Kiss, 2008).

### Materiales y métodos

#### Descripción de la zona de estudio

El experimento se realizó en el municipio de Cuautitlán, Estado de México. El municipio se localiza en la parte noroeste del Valle Cuautitlán-Texcoco, al norte del Estado de México. Su altura es de 2,250 metros sobre el nivel del mar (msnm) (INAFED, s.f.).

El clima que prevalece en el municipio es el templado con una temperatura media anual de 26°C. La temporada de lluvias inicia en mayo y termina en octubre, su precipitación durante este periodo es de 564 mm (INAFED, s.f.).

#### Colecta de muestras

Las muestras fueron tomadas de plantas de chile producido bajo un sistema hidropónico ubicado en el Módulo de Hidroponía del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Se colectaron hojas de chile con manchas foliares blanquecinas y afelpadas que denota la presencia de *O. sicula*, el material vegetal se colocó en hojas de papel periódico y se prensó, para su posterior revisión en laboratorio.

#### Preparación de medios de cultivo

Se utilizaron dos medios de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) y SDA (Sabouraud Dextrosa Agar) de la marca MCD LAB®, para ambos medios se agregó antibiótico cloranfenicol a una concentración de 2 ppm, esto para evitar la proliferación de bacterias.

#### Aislamiento

#### Dilución en serie

Para el aislamiento, se utilizó la técnica de dilución en serie descrita por (Cuervo *et. al.*, s.f.), se realizó un raspado del signo y se agregó a un tubo de ensayo con 10 ml de agua destilada estéril, se agitó con vórtex,

se tomó un 1 ml y se agregó a otro tubo que contenía 9 ml de agua destilada estéril, el cual se agitó nuevamente. Este proceso se repitió hasta llegar a la dilución 10<sup>-4</sup>, finalmente, de cada dilución se tomó una alícuota de 0.8 ml y se sembraron en placas de petri con medios de cultivo SDA Y PDA.

#### Partes vegetales

De las muestras de hoja colectadas con presencia de signo de cenicilla, se realizaron cortes con ayuda de un bisturí, resultando pequeños cuadros de aproximadamente 1 cm x 1 cm, los cuales se desinfectaron del haz de la hoja con una solución de hipoclorito al 5% y posteriormente se sembraron en cajas de medio de cultivo PDA y SDA y se incubaron.

#### Cepa pura

Cada colonia aislada se transfirió a placas de SDA hasta su purificación, enseguida las cepas se incubaron a 25° C.

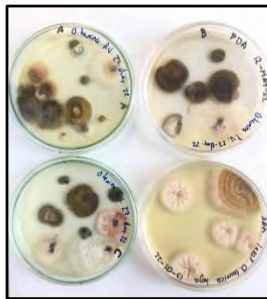
#### Identificación

Para la identificación, se realizaron microcultivos para la obtención de preparaciones permanentes, enseguida se identificaron a nivel de género mediante la consulta de claves morfológicas reportadas por Barnett y Hunter, (1987), Bensch *et. al.*, (2012) y Pitt & Hocking, (2009).

## Resultados y discusión

#### Aislamiento

Mediante la dilución en serie y partes vegetales se aislaron 5 hongos, por su frecuencia destacaron los géneros de *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Gliocladium* y *Ampelomyces* (Figura 1).



**Figura 1.** Colonias y hongos aislados a partir de diluciones en serie y partes vegetales en medio de cultivo.

#### Cepas puras e identificación

Se obtuvieron 5 cepas puras, de las cuales se realizaron preparaciones permanentes mediante la técnica de microcultivos.

#### Identificación

Las observaciones se hicieron con la ayuda del microscopio marca LEICA modelo DM500 y se tomaron fotos de las estructuras con la cámara LEICA ICC50 HD, las cuales posteriormente se midieron con el software LAS EZ de Leica®. Se pudieron identificar 5 géneros de hongos asociados a cenicilla, a continuación, se describen cada uno de estos.

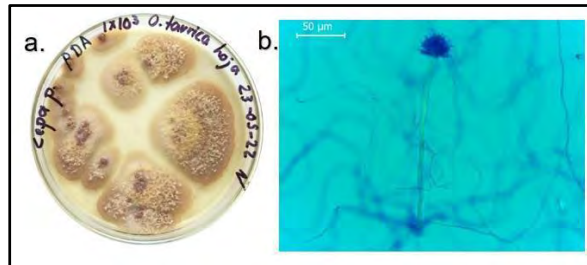
#### *Aspergillus terreus*

##### Características culturales

Colonia en PDA, se observó un rápido desarrollo, de color rosado parduzco, con tonos amarillentos en la periferia, con textura flocosa y presencia de exudados incoloros.

##### Morfología

El conidióforo característico de *Aspergillus*, posee tres partes bien diferenciadas: vesícula (extremo apical hinchado), estipe (sección cilíndrica situada debajo de la vesícula) y célula pie (sección final, a veces separada por un septo, que une el conidióforo con el micelio). Sobre la vesícula se disponen las células conidiógenas, denominadas habitualmente fiálides (Abarca, 2000).



**Figura 2.** *Aspergillus terreus*. **2a.** *Aspergillus terreus* en PDA. **2b.** *Aspergillus terreus* (40x).

### *Penicillium* sp

#### Características culturales

Colonia en PDA de lento desarrollo, de color verde claro, con la periferia de color blanca, textura aterciopelada. En SDA, colonias de color gris azulado, con textura pulverulenta. No presenta exudados.

#### Morfología

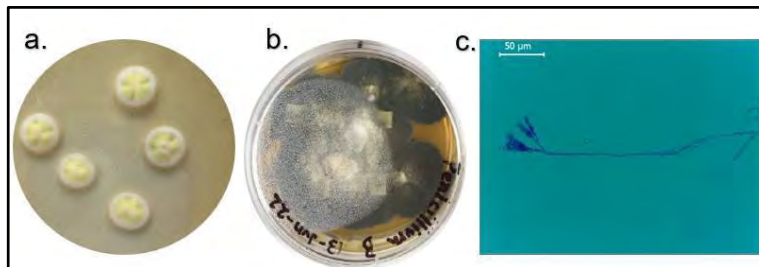
Este género se caracteriza por formar conidios en una estructura ramificada semejante a un pincel que termina en células conidiógenas llamadas fiálides (Carrillo, 2003).

#### Características culturales

Colonia en PDA de lento desarrollo, de color verde claro, con la periferia de color blanca, textura aterciopelada. En SDA, colonias de color gris azulado, con textura pulverulenta. No presenta exudados.

#### Morfología

Este género se caracteriza por formar conidios en una estructura ramificada semejante a un pincel que termina en células conidiógenas llamadas fiálides (Carrillo, 2003).



**Figura 3.** *Penicillium* sp. **3a.** Colonia *Penicillium* sp. en PDA **3b.** Colonia *Penicillium* sp. en SDA. **3c.** *Penicillium* sp. (40x).

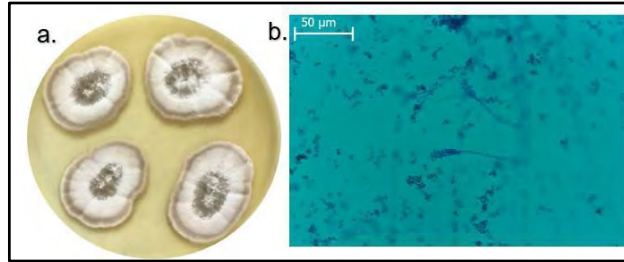
### *Gliocladium* sp

#### Características culturales

Colonia en PDA de lento desarrollo, de color blanca, con periferia de color gris y textura algodonosa.

#### Morfología

Conidióforos hialinos, la parte superior con ramas peniciladas, formando un "cepillo" compacto como en *Penicillium*; conidias (fialosporas) hialinas o de colores brillantes en masa, unicelulares, producidos sucesivamente apicalmente y recolectados en forma de gota, mucilaginosas (Barnett & Hunter, 1987).



**Figura 4.** *Gliocladium* sp. **4a.** Colonia *Gliocladium* sp. en PDA **4b.** *Gliocladium* sp. microscópicamente 40X.

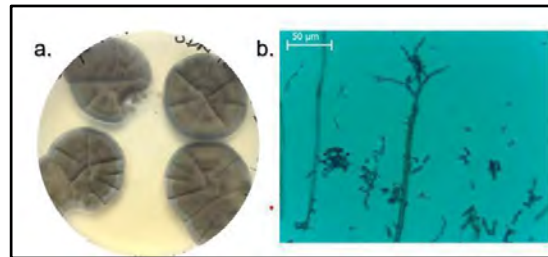
#### *Cladosporium* sp

##### Características culturales

Colonias en SDA son de crecimiento lento, de color marrón oliváceo, como gamuza, textura flocosa, convirtiéndose en polvo debido a la producción de abundantes conidios.

##### Morfología

Las hifas son septadas, en su mayoría ramificadas, lisas, ocasionalmente con paredes algo ásperas y subhialinas, ligeramente pigmentadas a marrón oscuro, con paredes delgadas, pero que a veces se vuelven gruesas con la edad (Bensch *et. al.*, 2012).



**Figura 5.** *Cladosporium* sp. **5a.** *Cladosporium* sp. en PDA. **5b.** *Cladosporium* sp. (40x).

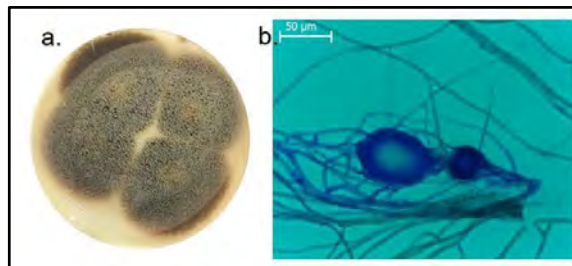
#### *Ampelomyces* sp

##### Características culturales

Colonia en PDA, de rápido desarrollo, color café rojizo, con presencia de exudado.

##### Morfología

Este género se caracteriza por la producción de picnidios, son de color marrón y su forma varía de subglobosa a piriforme (Manjunatha *et. al.*, 2020).



**Figura 6.** *Ampelomyces* sp. **6a.** *Ampelomyces* sp. en PDA. **6b.** *Ampelomyces* sp. (40x).

Los hongos, anteriormente descritos, son descritos por diversos autores con potencial para biocontroladores, tales como Angeli *et. al.* (2012), Clément-Mathieu *et. al.* (2008), Enciso y Orrego (2014), Hijwegen y Buchenauer (1984), Kiss (2003), Kiss *et. al.* (2004), Kiss (2008), siendo este último autor el más destacado, reportando al menos 30 hongos. Del mismo modo, (Angeli *et. al.*, 2012), destaca la importancia de *Ampelomyces*, siendo *Ampelomyces quisqualis* la especie que más se ha trabajado de manera comercial, por ello, (Boyetchko *et. al.*, s.f.) sugieren un protocolo para la formulación de productos a base de este hongo para control biológico, siendo esto una alternativa al control químico.



## Conclusiones

Los hongos aislados a partir de signos de cenicilla polvosa (*O. sicula*) en cultivo de chile son *Aspergillus terreus*, *Penicillium* sp, *Gliocladium* sp, *Cladosporium* sp y *Ampelomyces* sp.

La cepa de *Ampelomyces* sp debe ser evaluada como una cepa nativa para el control de cenicilla bajo un control biológico aumentativo y poder determinar su potencial antagonico; dado que la especie *A. quisqualis* se comercializa como un bioinsumo.

## Agradecimientos

Al Proyecto PAPIIME 212022: "Innovación educativa en la carrera de Ingeniería Agrícola" y al Módulo de Hidroponía del Centro de Enseñanza Agropecuaria de la FES-Cuautitlán.

## Referencia bibliográfica

Abarca, L. (2000). Taxonomía e identificación de especies implicadas en la aspergilosis. *Revista Iberoamericana de Micología*, 17, 79-84. Obtenido de <http://www.reviberoammicol.com/2000-17/S79S84.pdf>

Angeli, D., Puopolo, G., Maurhofer, M., Gessler, C., & Pertot, I. (December de 2012). Is the mycoparasitic activity of *Ampelomyces quisqualis* biocontrol strains related to phylogeny and hydrolytic enzyme production? *Biological Control*, 63(3), 348-358. doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.biocontrol.2012.08.010>

Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1987). *Illustrated genera of imperfect fungi*. USA: Macmillan publishing company.

Boyetchko, S., Pedersen, E., Reddy, M., & Punja, Z. (s.f.). *Formulations of Biopesticides*. doi:10.1385/0-89603-515-8:487

Carrillo, L. (2003). *Los hongos de los alimentos y forrajes: Penicillium*. Obtenido de <http://www.microbiota.com.ar/sites/default/files/0cubierta.pdf>

Clément-Mathieu, G., Chain, F., Marchand, G., & Bélanger, R. R. (2008). Leaf and powdery mildew colonization by glycolipid-producing *Pseudozyma* species. *Fungal Ecology*, 1(1-3), 69-77. doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.funeco.2008.09.003>

Enciso, G., & Orrego, A. (2014). *Control del oídio biológico (Oidium spp.) de las cucurbitáceas por el antagonista Ampelomyces quisqualis*. Paraguay.

[https://www.researchgate.net/publication/331977353\\_Control\\_biologico\\_del\\_oidio\\_Oidium\\_spp\\_de\\_las\\_cucurbitaceas\\_por\\_el\\_antagonista\\_Ampelomyces\\_quisqualis](https://www.researchgate.net/publication/331977353_Control_biologico_del_oidio_Oidium_spp_de_las_cucurbitaceas_por_el_antagonista_Ampelomyces_quisqualis)

Hijwegen, T., & Buchenauer, H. (1984). Isolation and identification of hyperparasitic fungi associated with Erythaceae. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 90, 79-84. doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/BF01999956>

INAFED. (s.f.). *Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México: Cuautitlán*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15024a.html>

Kiss, L. (2003). A review of fungal antagonists of powdery mildews and their potential as biocontrol agents. *Pest Manag Sci*, 475-483. doi:10.1002/ps.689

Kiss, L. (2008). Intracellular mycoparasites in action: Interactions between powdery mildew fungi and *Ampelomyces*. *British Mycological Society Symposia Series*, 27, 37-52. doi:[https://doi.org/10.1016/S0275-0287\(08\)80045-8](https://doi.org/10.1016/S0275-0287(08)80045-8)

Kiss, L., Russell, J. C., Szentiványi, O., Xu, X., & Jeffries, P. (2004). Biology and biocontrol potential of *Ampelomyces* mycoparasites, natural antagonists of powdery mildew fungi. *Biocontrol Science and Technology*, 14(7), 635-651. doi:<https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1080/09583150410001683600>

Manjunatha, L., Singh, S., Ravikumara, B. M., Reddy, G. N., & Senthil. (2020). *Beneficial Microbes in Agro-Ecology*. Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823414-3.00044-7>

Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage*. Boston. doi:[https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-0-387-92207-2\\_5](https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/978-0-387-92207-2_5)

SIAP. (2021). *Panorama Agroalimentario 2021*. México. Obtenido de <https://www.gob.mx/siap/documentos/panorama-agroalimentario-2021?idiom=es>

## DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE CONTROL DE MOHO GRIS (*Botrytis cinerea* PERS.) EN FRESA

Daniela Pichardo-Torres <sup>1\*</sup>, Marcos Espadas-Reséndiz <sup>1</sup>, Jonathan Alfredo Fernández-Mendiola <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM.

Autor para correspondencia: [42 006 886 6@c u aut itl an. u nam. mx](mailto:420068866@cuautitlan.unam.mx)

**Palabras clave.** Diagnostico, *Botrytis*, Fresa

### Introducción

La fresa (*Fragaria spp.*) es una fruta ampliamente producida a nivel mundial en donde México forma parte de los países con mayor producción, en el que gran porcentaje es dedicado al mercado de exportación. México ocupa el tercer lugar a nivel mundial con un promedio de 639 mil toneladas en el periodo del 2016 a 2020, con un valor en las exportaciones de 784 mdd en el periodo comprendido del 2017- 2021 (SADER, 2022). Sin embargo, existen factores que ponen en riesgo su producción, tal es el caso de la enfermedad fungosa del “moho gris” causado por el hongo *Botrytis cinerea P.*; patógeno cosmopolita que provoca grandes pérdidas en una gran diversidad de cultivos, considerada una de las enfermedades más destructivas para el cultivo de fresa tanto en la fase de campo como en postcosecha.

El “moho gris” es una de las enfermedades más destructivas en frutos de fresa en condiciones de campo, causando pérdidas estimadas alrededor del 30 % del total de la producción y, entre un 40 % a 50 %, en condiciones de alta humedad (Zhang *et al.*, 2007). *Botrytis cinerea P.* puede desarrollarse a temperaturas de refrigeración poniendo también en peligro a los cultivos en el periodo postcosecha.

### Objetivo

El presente trabajo tiene la finalidad de identificar el agente causal de la enfermedad moho gris en fresa y proponer métodos de control.

### Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, en el Laboratorio de Fitopatología.

Colecta de muestras

La toma de muestras se realizó a partir de frutos de fresa comercializados en un mercado local.

Preparación de medios de cultivo

Se utilizó el medio de cultivo PDA (Papa Dextrosa Agar) con antibiótico cloranfenicol.

Aislamiento

Se utilizó la técnica de Cámara húmeda descrita en (Cuervo *et al.*, s.f.) para inducir la aparición del signo en los frutos, posteriormente pasados 3 días hubo presencia de micelio y esporulación. Posteriormente del crecimiento de micelio presente en los frutos se realizó la siembra en cajas de Petri con medio de cultivo (PDA), para posteriormente purificar la cepa y obtener una cepa pura. La cual se dejó crecer a temperatura ambiente, en condiciones de luz natural.

Identificación

Para la identificación morfológica del patógeno se utilizó la técnica descrita en (Cuervo *et al.*, s.f.) para microcultivo en 24, 48, 72, 96 y 120 horas para obtener preparaciones permanentes, para posteriormente caracterizar al hongo siguiendo la clave de identificación reportada por Mordue, 1988; y comparando los resultados macroscópicos y microscópicos obtenidos con otros autores.

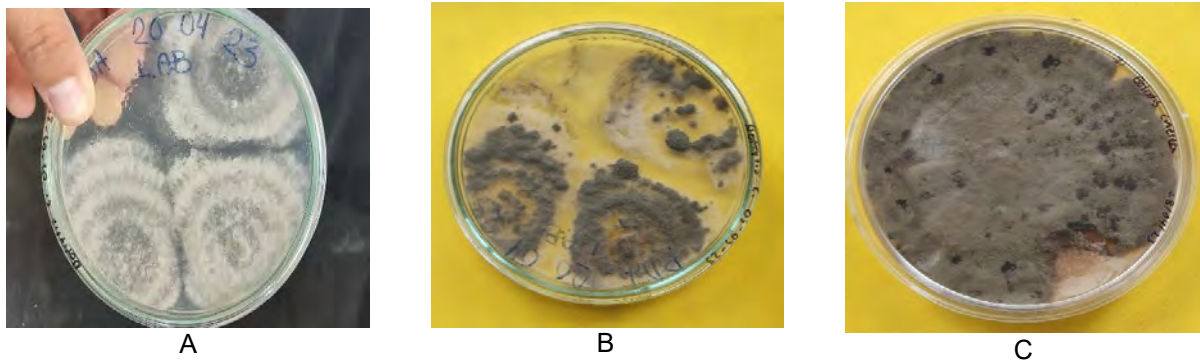
Inoculación

Inicialmente para cuantificar la concentración de inóculo se utilizó una cámara Neubauer con la cual se hicieron conteos de esporas. La concentración utilizada fue de 2.0 X 10<sup>5</sup> esporas mL<sup>-1</sup> utilizada anteriormente por Álvarez, 2012.

Con la ayuda de un aspersor se inocularon 3 plantas de fresa var. Monterrey sanas, dirigiendo la aspersión principalmente en flores y frutos, colocándolas en condiciones de alta humedad.

## Resultados y discusión

Macroscópicamente se formaron colonias de crecimiento moderado, como se muestra en la Figura 1 primeramente, las colonias son blancas o hialinas que después se tornan gris-pardo en la etapa de esporulación. Las cuales, si presentan un tipo de coloración encontrada en trabajos como el de Isaza *et al.*, 2019 mostrados en la Figura 2; Sin embargo, los patrones de crecimiento de las colonias son distintos.



**Figura 1.** Colonias de *Botrytis cinérea* obtenidas en medio PDA.

*Nota.* De izquierda a derecha se observa A una colonia joven, B y C Colonias en etapa de esporulación.



**Figura 2.** Colonias de *Botrytis cinérea* obtenidas en medio PDA obtenidas por Isaza *et al.*, 2019.

Las características microscópicas se presentan en la Cuadro 1 y comparando los resultados obtenidos por Terrones *et al.*, 2020 y Mordue, 1988 los valores se encuentran dentro del rango de los propios del agente causal de la enfermedad moho gris en fresa (*Botrytis cinerea* P.).

**Cuadro 1.** Descripción y comparación microscópica obtenida.

Autor	Conidios	Conidióforos
<b>Resultados obtenidos</b>	Unicelulares, hialinos, elipsoidales con un hilio ligeramente protuberante (9.3 $\mu$ x 6.35 $\mu$ )	16.3 $\mu$ de ancho y largo mayor o igual a 2 mm ramificados
<b>Terrones <i>et al.</i>, 2020</b>	Conidios elípticos, redondeados, unicelulares, hialinos, (10.4 $\mu$ x 7.2 $\mu$ ).	8-17 $\mu$ de ancho y largo mayor o igual a 1.6mm, ramificados
<b>Mordue, 1988</b>	Conidios elipsoidales u ovoides, a menudo con un hilio ligeramente protuberante; incoloro a marrón pálido, suave principalmente (8-14 $\mu$ x 6-9 $\mu$ )	2 mm o más de largo, en su mayoría de 16 a 30 $\mu$ de ancho, a menudo con un estípote y una cabeza de ramas bastante abierta.



**Figura 3.** Conidios y conidióforos de *Botrytis cinérea* vistos a 40X. *Nota.* De izquierda a derecha se observa, F conidios de *Botrytis cinerea* vistos a 40x y G Conidióforos a 40x.

#### Reaislamiento

Las plantas presentaron síntomas a los 5 días de inoculadas, por lo que se realizó un reaslamiento por partes vegetales en medio PDA, debido a la presencia de los síntomas de necrosis en cáliz (Figura 4) y se metió a incubadora, las características de la colonia obtenida coincidieron con las del primer aislamiento.



**Figura 4.** Caliz con necrosis

#### Propuesta de control integral

Como una propuesta de control integral para el fitopatógeno *Botrytis cinerea* P. se propone llevar a cabo como medidas de prevención desinfectar materiales de trabajo y de cosecha, así como manejar densidades de población que eviten el emboscamiento y poca ventilación para evitar condiciones que favorezcan el desarrollo del hongo siendo la temperatura óptima entre 15–20 °C y humedad relativa sobre el 90%, por al menos 4 horas (Latorre, 2004), aunado a esto el uso de riego por goteo que permita focalizar el agua evitando acumulación de humedad en el follaje (France, 2013), previniendo así la diseminación del patógeno.

De igual manera se recomienda la exclusión de material propagativo susceptible al hongo, sin embargo aun no se cuenta con variedades de fresa completamente resistentes a *Botrytis cinerea*, por lo cual se propone el uso de material propagativo con menor incidencia por ejemplo las variedades San Andreas o 'Florida Elyana' (EMCO, 2018); (Eurosemillas, 2019) o en su defecto el uso de variedades que no produzcan follaje excesivo (Grupo Fragaria, 2021) con el propósito de evitar las condiciones que favorezcan el desarrollo del hongo, previniendo así en el ciclo primario la diseminación del patógeno.

La erradicación de plantas, tejidos y frutos enfermos, viejos o muertos, así como retirar los restos de poda para evitar la diseminación en el ciclo secundario (France, 2013).

En cuanto al principio de protección se recomienda la modificación de ambiente por medio de agricultura protegida, por ejemplo, el uso de invernaderos, micro y macro túneles; el uso de acolchado evita la aparición de *Botrytis cinerea* tanto en el ciclo primario como en el ciclo secundario ya que el follaje no está en contacto directo con el suelo, ya que en este se pueden presentar esclerocios, que son estructuras de resistencia del patógeno (Grupo Fragaria, 2021).

La fresa es una fruta extremadamente sensible al daño; así que se debe minimizar el manejo físico para reducir las lesiones en la fruta durante la cosecha y el empaque (Koike y Bolda, 2016). Es necesario almacenar y mantener estas temperaturas bajas para retrasar el crecimiento del moho gris y la respiración de la fruta.

Es importante tener en cuenta los principios biológicos y aprovechar los mecanismos de acción con los que cuentan como una forma de control biológico los cuales se muestran en la Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Principios biológicos contra la enfermedad de moho gris causada por *Botrytis cinerea* P. en fresa.

Especie	Mecanismo de acción	Fuente
<i>Bacillus subtilis</i> (antifungicos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antibiótico</li> <li>• Inducción de desarrollo y defensa de las plantas</li> </ul>	SENASICA, (2021) Y Vázquez, (2020).
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antibiótico</li> <li>• Competencia</li> </ul>	(Hamadache <i>et al.</i> , 2018)
<i>Gliocladium roseum</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia</li> <li>• Postcosecha</li> <li>• Competencia</li> </ul>	Chaves y Wang, (2004)
<i>Trichoderma harzianum</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micoparasitismo</li> <li>• Antibiosis</li> </ul>	Memenza, (2019)

El control químico por medio de fungicidas sigue siendo el medio principal para el control del moho gris en la producción convencional de la fresa sin embargo este debe ser cuidadoso y estratégico debido a que *Botrytis cinerea* P. destaca por volverse resistente a los fungicidas, a nivel global, se han confirmado cepas de moho gris en la fresa resistentes a casi todos los fungicidas con modos de acción de sitio-único (Pritts, 2002). Por lo que la aplicación de fungicidas debe incluir rotaciones y mezclas de productos con distintos modos de acción, por lo que en la Figura 4 se proponen el uso de cinco diferentes fungicidas.

CICLO PRIMARIO												CICLO SECUNDARIO								
FUNGICIDA	GRUPO FRAC	REGISTRO COFEPRIS	USO	D	I	Pre	P	I	C	S	S	D	I	Pre	P	I	C	S	S	
CAPTAN 50 WP	M04	(RSCO-FUN G-0306-008-002-050)	Preventivo y curativo			x		x				x								x
IPRODIONE	E3	(RSCO-FUN G-0320-001-002-050)	Preventivo			x														
THIRAM	M03	(RSCO-FUN G-0340-322-008-043)	Preventivo y curativo			x														x
PRIMETANIL + DIFENOCON AZOL	D1 G1	(RSCO-MEZ C-FUNG-030 1G-0375-X00 30-064-45.5)	Preventivo y curativo			x		x				x	x	x						x
ANILAZINA	M08	(RSCO-FUN G-0301-004-002-050)	Preventivo			x														

**Figura 4.** Control químico contra la enfermedad de moho gris causada por *Botrytis cinerea* P. en fresa.

*Nota.* Elaboración propia con información de: (COFEPRIS, 2023) y (FRAC, 2022).

### Conclusiones

Debido a las características del patógeno se considera que el control se debe llevar a cabo de manera integral, combinando un manejo agronómico adecuado implementando controles culturales, mecánicos, físicos y biológicos. Dejando como última instancia el control químico debido a la gran capacidad de crear resistencia a los fungicidas y en su debido caso se hace una propuesta de rotación.

### Referencias bibliográficas

Cuervo Usán Y., M. Espadas Reséndiz y G. A. Zita Padilla. (s/f) Fitopatología (Manual de Prácticas de Ingeniería Agrícola). Universidad Nacional Autónoma de México.



Isaza, L., P. Zuluaga y M.L. Marulanda (2019). Diversidad morfológica, patógena y genética de *Botrytis cinerea* Pers. en cultivos de mora en Colombia. Revista Brasileira de Fruticultura. DOI:10.1590/0100-29452019490

Mordue (CMI). (1988). Descripciones de hongos y bacterias patógenos No. 451. Mycopathologia. <https://doi.org/10.1007/BF00436816>

Pritts, M. (2002). Growing strawberries, healthy communities, strong economies and clean environments: what is the role of the researcher? Acta Hort.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). ¿Qué quiere la niña fresa? México y su producción nacional. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-quiere-la-nina-fresa> mexico-y-su-produccion-nacional

Terrones, J., D. Nieto, C. Nava, D. Téliz, R. García, M. R. Vallejo y P. Sánchez. (2020). *Botrytis cinérea* causante del moho gris en frutos de zarzamora en México. Revista mexicana de fitopatología.

Zhang, H., I. Wang, Y. Dong, S. Jiang, J. Cao y R. Meng. (2007). Postharvest biological control of gray mold decay of strawberry with *Rhodotorula glutinis*. Biol. Control.

## CAMBIOS EN LA DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA DE ESPECIES DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE

Teresa Alfaro-Reyna<sup>1</sup>, Yesenia Marlet Pacheco-Cruz<sup>2</sup>, Carlos Alberto Aguirre-Gutierrez<sup>1</sup>, Josué Delgado-Balbuena<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>CENID Agricultura Familiar, INIFAP; <sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo.

\*Autor para correspondencia: [delgado.josue@inifap.gob.mx](mailto:delgado.josue@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Cambio de especies, cambio de uso de suelo, área basal, densidad.

### Introducción

La Tierra, tal como la conocemos, ha experimentado transformaciones drásticas a causa de la influencia humana. Estas transformaciones han contribuido al cambio climático global, provocando la pérdida y fragmentación de hábitats a nivel mundial, así como la reducción de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos esenciales (Theobald *et al.*, 2020). Estos cambios propiciarán alteraciones en los regímenes de precipitación y temperatura a nivel global; por ejemplo, los pronósticos para las zonas áridas de México indican una disminución de entre un 10-20% en la precipitación anual y un aumento de hasta 3 °C en la temperatura para finales de siglo (Cavazos y De Grau, 2014). Esto podría conducir a cambios significativos en la distribución y abundancia de las especies debido a la migración y a los efectos negativos en los procesos de establecimiento, crecimiento y reproducción de poblaciones a raíz de alteraciones en el hábitat. Particularmente, los ecosistemas áridos y semiáridos se consideran vulnerables, ya que su desarrollo está mayormente limitado por la disponibilidad de agua (Reynolds *et al.*, 2004). Esto da lugar a una alta estacionalidad en la actividad de las plantas, ya que la precipitación se concentra principalmente entre los meses de junio a septiembre, con menos del 20% de la precipitación ocurriendo durante el resto del año.

Aunque las especies que habitan las zonas áridas del desierto Chihuahuense han desarrollado adaptaciones a las fuertes fluctuaciones climáticas, también es probable que muchas de ellas se encuentren en su límite fisiológico máximo (Loarie *et al.*, 2009, Brito *et al.*, 2014). Por lo que es probable que cambios más extremos conlleven a modificaciones en la diversidad y densidad de estas especies. Por otra parte, en los últimos años se ha reportado a nivel global un aumento de las especies arbustivas, no siendo la excepción el desierto Chihuahuense, principalmente en áreas de agricultura que han sido abandonadas y zonas con alto impacto por efectos del ganado doméstico. Estos cambios podrían ser el resultado de una combinación de factores, que incluyen el cambio climático, la introducción de especies invasoras y las actividades humanas en la región y pueden tener impactos negativos en los ecosistemas locales, como la alteración del ciclo de nutrientes, ciclo de carbono y agua. Por esta razón, es de vital importancia identificar estos cambios para comprender cómo impactarán en el ecosistema del desierto Chihuahuense a largo plazo.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios en la estructura y diversidad de las especies arbustivas y arbóreas del desierto chihuahuense utilizando los datos del Inventario Nacional Forestal y de Suelos del periodo 2004-2022.

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

La zona de estudio abarca los ecosistemas áridos y semiáridos del centro-norte de México, a lo largo del Desierto Chihuahuense limitando al sur de Estados Unidos de Norteamérica, incluidos los ecosistemas de pastizal y matorral. El DC cuenta con una extensión aproximada de 507,000 km<sup>2</sup> y es considerado el más grande de Norteamérica, se extiende desde el centro de México hasta el sur de Estados Unidos. Delimitado por la Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental. Esta condición es la causa principal de las condiciones desérticas en la zona debido a que estas cordilleras evitan que las corrientes húmedas del golfo de México y del Océano Pacífico precipiten en forma de lluvia.

El intervalo altitudinal varía desde los 800 m, hasta los 2,500 m; las temperaturas, con valores promedio de 13°C en enero y de 36°C en junio, pudiendo alcanzar los 50°C en los días más calurosos. La precipitación pluvial anual es menor a 350mm, contando con 6 a 9 meses secos y lluvias ocasionales en los meses de enero, febrero y marzo.

#### Inventario Nacional Forestal y de Suelos

Este estudio se basó en la información obtenida del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México, utilizando datos de las tres últimas remediciones, realizadas en 2004-2007, 2009-2014 y en 2015-2020, respectivamente. Las tres mediciones se realizaron en los mismos conglomerados y, por lo tanto, proporcionan un verdadero remuestreo de las mismas unidades de muestreo. Se seleccionaron las siguientes variables: altitud (msnm), características de las especies como familia, género, especie, diámetro a 1.5 m, altura total (m), área basal (m<sup>2</sup>), condición (vivo, muerto), coordenadas geográficas; historial de perturbaciones, incluidos incendios forestales, plagas y enfermedades, pastoreo, extracción de madera, eventos extremos. Se seleccionaron únicamente los conglomerados que se ubicaban dentro del área del desierto Chihuahuense y que hubiesen sido medidas en al menos dos de los inventarios, excluyendo los registros clasificados como "null" o no identificados a nivel de familia.

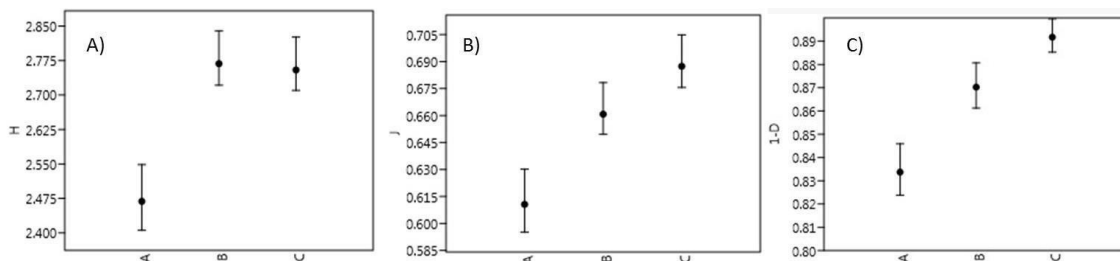
Se calculó el índice de diversidad de Shannon para identificar cambios en la diversidad de especies y también se calculó el índice de equitatividad, el cual mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (va de 0 a 1). Además, se calculó el índice de diversidad de Simpson o de dominancia (D), el cual es un indicador de la riqueza de organismos; mientras más alto es el índice, hay más probabilidad de que una especie domine en la comunidad.

#### Análisis de datos

Para evaluar los cambios en la abundancia relativa de las especies, se calcularon las diferencias entre los incrementos del área basal de cada conglomerado, dividida por el período de tiempo, se realizó un análisis de prueba de comparación de medias ( $p < 0.05$ ). Para analizar los cambios en la composición y diversidad, se aplicaron los índices de Shannon, índice de Simpson e índice de equitatividad.

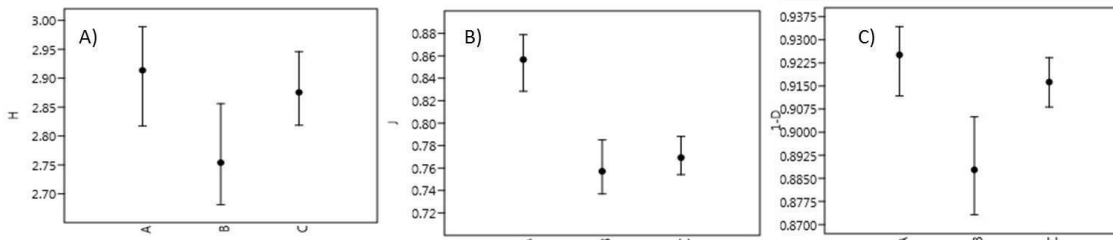
## Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados del índice de diversidad de Shannon, la diversidad de especies en el matorral desértico aumento a través del tiempo; el índice fue menor en el primer periodo del Inventario Nacional Forestal, mientras que en los dos últimos periodos del inventario se observó el valor más alto para este índice (Figura 1a). El índice de equitatividad fue menor en el primer muestro, mientras que el segundo muestreo y el tercero tienen valores más altos (Figura 1b). En concordancia, el índice de Simpson fue ligeramente menor en el primer muestreo que en el segundo y el tercero (Figura 1c). Estos índices se corresponden y nos indican que durante el primer muestreo hubo una menor equitatividad y número de especies, mientras que, en el segundo y tercer muestreo, estos fueron más equitativos; es decir, hubo una representación más heterogénea de las especies con mayor dominancia de algunas de ellas.



**Figura 1.** A) Índice de Shannon B) índice de equitatividad y C) índice de Simpson de los periodos de medición 2004-2009, 2006-2014 y 2015-2020, representados con la letra A, B y C, respectivamente del Matorral Desértico.

En el pastizal el índice de diversidad de Shannon varió ligeramente a través del tiempo; el índice fue mayor en el primer y último periodo del Inventario Nacional Forestal (Figura 2a). El índice de equitatividad fue mayor en el primer periodo de muestreo, mientras que el segundo y el tercer muestreo tuvieron el valor más bajo (Figura 2b). En concordancia, el índice de Simpson fue ligeramente menor en el segundo muestreo que en el primero y el tercero (Figura 2c).



**Figura 2.** A) Índice de Shannon B) índice de equitatividad y C) índice de Simpson de los periodos de medición 2004-2009, 2006-2014 y 2015-2020, representados con la letra A, B y C, respectivamente del Pastizal.

La densidad y el área basal por hectárea variaron para ambos ecosistemas, en el matorral desértico aumentó el número de individuos en las dos últimas mediciones con respecto de la primera, con un promedio de 18 individuos más por hectárea; sin embargo, estos cambios no son estadísticamente significativos, excepto para la comparación de la medición 2006-2014 y 2015-2020 (Cuadro 1). Esto fue similar al área basal, la cual fue mayor en el último periodo. En contraste, el ecosistema de pastizal mostró una menor densidad en la segunda medición, pero la tercera medición fue mayor que la primera y segunda, el mismo comportamiento se presenta para el área basal donde esta disminuye con respecto a la primera medición, pero la segunda también fue menor que la primera medición (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Promedio de la densidad (no de árboles ha<sup>-1</sup>) y área basal (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>) por tipo de vegetación. El símbolo “\*” indica que las diferencias son estadísticamente significativas al 95%.

Medición	2004-2009	2006-2014	2015-2020
<b>Densidad (no. Individuos ha<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Matorral Desértico</b>	49.79	63.08	89.15 *
<b>Pastizal</b>	143.33 *	96.65 *	160.81 *
<b>Área basal (m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Matorral Desértico</b>	2.46	3.70	3.90 *
<b>Pastizal</b>	4.16 *	2.35 *	3.30 *

Los resultados coinciden con la hipótesis del incremento e invasión de arbustivas en las zonas áridas a nivel mundial. Los mayores incrementos en área basal y densidad de individuos se observaron en el ecosistema de matorral; mientras que al menos en área basal, hubo una disminución en el pastizal. Sin embargo, aún es necesario realizar estudios más detallados sobre las causas ambientales y antropogénicas de estos cambios en la composición de especies para poder realizar estimaciones a futuro y establecer planes de manejo que pueden revertir algunos de los cambios o disminuir sus efectos. De manera que los pastizales puedan seguir manteniendo su productividad en seguir sustentando la producción pecuaria a la cual se destinan mayoritariamente y los ingresos de las personas que se dedican a tal actividad.

Es prudente también considerar que los cambios observados en el presente estudio también podrían obedecer al número de conglomerados medidos en los diferentes años, ya que existieron algunos conglomerados faltantes en alguna de las tres mediciones. Esto pudo generar que se observara una disminución significativa en el número de especies, debido a que probablemente algunas especies solo estaban presentes en los conglomerados no remuestreados en alguno de los periodos del inventario.

## Conclusiones

El matorral desértico muestra cambios en diversidad y cambios en la densidad de especies para los últimos 10 años del inventario nacional forestal, mientras que el pastizal se ha visto reducido principalmente en el promedio de área basal, estos cambios se corresponden con lo reportado por la literatura, donde se menciona un aumento en la densidad de las arbustivas y la invasión áreas de pastizal natural.

### **Fuente financiadora**

CONAHCYT CF 320641

### **Referencias bibliográficas**

- Balbontín, C., Cruz, C. O., Paz, F., & Etchevers, J. D. (2015). Soil Carbon Sequestration in Different Ecoregions of Mexico. *Soil Carbon Sequestration and the Greenhouse Effect*, 71–96. <https://doi.org/10.2136/SSASPECPUB57.2ED.C5>
- Caracciolo, D., Istanbuluoglu, E., Noto, L. V., & Collins, S. L. (2016). Mechanisms of shrubencroachment into Northern Chihuahuan Desert grasslands and impacts of climate change investigated using a cellular automata model. *Advances in water resources*, 91, 46-62.
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L., & Borja-de la Rosa, A. (2011). ECOLOGÍA DE LA VEGETACIÓN DEL DESIERTO CHIHUAHUENSE. *RevistaChapingoSerie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, XVII(Especial), 111  
[130.https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102](https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102)
- Harvey, B. J., & Enright, N. J. (2022). Climate change and altered fire regimes: impacts on plant populations, species, and ecosystems in both hemispheres. 223, 699–709. <https://doi.org/10.1007/s11258-022-01248-3>
- Theobald, D. M., Kennedy, C., Chen, B., Oakleaf, J., Baruch-Mordo, S., & Kiesecker, J. (2020). Earth transformed: detailed mapping of global human modification from 1990 to 2017. *Earth System Science Data*, 12(3), 1953-1972.



## EFFECTO DEL SUSTRATO EN LA SOBREVIVENCIA DE DOS ESPECIES DE ORQUÍDEAS SILVESTRES ENCONTRADAS EN CAFETALES DEL S.E TEOCELO

Karen Yoali Gutiérrez-Hernández<sup>1</sup>, Eliezer Cocoltzi-Vásquez<sup>1</sup>, Edgar Couttolenc-Brenis<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Biología, UV; <sup>2\*</sup>CIRGOC C.E. Cotaxtla, INIFAP

\*Autor para correspondencia: [couttolenc.edgar@inifap.gob.mx](mailto:couttolenc.edgar@inifap.gob.mx)

**Palabras claves:** orquídeas, sustratos, sobrevivencia

### Introducción

*Nidema boothii* (Lindl.) y *Maxillaria densa* (Lindl.) son orquídeas epífitas que se distribuyen en Centroamérica. La primera desde México hasta Panamá, Cuba y Surinam. Habita en los bosques húmedos tropicales a una altitud de 1,500 msnm. En México, es particularmente abundante en el estado de Veracruz. La planta consta de un rizoma trepador corto, con pseudobulbos elipsoidecilíndricos, algo comprimidos, de 2.5-6 cm de largo y 1.5-2.5 cm de ancho, con 1 o 2 hojas en el ápice. Presenta hojas lineares (lanceoladas) de 10-20 cm de largo, aproximadamente y de 1 cm de ancho con lámina delgada. Las flores son blanquecinas, los sépalos y pétalos son lanceolados, acuminados; los sépalos miden aproximadamente 15-20 mm y los pétalos 13 mm de largo y 3-4 mm de ancho (García-Cruz *et al.*, 2003). *Maxillaria densa* (Lindl.) se distribuye en México, Belice, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, así como Colombia. Habita en los árboles en bosques húmedos en elevaciones más bajas o como terrestres en los bosques de pino en elevaciones de hasta a 2500 metros. Presenta pseudobulbos oblongo-elípticos a ovado-oblongos envueltos por 2 vainas y una sola hoja apical, única, lineal-oblonga. Florece en el invierno y la primavera en una corta y única inflorescencia con flores fragantes de 2 cm de longitud que surgen de un pseudobulbo maduro, se producen en grupos (Jiménez M. *et al.*, 1998).

Ambas orquídeas han sido reportadas en zonas cafetaleras y conociendo que las epífitas son un elemento importante de la diversidad de los sistemas cafetaleros y esenciales en la estructura y dinámica de la fauna asociada, en diversos trabajos se ha intentado incentivar el manejo, comercialización y conservación de estos grupos de plantas (García-Franco, J., 2018). Un aspecto que considerar son los sustratos y mezclas óptimas ya que juegan un papel importante en la conservación, cuidado y propagación de las orquídeas pues se sabe que requieren sustratos con alta retención de humedad, drenaje, aireación, aporte de nutrientes e intercambio iónico lo que disminuye la producción de patógenos que afectan el desarrollo vegetal (Bello-Castañeda *et al.* 2022). Los sustratos utilizados para la producción de orquídeas pueden ser elaborados con diversos materiales, sin embargo, se caracterizan por ser inertes, nutritivos y enriquecidos en materia orgánica (Hinsley *et al.* 2018). Debido a la importancia de estas orquídeas en las zonas cafetaleras se considera importante el estudio de sustratos adecuados para su sobrevivencia.

### Objetivo

Evaluar el efecto de tres sustratos en la sobrevivencia de propágulos de *N. boothii* y *M. densa*.

### Materiales y métodos

El experimento se estableció en las instalaciones del S.E. Teocelo perteneciente al INIFA, ubicado en el municipio de Teocelo, Veracruz, con latitud norte de 19°23'34.1" y longitud oeste 97°00'03.5", a 1,250 m.s.n.m. La precipitación pluvial anual es de 2,063 mm, la temperatura promedio de 20°C, con una máxima media de 25°C y mínima media de 14°C; los suelos son derivados de cenizas volcánicas de tipo andosol. El material vegetal se obtuvo de los ejemplares de *N. boothii* y *M. densa* que se encuentran en la colección de orquídeas del S.E. Teocelo. Se seleccionaron de forma sistemática 90 propágulos de cada especie, mediante la técnica de separación de pseudobulbos, se tomó en cuenta la presencia de hojas y raíces saludables, sin presencia de hongos, enfermedades u hojas marchitas, coloración verde en las hojas y pseudobulbos completamente desarrollados.

Se trasplantaron 2 propágulos por maceta de 6 pulgadas de diámetro, teniendo un total de 15 macetas por sustrato, los sustratos que se utilizaron en el diseño experimental son los siguientes: corteza de árbol (S1), mezcla corteza de árbol-carbón vegetal (1:1) (S2) y fibra de coco (S3).

El experimento se realizó bajo condiciones semicontroladas en una casa sombra, con un atomizador se les aplicaron riegos tres veces por semana durante 4 meses (dic 2022- mar 2023). Se colocaron en una mesa de trabajo, se hizo un diseño en bloques para descartar el efecto de la incidencia lumínica de los rayos del sol, en cada bloque se colocaron tres repeticiones de cada sustrato con dos propágulos por maseta (Figura 1). Para evaluar la sobrevivencia se contabilizó el número de propágulos vivos y muertos, con lo que se calculó la frecuencia relativa. Los datos se analizaron mediante una tabla de contingencia con el estadístico Chi cuadrada utilizando el paquete informático InfoStat© versión estudiantil 2020.



Figura 1. Distribución de los tratamientos.



Figura 2. Ejemplares de *M. densa* (a) y *N. boothii* (b)

## Resultados y discusión

Al finalizar los 4 meses se registró el número de plantas que sobrevivieron en el experimento según el sustrato, se obtuvo lo siguiente: *M. densa* contó con 100% de sobrevivencia en los tres sustratos, por su parte *N. boothii* tuvo 90% de sobrevivencia en S1, 63.4% en S2 y 40% en S4.

Cuadro 1. Frecuencias relativas de la sobrevivencia en *N. boothii*, según el sustrato

Tratamiento	Muerta	Viva	Total
S1	0.10	0.90	1.00
S2	0.37	0.63	1.00
S3	0.60	0.40	1.00
<i>Total</i>	0.36	0.64	1.00

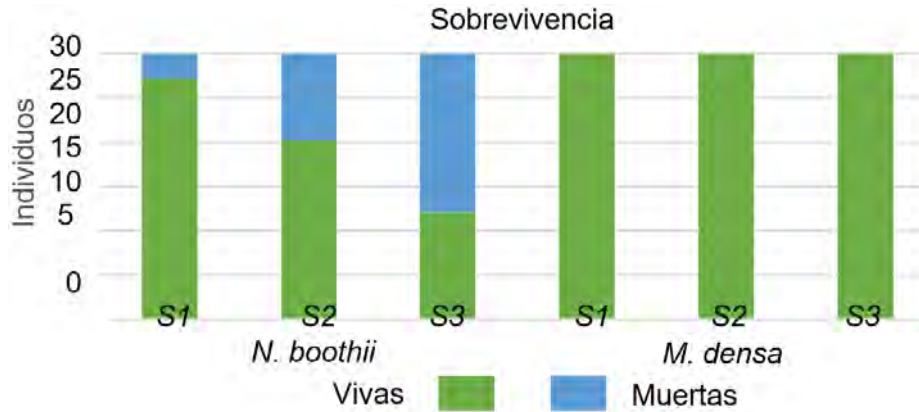


Figura 3. Número de individuos vivos y muertos por especie.



Figura 4. Individuos de *N. boothii* con el tratamiento S2, a la izquierda y *M. densa* con tratamiento S3, a la derecha.

La prueba de Chi cuadrada mostró que existían diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) tanto entre especies como entre los sustratos utilizados. *M. densa* no presentó mortalidad lo cual se complementa con la información mencionada por García Franco y Toledo (2008) en su registro de epifitas en 10 cafetales con diferentes sistemas de manejo, donde esta orquídea fue de las más frecuentes y abundantes, probablemente por contar con una mayor habilidad adaptativa lo que facilitaría el manejo y conservación de esta. Por su parte, *N. boothii* presentó diferentes porcentajes de sobrevivencia en los tres tipos de sustratos, siendo el sustrato de corteza de árbol el que cuenta con mayor porcentaje, este sustrato se realizó materiales de la misma zona lo que podría ser un factor importante en la adaptación al mismo, además Bello-Castañeda *et al.* (2022) señala en su análisis de varios trabajos sobre sustratos para la propagación de orquídeas que el uso de corteza de árboles es el que tiene mayor porcentaje de sobrevivencia. *N. boothii* parece ser más selectiva con los sustratos que favorecen su supervivencia, sin embargo, coincide con el trabajo de Bello-Castañeda (2022) donde a través de una revisión sistemática encontró que el sustrato a base de corteza cuenta con los mayores porcentajes de sobrevivencia en la producción de orquídeas.

## Conclusiones

1. *M. densa* no presentó mortalidad en los tres sustratos utilizados, se ha reportado que está presente en varios estudios de orquídeas de zonas cafetaleras donde se desarrolla en múltiples sustratos, por lo que tiene el potencial de fácil manejo para su propagación y conservación.
2. *N. boothii* presentó preferencia por el sustrato de corteza de árboles que se encuentran en la misma zona, lo cual podría indicar que el tipo de sustrato es una limitante para su propagación en condiciones de vivero.

## Agradecimientos

El presente trabajo fue realizado con fondos del proyecto “Conservación de recursos genéticos de Orquídeas” del INIFAP. Se agradece el apoyo brindado por el personal de apoyo del S.E. Teocelo: M.C. Jesús Parroquín Pérez y el Sr. José Benigno Saúl Alarcón López en el establecimiento y mantenimiento de las plantas.

## Referencias bibliográficas

- Bello-Castañeda, N., Coy-Barrera, C., y Pérez, M. M. (2022). Revisión sistemática sobre tipos de sustratos utilizados en la propagación de orquídeas bajo invernadero. *Mutis*, 13(1),1-18. <https://doi.org/10/28715>
- García-Cruz J, Sánchez Saldaña L, Jiménez M. y Solano Gómez R. (2003). Orchidaceae. Tribu Epidendreae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* (119):99-102. García-Franco JG y MT Toledo Aceves. 2008. Epífitas vasculares: bromelias y orquídeas. En: Manson R.H., Hernández-Ortiz V., Gallina S. Y Mehlreter K. Eds. *Agrosistema cafetalero de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación*, 69-82, INECOL, INE-SEMARNAT. México, D.F
- García-Franco, J. (2018). DIVERSIDAD DE ORQUÍDEAS (Orchidaceae) EN AGROECOSISTEMAS CAFETALEROS. *Agro Productividad*, 10(6). Recuperado a partir de <https://mail.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1034>
- Hinsley, A., De Boer, H. J., Fay, M. F., Gale, S. W., Gardiner, L. M., Gunasekara, R. S., Kumar, P., Masters, S., Metusala, D., Roberts, D. L., Veldman, S., Wong, S. Y Phelps, J. (2018). A review of the trade in orchids and its implications for conservation. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 186(4), 435– 455. <https://doi.org/10.1093/botlinnean/box083>
- Jiménez M. R., Sánchez S. L. y García-Cruz J. (1998). Familia Orchidaceae. Tribu Maxillarieae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* (67):25-29.



## RECONOCIMIENTO PARTICIPATIVO DE LA BIODIVERSIDAD ASOCIADA A SISTEMAS SOCIOECOLÓGICOS CAFETALEROS Y SU POTENCIAL AGROFORESTAL EN RINCÓN TONINGO VERACRUZ

Edgar Couttolenc-Brenis<sup>1\*</sup>, Marco Antonio Toral-Juárez<sup>1</sup>, Vinicio Sosa-Fernandez<sup>2</sup>, Rosalío López-Morgado<sup>1</sup> David Emmanuel Gómez-Nuñez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INIFAP, CIRGOC-CE COTAXTLA/S.E. TEOCELO, <sup>2</sup>Instituto de Ecología A.C., Red de Ecología Funcional, <sup>3</sup>Facultad de Biología, Universidad Veracruzana

\*Autor para correspondencia: [couttolenc.edgar@inifap.gob.mx](mailto:couttolenc.edgar@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Grupos Focales, Sistemas Agroforestales, Estrato de Sombreado,

### Introducción

La recopilación del conocimiento local que tienen los productores sobre las especies que se encuentran asociadas a sistemas socioecológicos cafetaleros es fundamental para planificar las intervenciones agroforestales que permitan mejorar el manejo de los cafetales (Esquivel *et al*, 2023). Por lo que, reconocer las especies que podrían estar presentes en las fincas de los productores y evaluar la importancia que tienen para ellos, permite identificar elementos que están presentes en los cafetales con potencial de contribuir a la valorización de este sistema socioecológico. Este reconocimiento deberá de surgir de un proceso participativo en el cual se involucre a los miembros de la comunidad mediante un intercambio de ideas y saberes (Notaro *et al*, 2022). Para lo que se debe de echar mano de metodologías centradas en el productor que permitan la recolección y sistematización de la información que surja de estos intercambios de saberes.

### Objetivos

1. Obtener un listado de especies presentes en las fincas cafetaleras con un enfoque participativo, donde los productores y productoras sean los que determinen la importancia de estas especies en sus cafetales.
2. Seleccionar las especies a ser integradas en el manejo agroforestal de las fincas partiendo de las necesidades y gustos de los productores y productoras.

### Materiales y Métodos

La comunidad de Rincón Toningo se ubica en el municipio de Tlaltetela, Veracruz, a los 19°15'4.90" latitud norte y 96°56'43.03" longitud oeste a una altitud promedio de 1225 m.s.n.m. La temperatura promedio anual es de 20°C y la precipitación anual 2084 mm. Predomina la presencia de cafetales y áreas agrícolas con algunos relictos de bosque mesófilo. El trabajo se realizó con los socios de la cooperativa de cafecultores "Rincón Toningo". Se organizaron a los productores en tres grupos focales (Geilfus, 2009) heterogéneos en género y edad. A continuación se proyectó un catálogo de fotos de los elementos que se han descrito en investigaciones previas en esta región cafetalera (Manson *et al*, 2008; López-Morgado *et al*, 2013). Durante la proyección cada grupo llenó un formato donde se le preguntaba si la especie que se observaba en el catálogo estaba presente en los cafetales de la comunidad. Al finalizar la proyección del catálogo, cada grupo focal seleccionó 10 especies de mayor interés para su integración en el manejo agroforestal de sus fincas, anotando el nombre común de cada especie en una hoja bond carta. En una pared se colocaron las hojas bond de cada equipo y las especies seleccionadas por grupo se clasificaron en forestales, frutales, animales y herbáceas. Por último, se realizó un ranking partiendo del consenso de todos los participantes, ordenando de la especie con mayor preferencia a la de menor preferencia considerando la frecuencia relativa de mención de la especie.  $Frecuencia\ Relativa = (No.\ Mentiones) / (Total\ de\ grupos\ focales)$  y el conocimiento que los participantes tienen sobre los bienes y servicios que pueden proveer.





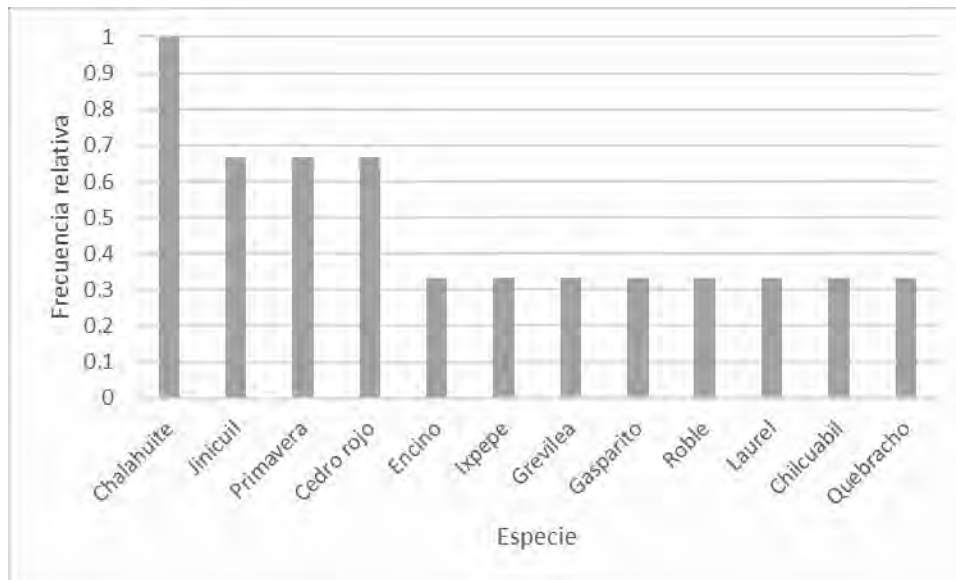
Figura 1. Mosaico fotográfico del taller realizado en Rincón Tongo.

### Resultados y discusión

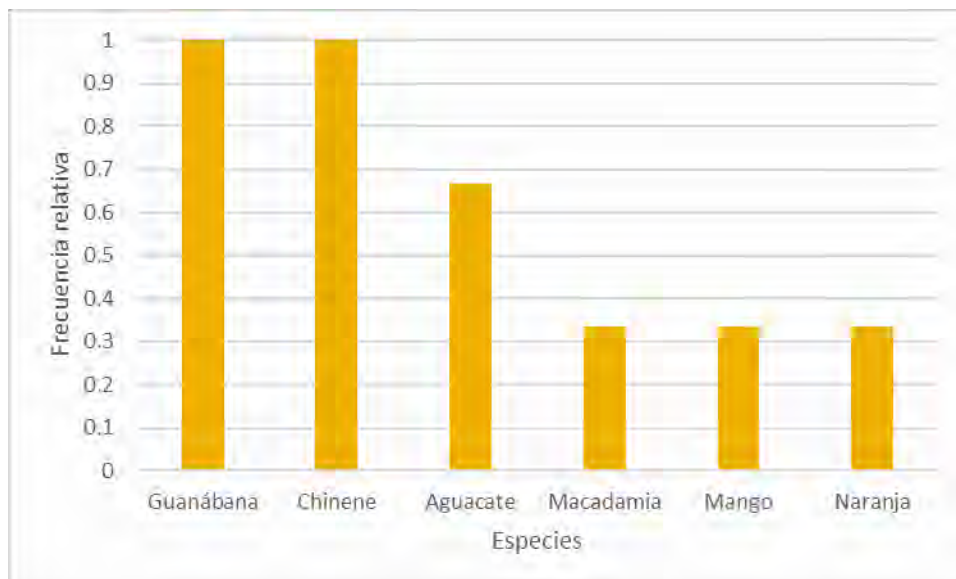
En total asistieron siete productores y siete productoras que se organizaron en tres grupos focales y en los tres, los árboles forestales y frutales fueron las que predominaron en la lista de 10 especies, solo en un grupo de los participantes mostró el interés en las orquídeas para su incorporación en los sistemas agroforestales (Cuadro 1). De las especies forestales destaca el chalahuite (*Inga vera*) que fue mencionado por los tres grupos focales, indicando que esta especie es buena para sombra y para leña. En segundo término, se menciona el jinicuil (*Inga jinicuil*) mencionado por dos de los grupos focales, mencionando su uso como alimento, leña y sombra para café. Estas dos especies ocuparon el primer y segundo lugar del ranking de interés para ser utilizados en el diseño de intervenciones agroforestales. Es importante señalar que estas especies son ampliamente utilizadas como árboles de sombra en la zona centro del estado de Veracruz (López-Morgado *et al.*, 2013). A estas especies le siguen la primavera (*Tabebuia donnell-smithii*), que un grupo focal la ubica como una especie para sombra, y que con potencial para comercializar la madera y el Cedro Rojo (*Cedrela odorata*), el cual no se mencionan usos, pero se sabe de su potencial comercial (Figura 2). En relación a los frutales se tiene el interés de incorporar la guanábana (*Anona muricata*), el Chinene (*Persea schiedeana*) y el Aguacate (*Persea americana*) en el manejo de la sombra (Figura 3).

**Cuadro 1.** Listados priorizados por cada grupo focal en Rincón Tongo, Veracruz.

Grupo 1 (Azul)	Grupo 2 (Naranja)	Grupo 3 (Amarillo)
Chalahuite ( <i>I. vera</i> )	Chalahuite ( <i>I. vera</i> )	Primavera ( <i>T donnell-smithii</i> )
Jinicuil ( <i>I. jinicuil</i> )	Jinicuil ( <i>I. jinicuil</i> )	Encinos ( <i>Quercus</i> sp)
Primavera ( <i>T donnell-smithii</i> )	Ixpepe ( <i>Trema micrantha</i> )	Cedro rojo ( <i>C. odorata</i> )
Roble ( <i>Tabebuia rosea</i> )	Cedro rojo ( <i>C. odorata</i> )	Chalahuite ( <i>I. vera</i> )
Aguacate ( <i>P. americana</i> )	Mango ( <i>Mangifera indica</i> )	Higuera ( <i>Ricinus communis</i> )
Gasparito ( <i>Erythrina</i> sp.)	Aguacate ( <i>P. americana</i> )	Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )
Grevillea ( <i>Grevillea robusta</i> )	Chinene ( <i>P. schiedeana</i> )	Laurel ( <i>Litsea glaucescens</i> )
Guanábana ( <i>A. muricata</i> )	Guanábana ( <i>A. muricata</i> )	Chinene ( <i>P. schiedeana</i> )
Chinene ( <i>P. schiedeana</i> )	Macadamia ( <i>Macadamia tetraphylla</i> )	Guanábana ( <i>A. muricata</i> )
Quebracho ( <i>Diphysa robinoides</i> )	Chicuabil ( <i>Myrsine coriácea</i> )	Orquídea



**Figura 2.** Frecuencia relativa de mención de las especies forestales en los grupos focales Rincón Tongo, Veracruz.



**Figura 3.** Frecuencia relativa de mención de las especies frutales en los grupos focales Rincón Tongo, Veracruz.

### Conclusiones

1. La preferencia por el Chalahuite (*I. vera*) y del Jinicuil (*I. jinicuil*) como sombra en los cafetales está relacionado con el conocimiento que tiene los productores por estas especies sobre los bienes y servicios que pueden proveer.
2. Existe un interés por parte de los participantes de diversificar el estrato de sombreado mediante el establecimiento de frutales y especies maderables, que podrían contribuir a la diversificación productiva de los sistemas socioecológicos cafetaleros.

## Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con fondos del proyecto en el proyecto PRONACE 319068 “Sistemas Socioecológicos Sustentables en Territorios Cafetaleros del Sureste de México. Segunda Fase” financiado por CONAHCYT. Se agradece la participación de las productoras y productores de la cooperativa Rincón Toningo que participan en el programa de Producción para el Bienestar y el apoyo brindado por el Técnico Ing. Eligio Ruiz González.

## Referencias bibliográficas

- Esquivel, M. J., Vilchez-Mendoza, S., Harvey, C. A., Ospina, M. A., Somarriba, E., Deheuvels, O., Ordoñez, J. C. (2023). Patterns of shade plant diversity in four agroforestry systems across Central America: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 13(1), 8538. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35578-7>
- Geilfus, F. (2009). *80 Herramientas para el desarrollo participativo: Diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- López-Morgado, R., Díaz-Padilla, L. C., Salazar-García, J. G., García-Mayoral, L. E., y Guajardo- Panes, R. A. G. (2013). *Árboles nativos en el sombreado de cafetales: Caso de la zona Centro del estado de Veracruz* (1a ed.). Medellín de Bravo, Veracruz: INIFAP.
- Manson, R. H., Hernández-Ortiz, V., Gallina, S., y Mehlreter, K. (2008). *Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: Biodiversidad, manejo y conservación* (1a ed.). Xalapa, Veracruz, Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- Notaro, M., Deheuvels, O., & Gary, C. (2022). Participative design of the spatial and temporal development of improved cocoa agroforestry systems for yield and biodiversity. *European Journal of Agronomy*, 132, 126395. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126395>

## MARCELA F2023: NUEVA VARIEDAD DE TRIGO HARINERO DEL GLUTEN FUERTE PARA EL NOROESTE DE MÉXICO

Gabriela Chávez-Villalba<sup>1\*</sup>, Alberto Borbón-Gracia<sup>1</sup>, Huizar Leonardo Díaz-Ceniceros<sup>1</sup>, Jorge Ivan Alvarado-Padilla<sup>2</sup>, Julio Huerta-Espino<sup>3</sup> y Guillermo Fuentes-Dávila<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>INIFAP. Campo Experimental Norman E. Borlaug, <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de Mexicali-INIFAP.

<sup>3</sup>INIFAP, Campo Experimental Valle de México.

\*Autor para correspondencia: [chavez.gabriela@inifap.gob.mx](mailto:chavez.gabriela@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** calidad industrial, *Triticum aestivum* y rendimiento

### Introducción

En el estado de Sonora se produjeron 2.01 millones de toneladas (MT) de trigo de las cuales 251, 896.30 toneladas fueron del tipo harinero (*Triticum aestivum* L.), en el año 2022 (SIAP, 2022). En esta entidad, se encuentra el valle del Yaqui, lugar de nacimiento de las variedades de trigo, esta región posee un clima muy favorable para la producción de este cereal. La proximidad a la costa proporciona un ambiente primaveral fresco y el ambiente desértico significa una mayor radiación solar, lo que permite obtener altos rendimientos, buen llenado de grano y por lo tanto altos rendimientos harineros. En el 2022, en esta región se sembraron 17, 431.12 hectáreas de trigo harinero, donde predominó la variedad Borlaug 100 con el 89.87% de la superficie. Esta variedad es tolerante a la sequía con buen potencial de rendimiento, de excelente calidad para la industria de la tortilla y para la elaboración de pan semimecanizado, pero es deficiente en la fuerza de gluten (W), (Chávez *et al* 2021), principalmente cuando la variedad se maneja con cuatro riegos de auxilio. La industria harinera del noroeste de México demanda variedades de gluten fuerte, superior a 300 joules, similar a las variedades Ónavas F2009 y Kronstad F2004 (Camacho *et al.*, 2006).

### Objetivo

El objetivo de este trabajo mostrar las diferencias fenotípicas, potencial de rendimiento y calidad industrial de Marcela F2023.

### Materiales y Métodos

Caracterización de la variedad: Marcela F2023 se originó de la cruce KACHU\*2/3/ND643//2\*PRL/2\*PASTOR/4/KACHU//KIRITATI/2\*TRCH y en dos ciclos se realizó su caracterización morfológica en el Campo Experimental Norman Borlaug (CENEB). Para esta caracterización se usó el Manual Grafico para la descripción de variedades de trigo, (SNICS, 2015). La evaluación agro-industrial (floración, madurez fisiológica, altura de planta, acame, rendimiento y parámetros de calidad se reportan con cuatro riegos de auxilio.

Análisis de Rendimiento: Durante dos ciclos de producción (2020-21 y 2021-22) se establecieron ensayos de rendimiento en terrenos del CENEB (Valle del Yaqui, Sonora). Los resultados de rendimiento se analizaron y se realizó la prueba de selección en base a discriminación, prueba que consiste en establecer un porcentaje de incremento de rendimiento comparado con el rendimiento de la variedad testigo Kronstad F2004 y Onavas F2009, por ser las variedades que poseen la calidad industrial que demanda la industria harinera de grupo GEMSO.

Análisis de Calidad Industrial: En el Laboratorio de Calidad de trigo del CENEB se evaluaron características del grano (Densidad, porcentaje de proteína, peso de mil granos, porcentaje de panza blanca y punta negra) y parámetros reológicos y de producto terminado de la harina (Fuerza del gluten y volumen de panificación).

## Resultados y discusión

Caracterización Fenotípica de la línea candidata: Planta de hábito de crecimiento intermedio, frecuencia de hojas bandera curvadas y longitud de la planta intermedia, la cual se considera desde la base del tallo hasta la punta de las aristas. La espiga es de densidad laxa y glaucescencia media, en su cuello esta característica también es media.; presenta barbas distribuidas en toda la espiga, y de longitud corta con relación a la espiga. En la espiquilla del tercio medio de la espiga la gluma muestra un hombro medio y de forma plana, manifiesta extensión de pubescencia reducida en la parte interna de la gluma y su pico es de longitud media y recto. Su grano es blanco con fuerte reacción al fenol. Su altura de planta, promedio 88 cm., igual a Onavas F2009 e inferior a los 94 cm de Kronstad F2004 y su ciclo de espigamiento y madurez fisiológica promedia 79 y 116 días similar a Kronstad F2004 con 81 y 115 días cuando se maneja con 4 riegos de auxilio.

Análisis de Rendimiento y otras características agronómicas: En el CENEB durante el ciclo 2020-21 y 2021-22 Marcela F2023 registró un rendimiento promedio de 7368 kg/ha, superando al mejor testigo por calidad Kronstad F2004 en 5% y a Onavas F2009 con solo el 0.6 % Cuadro 1. Sin embargo, con la siembra de Marcela F2023 se puede tener una ganancia de \$1322.00/hectárea con respecto al mejor testigo por rendimiento Onavas F2009 variedad susceptible a la roya de la hoja (*Puccinia triticina*). Obtener variedades con altos rendimientos y buena calidad es difícil por lo que el mejoramiento de ambas características debe ser lenta y gradual. Los días a floración (DF) y días a madurez fisiológica (DMF) de Marcela F2023 clasifican a la variedad de ciclo intermedio (Cuadro1).

**Cuadro 1.** Rendimiento de grano y otras características de Marcela F2023 comparada con Kronstad F2004 y Onavas F2009. Ciclos 2020-21 al 2021-22.

VARIEDAD (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento	≠ Onavas	\$	DF	DMF	Altura de planta
<b>MARCELA F2023</b>	7368	47	1322	79	116	88
<b>ONAVAS F2009</b>	7321	0	0	78	119	88
<b>KRONSTAD F2004</b>	7012	-176	-683	81	115	94

DF= días a floración, DMF=días a madurez fisiológica

Análisis de Calidad: Los resultados promedio para las principales variables de calidad industrial evaluadas para Marcela F2023 y los testigos se muestran en el Cuadro 2. El peso hectolítrico (80.1 Kg hL<sup>-1</sup>) y peso de mil granos (50 g) de la nueva variedad aseguran buen rendimiento harinero, superando ampliamente el tamaño de grano de Kronstad F2009 que promedio 42.1 g. Al 12.5% de humedad, el grano de Marcela F2023 promedió 13.1 % de proteína, mientras que los testigos Kronstad F2004 y Onavas F2009 promediaron 13.4 y 12.2 % respectivamente. Los valores de microsedimentación, de la nueva variedad como de los testigos indican que son variedades que poseen buena calidad de proteína, Marcela F2023 con 18.4 ml, es muy similar a Kronstad F2004 que promedio 18.2 ml y supera ampliamente los 17.7 ml que promedio Onavas F2009. Produce un gluten fuerte que varía desde el límite inferior para un medio fuerte extensible en siembras tempranas hasta fuerte extensible en siembras tardías. Con un excelente volumen de pan que promedia 931cc, con una variación de 850 a 1050 cc.

**Cuadro 2.** Características de Calidad Industrial sobresalientes de Marcela F2023. Ciclos 2020-2021 y 2021-2022

CARACTERÍSTICA	Marcela F2023	Onavas F2009	Kronstad F2004
<b>Peso Específico (Kg/hL)</b>	80.1	79.7	80.9
<b>Peso de mil granos (gr)</b>	50	49.4	42.1
<b>Proteína en grano (%)</b>	13.1	12.2	13.4
<b>Color en harina (valor b del minolta)</b>	10.2	11.7	8.5
<b>Fuerza General (jouls)</b>	438	369	402
<b>Micro sedimentación (ml)</b>	18.4	17.6	18.2
<b>Volumen de pan (cc)</b>	<u>931</u>	<u>852</u>	<u>937</u>



## Conclusiones

Obtener variedades de trigo bajo condiciones de riego, con buen potencial de rendimiento de grano, alto valor de proteína, tamaño de grano y fuerza de gluten no es tarea fácil. Con la liberación de Marcela F2009 se logra obtener una variedad con la calidad industrial similar a Onavas y Kronstad F2009, con un incremento en el rendimiento en 0.7 y 5% respectivamente. Generalmente variedades de gluten medio como Borlaug 100 y CIANO M2018 poseen mayor potencial de rendimiento que variedades de gluten fuerte

## Agradecimientos

Se agradece a grupo GEMSO, integrado por los molinos de trigo harinero La Fama S.A de C.V., Molinos del Fuerte S. A de C.V., Molinera de Sinaloa S.A de C.V. y Servicios y Suministros Agrícolas La Fama, por apoyar la investigación de Trigo en el noroeste de México.

## Fuente Financiera

Grupo GEMSO Molinos financio el proyecto Titulado “Evaluación de calidad y rendimiento de genotipos de trigo harinero grupo 1 (*triticum aestivum* L.) para el grupo GEMSO” proyecto que generó a la variedad de trigo harinero Marcela F2023.

## Referencias Bibliográficas

- Chávez-Villalba G., M. A. Camacho-Casas, J. I. Alvarado-Padilla, J. HuertaEspino, H. E. Villaseñor- Mir, J. I. Ortiz-Monasterio y P. Figueroa-López (2021) Borlaug 100, variedad de trigo harinero para condiciones de riego del noroeste de México. Revista Fitotecnia Mexicana 44:123-125, <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.1.123>
- Miguel Alfonso Camacho-Casas M. A, P. Figueroa-López, G. Fuentes-Dávila, G. Chávez-Villalba, R. Peña-Bautista, V. Valenzuela-Herrera, J. L. Félix-Fuentes y J. A. Mendoza-Lugo (2010). Kronstad F2004: Nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 1:111-113 SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2022) Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (agosto 2022).
- UPOV, International Union for the Protection of New Varieties of Plants (1988) Bread wheat (*Triticum aestivum* L. emend. Fiori et Paol.). Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. Document No. TG/3/12. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva, Switzerland. 31 p.

## CARACTERIZACIÓN DEL CULTIVO DE FRIJOL EN RELEVO AL CULTIVO MAÍZ EN SIETE LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE MONTECRISTO DE GUERRERO, CHIAPAS

Isidro Fernández-González<sup>1\*</sup>, Francisco Javier Cruz-Chávez<sup>1</sup>, Fabricio Farrera Albores<sup>1</sup>, Walter López-Báez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INIFAP Experimental Centro de Chiapas.

\*Autor para correspondencia: [fernandez.isidro@inifap.gob.mx](mailto:fernandez.isidro@inifap.gob.mx).

**Palabras claves:** caracterización, frijol, microcuenca.

### Introducción

El estado de Chiapas ocupa el tercer lugar en producción de frijol a nivel nacional, durante 2020 se sembraron 42,938 ha, de las que se produjeron 26,350 t de grano, principalmente de color negro opaco, con un rendimiento promedio de 616 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2020). El bajo rendimiento es debido a que el cultivo es afectado por factores bióticos, abióticos y técnicos entre los que destacan: la incidencia de enfermedades como el mosaico amarillo dorado del frijol (BGYMV), la cual puede provocar pérdidas significativas en el rendimiento de grano, sobre todo cuando se presenta durante la fase vegetativa del cultivo (López *et al.*, 2003; Tosquy *et al.*, 2012; Villar *et al.*, 2017), la siembra de frijol en suelos de baja fertilidad y ácidos, que limitan el desarrollo y productividad del cultivo, por una baja disponibilidad de nutrientes (Zetina *et al.*, 2002; López *et al.*, 2006) y el uso de variedades criollas de bajo rendimiento, limitada adaptación y susceptibles al BGYMV

En el área de estudios se ubica en el municipio de Montecristo de Guerrero, en el estado de Chiapas, en esta zona se realiza la siembra del cultivo de frijol de humedad residual o de nortes en relevo al cultivo de maíz, estos cultivos forman parte de la dieta básica y es parte de su seguridad alimentara de la población ya solo cultivan maíz y frijol para autoconsumo y el cultivo de café como su principal fuente de ingresos, estos cultivos básicos además de las hortalizas de traspatio les proporcionan las proteínas, vitaminas y minerales a la dieta humana (Álvarez *et al.*, 2014). Los materiales genéticos que se siembran en la región son materiales criollos y en los últimos dos años se han introducido nuevas variedades como verdín, frailescano y sangre maya, que son materiales que presentan un mayor potencial de rendimiento y tolerancia a algunas enfermedades del cultivo.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue realizar un diagnóstico para conocer la situación actual de los productores, manejo del cultivo y los principales problemas que presentan.

### Materiales y método

El trabajo se realizó en siete localidades (Monte Virgen, Vista Alegre, Toluca, Puerto Rico, Palenque I, palenque II, y Rio Negro) en el Municipio de Montecristo de Guerrero, Chiapas. Para realizar la caracterización se elaboró un cuestionario donde se incluyeron preguntas para describir aspectos como: datos generales del productor, preparación del terreno, variedades empleadas, manejo del cultivo y costos de producción. Se diseñó el instrumento de tal forma que fuera lo más accesible posible para ser entendido por los productores y así obtener información más precisa y confiable. Para determinar el tamaño de muestra de una población de 144 productores se utilizó la siguiente formula:

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

Dónde:

**N** = Total de la población

**Z** = 1.96 (si la seguridad es del 90%)

**Q** = Probabilidad de fracaso

**P**= Probabilidad de éxito o proporción esperada

**e** = Precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

Parámetro	Valor
N	144
Z	1.96
P	90%
Q	10%
e	10%
<b>Tamaño de muestra</b>	<b>47</b>

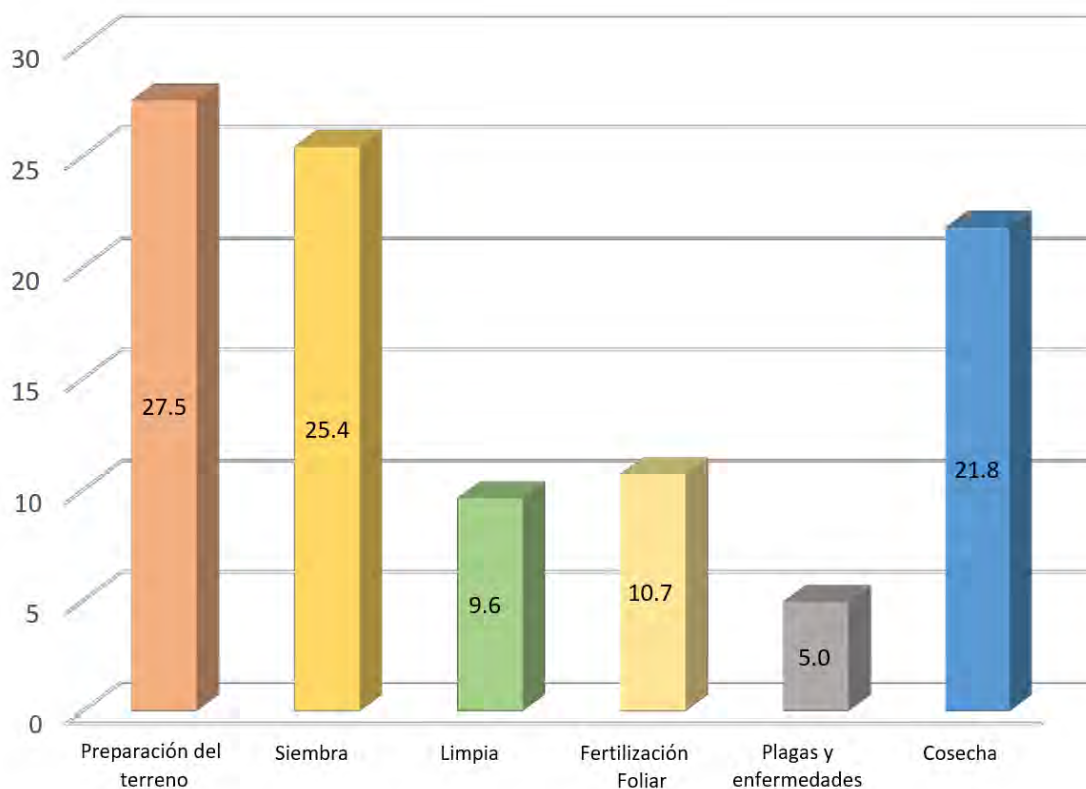
Los productores fueron visitados en su domicilio o bien en su área de trabajo, las encuestas se aplicaron de manera directa, la información recabada se registró en formatos especiales denominadas hojas de respuesta, diseñadas para la captura de datos, posteriormente estos se analizaron en el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, V17.0).

## Resultados y discusión

Los resultados obtenidos y que se muestran que el 28% de los productores se encuentran en edades de 50 a 59 años, lo cual coincide con lo reportado por la FAO quien menciona que la edad promedio de los productores es de 54 años y los rangos de edades van desde los 30 a 70 años, esto concuerda con la encuesta nacional agropecuaria 2019, quien señala solo 2% de los productores (varones) responsables del manejo y la toma de decisiones en las unidades de producción son jóvenes de 18 a 30 años. El número que integran las familias es de 4 a 6 personas as lo menciono el 65 % de los encuestados, este dato coincide con lo reportado por el coneval en el 2010 quien señala que el tamaño promedio de las familias chiapanecas es de 4.4 integrantes en promedio. Cabe mencionar que en los diferentes sistemas de producción de la zona de estudio se emplea la mano de obra familiar (63.4%) para las actividades en todo el proceso productivo. La agricultura familiar es una actividad esencial asociada con temas de seguridad alimentaria, agrobiodiversidad y uso sustentable de los recursos naturales. En cuanto al grado de estudios se encontró que el 34.7% de los productores solo tienen educación primaria terminada, 45.6% señala tener la educación primaria incompleta y el 8.7% no tiene estudios, esto está muy relacionado con la edad promedio que presentan los productores (46.8 años), se observa que a mayor edad menor grado de escolaridad, otro factor que puede estar influyendo en esta situación es que habitan en comunidades de alta marginación y de acceso difícil, estas limitantes pudieron haber influido en evitar que alcanzaran un mayor grado de estudio a la falta de centros educativos en la zona.

Para la preparación del terreno se encontró que el 61 % realiza la aplicación de productos químicos para el control de malezas antes de la siembra una vez que el cultivo de maíz a alcanzado la madurez fisiológica y han realizado la dobla, así lo menciono el 89.13 % de los productores realizan la siembra de frijol en relevo al cultivo de maíz en los meses de agosto, septiembre y octubre, los materiales utilizados son verdín, sangre maya y un criollo (vaina morada) para el establecimiento del cultivo lo realizan a una distancia promedio de 45 cm entre surcos y 25 cm entre plantas colocando dos surcos en medio del surco de maíz; para la nutrición del cultivo los productores no aplican fertilización edáfica, así lo menciono el 100 % de los productores, solo realizan la aplicación de fertilizantes foliares junto con insecticidas para el control de plagas de follaje como diabrotica (*Diabrotica balteata*) y babosas (*Deroceras reticulatum*) (73 %), que son las principales plagas que atacan al cultivo, cabe mencionar que las plagas malezas y enfermedades son las principales causas de la disminución del rendimiento en los principales cultivos. La cosecha inicia desde el mes de noviembre y se extiende hasta el mes de febrero, siendo los meses de diciembre (34,7 %) y enero (54.3%) donde se realiza la mayor parte de la cosecha, al respecto los productores mencionaron que

presentan una limitante ya que esta coincide con la cosecha del cultivo de café por lo que le dan prioridad a este último cultivo ya que es la fuente de ingresos más importante que presentan durante el año dejando como segunda opción la cosecha de frijol. El rendimiento promedio del cultivo en la zona es de 996 kilogramos por hectárea de los cuales el 95 % de los productores lo destina para su consumo y siembra del siguiente ciclo, para la conservación de granos y semillas utilizan costales (43 %) y recipientes de pet (20 %) principalmente. Dentro de las principales limitantes que presentan los productores mencionaron que es la falta de terrenos para la siembra del cultivo (36 %) y la falta de financiamiento (26 %).



**Figura 1.** Porcentaje del costo de producción del cultivo de frijol.

En la figura uno se observa el porcentaje del consto del paquete tecnológico utilizado por los productores en el área de estudio, siendo la siembra y la cosecha las actividades que incrementan más los costos de producción, en promedio los productores emplean \$ 12,500 pesos por hectárea, considerando un el precio promedio en la zona de 20 pesos por kilogramo y una producción media de 996 kilogramos se tendrían un ingreso por venta \$19,920 con una relación beneficio costo de 1.5.

## Conclusiones

El cultivo de frijol en la zona de estudio presenta pocas limitantes técnicas para su producción por lo que es factible poder aumentar los rendimientos de acuerdo al potencial de los materiales genético como la variedad verdín que puede llegar a rendir hasta 1800 kilogramos en temporal y 2400 kilogramos en riego.

## Referencias bibliograficas

López, E.; Tosquy, O. H.; Villar, B.; Becerra, E. N. y Ugalde, F. J. 2003. Adaptación, resistencia múltiple a enfermedades y tolerancia a suelos ácidos en genotipos de frijol. *Agron. Mesoam.* 14(2):151-155.  
López, S. E.; Tosquy, V. O. H.; Villar, S. B.; Becerra, L. E. N.; Ugalde, A. F. J. y Cumpián, G. J. 2006. Adaptabilidad de genotipos de frijol resistentes a enfermedades y a suelos ácidos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(1):33-39.

Tosquy, V. O. H.; López, S. E.; Esqueda, E. V. A.; Acosta, G. J. A.; Ugalde, A. F. J. y Villar, S. B. 2012. Rendimiento y reacción a enfermedades de genotipos de frijol en condiciones de temporal y humedad residual. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(4):727-737.

Villar, S. B.; Tosquy, V. O. H. y López, S. E. 2017. Rendimiento y adaptación de la variedad de frijol Rojo INIFAP (*Phaseolus vulgaris* L.) en Chiapas, México. *Agroproductividad.* 10(9):64-70.

Zetina, L. R.; Pastrana, A. L.; Romero, M. J. y Jiménez, Ch. J. A. 2002. Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. 1ra. (Ed.). INIFAP. CIRGOC. Campos Experimentales del Papaloapan y Huimanguillo. México, DF. Libro técnico núm. 10. 170 p.



## AGROBIODIVERSIDAD VEGETAL EN DOS ECOSISTEMAS KÁRSTICOS DE LA REGIÓN CALAKMUL, CAMPECHE. MÉXICO

Aixchel Maya-Martínez<sup>1\*</sup>, Martín Aquino-Ramírez<sup>1</sup>, Yameli Aguilar-Duarte<sup>2</sup>, Erika López-Jacobo<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>C.E. Edzná INIFAP, <sup>2</sup>CIRSE INIFAP, <sup>3</sup>Centro Regional Universitario Península de Yucatán (CRUPY),  
Universidad Autónoma Chapingo

\*Autor para correspondencia: [maya.aixchel@inifap.gob.mx](mailto:maya.aixchel@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Diversidad alfa, beta y gamma; uso de especies vegetales; selva tropical

### Introducción

La agrobiodiversidad es un proceso que surge a través de la intersección de la diversidad biológica y del conocimiento tradicional (cultural), la cual favorece a la actividad agrícola, incluyendo la producción de alimentos, el sustento de los medios de vida y la conservación del hábitat de los ecosistemas agrícolas y que, además, responde al qué y cómo se produce, englobando las dinámicas que sostiene a los agroecosistemas.

De tal forma que la agrobiodiversidad está constituida por: a) recursos genéticos vegetales, tales como cultivos, plantas recolectadas para la alimentación, los prados y especies de pastizales; animales, incluyendo razas domésticas, animales silvestres, los criados para comer, así como peces silvestres y de cría; además de hongos; b) los componentes de la diversidad biológica que apoyan los servicios de los agroecosistemas, como son los organismos necesarios para sustentar las funciones clave del agroecosistema (microorganismos del suelo, polinizadores, depredadores, etc.) y c) las interacciones con factores abióticos, como los paisajes físicos en los que se desarrolla la agricultura y las dimensiones socioeconómicas y culturales, como son el conocimiento local y tradicional.

Los paisajes kársticos, característicos de la Región de Calakmul en la Península de Yucatán, son identificados por la agrobiodiversidad que albergan, ya que en ellos coexisten habitantes de diferentes pueblos originarios, tales como el Ch'ol (con 74% de la población de Calakmul), el Tseltal (11%), el Maya Peninsular (9%) y el Tsotsil (3%) entre otros, por lo que las actividades propias de aprovechamiento de los recursos naturales y la conservación del hábitat son diversas en esta región. Sin embargo, estos paisajes están sufriendo de deterioro biocultural, incluyendo una importante deforestación por el cambio de uso de suelo para actividades agropecuarias y de otro tipo, así como la migración considerable de sus pobladores en busca de fuentes de empleo, por lo que resulta relevante conocer el estado de conservación de la agrobiodiversidad, en este caso vegetal, de esta región, lo anterior para contar con línea base que favorezca la implementación de estrategias de aprovechamiento sustentable que consideren, de manera holística, los componentes de este proceso, es decir, las especies recolectadas, cultivadas y domesticadas, los componentes que apoyan a los servicios de los Agroecosistemas y las interacciones entre los factores abióticos, socioeconómicos y culturales.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es conocer la diversidad alfa, beta y gamma de especies forestales en dos ecosistemas kársticos, con diferente grado de disturbio, de la Región de Calakmul.

### Materiales y métodos

**Área de estudio.** Los dos sitios de muestreo seleccionados se ubican en el municipio de Calakmul, Estado de Campeche en la Península de Yucatán, México. El paisaje predominante en estos sitios es el kárstico. El primer sitio corresponde a una geoforma, denominada aguada El Desempeño (ED), en el ejido Conhuas, dentro de la reserva de la Biosfera de Calakmul y predomina vegetación secundaria derivada de una selva baja inundable. El segundo sitio se ubica en el ejido Nuevo Progreso (NP), donde el paisaje se caracteriza por la presencia de parches agropecuarios y la vegetación predominante es secundaria de selva mediana subperennifolia.

**Diseño experimental y análisis de datos.** En cada sitio se establecieron, de forma aleatoria, unidades de muestreo, de 400 m<sup>2</sup>, en cinco franjas de terreno que cubren 1000 m<sup>2</sup> cada una de ellas; en cada unidad de muestreo se tomaron los datos del sitio (georreferenciación, condiciones ambientales, entre otras) e

información dasométrica de los árboles a 7.5 cm de diámetro normal. Los datos fueron procesados en una base creada en Excel y con ellos se realizó un análisis de diversidad alfa, beta y gamma, con la intención de conocer la contribución de especies de cada ambiente (conservado Vs. alterado) en la diversidad de la región de Calakmul. La diversidad alfa se obtuvo mediante el índice de diversidad de Simpson:  $\lambda = \sum p_i^2$ , donde:  $\lambda$  es el índice de Shannon-Wiener;  $p_i$  es la abundancia proporcional de la especie  $i$ ; este índice permite medir la riqueza de organismos y cuantificar la biodiversidad de un hábitat; representa la probabilidad de que dos individuos, seleccionados al azar, pertenezcan a la misma especie; mientras el valor obtenido se acerca más a cero es mayor la diversidad. La diversidad beta se obtuvo mediante el coeficiente de similitud de Sørensen para datos cuantitativos:  $I_{scuant} = \frac{2pN}{aN+bN}$ , donde:  $aN$  es el número total de individuos en el sitio A,  $bN$  el número total de individuos en el sitio B y  $pN$  es la sumatoria de la abundancia más baja de cada una de las especies compartidas entre ambos sitios; su rango va de 0 a 1 (0 no similares, 1 muy similares). La diversidad gamma se calculó basándose en el índice de Simpson:  $Beta = \sum_j q_j \lambda_j - \sum p_i^2$ , donde  $q_j$  es el peso proporcional de la comunidad  $j$  (en este caso se consideró 50% para cada ambiente);  $Alfa = \frac{(1-\lambda \text{ sitio a})+(1-\lambda \text{ sitio b})}{2}$ ;  $Gamma = alfa + beta$ , lo que indica la contribución de cada una de ellas, alfa y beta, en la diversidad del paisaje. Asimismo, se determinó el posible uso de las especies identificadas mediante la consulta en la plataforma Enciclovida, de CONABIO y otras fuentes de información; se determinó el uso de las especies identificadas; la clasificación de uso fue la siguiente: alimento (humano y/o animal), medicinal, combustible (ej. leña, carbón), madera (ej. para construcción, elaboración de muebles), ornato, artesanía, utensilios (ej. mangos de trastes, herramientas), cercos vivos, cultural/religioso, melífera, sustancias/industria (ej. escancias, insecticidas, papel) y ambiental (otro tipo de servicios ecosistémicos, como refugio, conservación de suelo, etc.). El arreglo taxonómico que se siguió es el propuesto en la plataforma *The World Flora Online* (WFO; <https://www.worldfloraonline.org/>).

## Resultados y discusión

La diversidad gamma reportada fue de 106 especies (19 ordenes, 36 familia y 1360 individuos), a la que la diversidad misma de cada lugar está contribuyendo más que la tasa de recambio entre ambos (diversidad  $\alpha = 72.26$  % de contribución; diversidad  $\beta = 27.73$  %). Este escenario se debe a que, aunque en ambos la vegetación es secundaria, el origen de la misma es diferente en cada uno (baja inundable para ED y mediana subperennifolia para NP), además del grado de disturbio (NP está inmenso en un paisaje agropecuario), por lo que el valor del coeficiente de Sørensen fue de 0.24, es decir, que la similitud entre ambos es baja; al respecto, ambos sitios comparten 28.30 % del total de registradas entre los dos; sin embargo, las abundancias de las especies compartidas varían, como en el caso de *M. depressa* (43 individuos en ED y 8 en NP), *B. simaruba* (45 en ED y 20 en NP) y *L. latisiliquum* (21 en ED y 2 en NP); la primera de ellas ha sido reportada, para la región de Calakmul, como abundante para selvas bajas y medianas subperennifolias y las otras dos para selvas primarias, aunque *L. latisiliquum* también se ha reportado como abundante en acahuales (vegetación secundaria de selvas subperennifolias); mientras que *H. trilobata* (10 en ED y 19 en NP) y *M. brownei* (5 en ED y 17 en NP) han sido reportada como abundante para acahuales, similares a la vegetación secundaria de NP. Ambos sitios resultaron diversos, según el cálculo de alfa ( $\lambda$ ) de cada uno; NP presentó 74 especies (16 órdenes, 31 familias y 809 individuos), con un alfa ( $\lambda$ ) de 0.946; mientras que en ED se identificaron 62 especies (15 órdenes, 28 familias y 551 individuos), con un alfa de 0.935 (Anexo 1). Otros trabajos realizados en diferentes áreas de la región de Calakmul reportan esta elevada diversidad alfa en cada una de ellas, a pesar de los procesos de fragmentación por cambio de uso de suelo. En NP, la especie de mayor dominancia fue *C. stauracantha* (palma endémica de México, particular mente de las selvas altas y medianas subperennifolias de la península de Yucatán), además de otras que han sido reportadas como dominantes en acahuales, tales como *C. icche*; aunque también dominó *P. reticulata*, especie característica de selvas primarias, lo que pudiera indicar cierto proceso de recuperación de la vegetación. Para ED especies abundantes fueron *T. paucidentata* y *B. simaruba*, mismas que son comunes en selvas medianas primarias, lo que indica el mayor grado de conservación de este sitio (Anexo 1). En cuanto al posible uso de esta vegetación que los pobladores de comunidades, aledañas a los sitios de estudio, pudieran hacer se tiene que en la categoría de madera es donde se agrupan la mayor cantidad de especies, entre las que sobresalen, por su abundancia y aprovechamiento, *P. reticulata* cuya madera, considerada como dura, ha sido utilizada para la construcción pesada, *L. guatemalensis*, que además de usar su madera para construcción tiene otros beneficios, tales como ser una especie melífera, medicinal, su sombra se aprovecha en cultivos de café,

es útil para recuperar terrenos degradados y para mejorar la fertilidad del suelo. La categoría de medicinal es otra en la que se agrupan varias de las especies reportadas, entre las que destacan, particularmente para ED, *L. latisiliquum*, especie que también es usada como alimento (forraje para ganado), combustible (carbón principalmente), es melífera y tiene una connotación cultural/religiosa en la región; para NP se tiene, en esta categoría, a *M. floribunda*, conocida como guayabillo; asimismo a *M. zapota*, de la cual además de su uso medicinal, su madera es aprovechada para elaborar muebles, utensilio y artesanías, es aprovechada como forraje para el ganado y en la industria (chicle, resinas, entre otros) (Cuadro 1). Al respecto, con la biodiversidad vegetal reportada para ambos sitios se tienen representados los componentes del proceso de agrobiodiversidad, particularmente los elementos de la diversidad vegetal que favorecen a los servicios de los agroecosistemas y las interacciones que se dan con factores abióticos de los ecosistemas (paisajes físicos y dimensiones socioeconómicas y culturales).

**Cuadro 1.** Usos de la agrobiodiversidad de dos ecosistemas kársticos de la Región de Calakmul

Uso	# especies	
	Nuevo Progreso	El Desempeño
Artesanía Cercos vivos	6	8
Cultural/religioso	7	7
Ornato	8	7
Utensilios	10	8
Sustancias/industria	12	14
Ambiental	12	10
Alimento	15	16
Melífera	19	18
Combustible	25	26
Medicinal	29	32
Madera	33	28
	46	46

## Conclusiones

La diversidad gamma de la región de Calakmul, alfa tiene una mayor contribución (72.26 %) que la tasa de recambio entre ecosistemas (27.73 %), lo que la hace altamente diversa.

La similitud entre ambos sitios es baja (Iscuant = 0.24) debido a que en el DE el origen de la vegetación secundaria es de selva baja inundable, mientras que para NP su origen es de selva mediana subperennifolia; además, NP presenta mayor grado de disturbio al estar inmerso en un paisaje agropecuario.

Las categorías de uso que agrupan un mayor número de especies fueron la de madera y la medicinal.

Al ser varias de estas especies multipropósito, se tienen representados los tres componentes del proceso de la agrobiodiversidad: a) recursos genéticos vegetales; b) componentes de la diversidad biológica que apoyan los servicios de los agroecosistemas y c) las interacciones con factores abióticos (paisajes físicos y las dimensiones socioeconómicas y culturales).

## Agradecimientos

A los pobladores de los ejidos Conhuas y Nuevo Progreso por el apoyo y las facilidades prestadas para la realización de estos estudios.

A los técnicos de apoyo en los trabajos tanto de campo como de gabinete.

## Fuente financiadora

Nuevo Progreso: CONACYT El Desempeño: INIFAP

### Referencias bibliográficas

- Báez-Vargas, A. M., & Esparza, L. G. (2017). Efecto del manejo sobre la diversidad de árboles en vegetación secundaria en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 41-53.
- García-Licona, J. B., Esparza-Olguín, L. G., & Martínez-Romero, E. (2014). Estructura y composición de la vegetación leñosa de selvas en diferentes estadios sucesionales en el ejido El Carmen II, Calakmul, México. *Polibotánica*, (38), 01-26.
- Martínez, E., & Galindo-Leal, C. (2002). La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución. *Botanical Sciences*, (71), 7-32.
- Moreno, C. E. (2000). Métodos para medir la biodiversidad. Volumen 1. Manuales y tesis SEA. Neulinger, K., Alayón-Gamboa, J. A., & Vogl, C. R. CAPÍTULO 3 Uso de la diversidad vegetal para su conservación en los huertos familiares de grupos étnicos en Calakmul, Campeche. *El huerto familiar: Un sistema socioecológico y biocultural*, 56.

**Anexo 1.** Diversidad vegetal de dos ecosistemas del kars de Calakmul, Campeche. México.

Orden	Familia	Especie	Uso1	E.D.1	NP	
Apiales	Araliaceae	<i>Dendropanax arboreus</i>	M,C,Ma,Ar,Me,SI		2	
Arecales	Arecaceae	<i>Cryosophila stauracantha</i>	M,O,U		131	
		<i>Sabal mexicana</i>	Ma,O,Ar		8	
Asparagales	Asparagaceae	<i>Dracaena fragrans</i>	O,Am		3	
Boraginales	Boraginaceae	<i>Ehretia tinifolia</i>	M,Ma,O,Ar,U,Me	1		
Brassicales	Capparaceae	<i>Forchhammeria trifoliata</i>	M,C,Ma,Me	16		
Caryophyllales	Nyctaginaceae	<i>Neea choriophylla</i>	C	6	8	
		<i>Coccoloba acapulcensis</i>	A,C,M,Me	3		
	Polygonaceae	<i>C. barbadensis</i>	M		9	
		<i>C. cozumelensis</i>	C,Ma,O,Me,Am	2	15	
		<i>C. reflexiflora</i>	A,C,Ma,Me,Am		38	
		<i>Gymnopodium floribundum</i>	C,Ma,Me,Am	31		
		<i>Neomillspaughia emarginata</i>	A,C,Ma,Me,Am	8		
Celastrales	Celastraceae	<i>Maytenus schippii</i>	-----		1	
		<i>Semialarium mexicanum</i>	Ma		2	
Ericales	Ebenaceae	<i>Diospyros bumelioides</i>	Am	1		
		<i>D. salicifolia</i>	A,C,Ma,Am		6	
	Primulaceae	<i>Parathesis cubana</i>	Ma	1	9	
		Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i>	A,M,Ma,Ar,U,SI	5	21
			<i>Pouteria amygdalina</i>	A,Ma,Am		7
		<i>P. campechiana</i>	A,M,Ma		11	
Fabales	Fabaceae	<i>P. reticulata</i>	A,Ma		62	
		<i>Bauhinia erythrocalyx</i>	A,M,Ma,U,Me	2		
		<i>Coulteria mollis</i>	M,Ma,Me		1	
		<i>C. platyloba</i>	Ma,Am	1		
		<i>Chloroleucon mangense</i>	C,Ma,O,Am	1		
		<i>Diphysa yucatanensis</i>	A,M,C,Ma,O,CR	2		
		<i>Erythrostemon yucatanensis</i>	M,C,Ma,U,Me,Am	18		
		<i>Haematoxylum</i>	M,C,Ma,Me,SI,Am	9	4	
		<i>Havardia albicans</i>	A,M,C,Ma,Me,Am	18	1	
		<i>Leucaena leucocephala</i>	A,C,Me,Am	6		
		<i>Lonchocarpus castilloi</i>	A,C,Ma,Me,SI		12	
		<i>L. guatemalensis</i>	M,C,Ma,Me,SI	98	39	
		<i>L. rugosus</i>	C,Ma,O,Me,Am		3	
		<i>Lysiloma latisiliquum</i>	A,M,C,Ma,U,Me,Am	21	2	
		<i>Mariosousa dolichostachya</i>	M,SI	1	1	
		<i>Piscidia piscipula</i>	A,M,C,Ma,Me,Am	1	6	
		<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	C,Ma	1		
		<i>Senegalia gaumeri</i>	A,M,C,Ma,O,Me	7		
		<i>Swartzia cubensis</i>	M,C,Ma,Me		3	
				<i>Tara vesicaria</i>	C,Ma,O,Me,Am	9
Gentianales	Apocynaceae	<i>Vachellia cornigera</i>	Am	1	1	
		<i>Aspidosperma desmanthum</i>	-----		2	
		<i>Cameraria latifolia</i>	C		7	
		<i>Cascabela gaumeri</i>	M,C,Ma,O,CR,Me,Am	3	2	
		<i>Thevetia ahouai</i>	M,O,Me		1	
	Rubiaceae	<i>Coutarea hexandra</i>	M	3		
		<i>Guettarda combsii</i>	Ma		8	

1 M = Medicinal; C = Combustible; Ma = Madera; Ar = Artesanías; Me = Melífera; SI = Sustancia/Industria; O = Ornato; U = Utensilios; Am = Ambiental; A = Alimento; CR = Cultural/Religioso; E.D. = El Desempeño; N.P. = Nuevo Progreso.



		<i>Palicourea pubescens</i>	C, Ma		2
		<i>Randia aculeata</i>	-----		5
		<i>R. longiloba</i>	M, C, CR, Me, Am		8
		<i>Simira salvadorensis</i>	M, U	5	9
Lamiales	Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	M, C, Ma, O, U, Me, Am		1
	Lamiaceae	<i>Vitex gaumeri</i>	M, C, Ar, U, Me, Am	2	13
Laurales	Lauraceae	<i>Damburneya salicifolia</i>	-----		27
		<i>D. salicina</i>	-----	4	
		<i>Licaria peckii</i>	Ma		11
Magnoliales	Annonaceae	<i>Annona reticulata</i>	A, Ma, Me	3	
		<i>Mosannonna depressa</i>	M, CR, Me	43	8
Malpighiales	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum confusum</i>	M, Ma	13	
		<i>E. havanense</i>	C, Ma	3	
		<i>E. rotundifolium</i>	Ma	2	2
	Euphorbiaceae	<i>Croton arboreus</i>	Ma	11	11
		<i>C. icche</i>	C	3	75
		<i>C. oerstedianus</i>	-----	3	1
		<i>Gymnanthes lucida</i>	Ma	4	
		<i>Jatropha gaumeri</i>	M, C, Ma, Ar, Am	3	
		<i>Sebastiania glandulosa</i>	-----		1
	Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	A, C	6	3
	Phyllanthaceae	<i>Margaritaria nobilis</i>	C, Ma	1	
	Putranjivaceae	<i>Drypetes lateriflora</i>	Ma, CR		7
	Salicaceae	<i>Casearia laetioides</i>	Ma	9	4
		<i>Laetia thamnina</i>	M, Ma, CR		6
Malvales	Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	M, Ma, O, U, CR, SI	1	
		<i>Guazuma ulmifolia</i>	A, M, C, Ma, Ar, U, CR, SI, Am	6	
		<i>Hampea trilobata</i>	M, C, Ma, U, Me	10	19
		<i>Pseudobombax ellipticum</i>	A, O, CR, Me, SI		3
Myrtales	Combretaceae	<i>Terminalia buceras</i>	A, Ma, Me	5	
	Myrtaceae	<i>Eugenia ibarrae</i>	-----	4	17
		<i>E. winzerlingii</i>	-----		11
		<i>Myrciaria floribunda</i>	M		30
		<i>Pimenta dioica</i>	A, M, C, Ma, U, SI		3
		<i>Psidium oligospermum</i>	C, Ma	3	
Rosales	Moraceae	<i>Brosimum alicastrum</i>	A, M, Ma, Ar, U, SI	2	1
		<i>Ficus obtusifolia</i>	C, Ma, O		1
		<i>Pseudolmedia spuria</i>	A, Ma, Am		1
		<i>Trophis racemose</i>	Ma, U, Me, Am		11
	Rhamnaceae	<i>Krugiodendron ferreum</i>	Ma	2	7
Sapindales	Anacardiaceae	<i>Metopium brownei</i>	C, Me	5	17
		<i>Spondias mombin</i>	A, M, Ma, U, SI, Am	4	5
	Burseraceae	<i>Bursera simaruba</i>	A, Me, Am	45	20
		<i>Protium copal</i>	M, Ma, CR		3
	Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	M, Ma, Ar, U, Me, SI	1	
		<i>Swietenia macrophylla</i>	M, Ma, Ar, U, Me, SI	4	9
		<i>Trichilia glabra</i>	M, C, Ma		1
		<i>T. minutiflora</i>	C, Ma		3
	Rutaceae	<i>Amyris elemifera</i>	-----		1
		<i>Zanthoxylum caribaeum</i>	M		1
	Sapindaceae	<i>Allophylus cominia</i>	A, M, Ma, Me, SI, Am		5
		<i>Cupania belizensis</i>	M, Ma		1
		<i>C. dentata</i>	C, Ma	1	
		<i>Matayba oppositifolia</i>	Ma	10	8
		<i>Melicoccus oliviformis</i>	A, C, Ma	4	
		<i>Thouinia paucidentata</i>	C, Ma	51	
	Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i>	A, M, C, Ma, Am		11
Zygophyllales	Zygophyllaceae	<i>Guaiacum sanctum</i>	M, Ma, U, SI, Am	2	

## EVALUACION DE VARIEDADES Y LINEAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum*) EN EL SUR DE SONORA

Lope Montoya-Coronado<sup>1</sup>, Xochilt Militza Ochoa-Espinoza<sup>1</sup>, Néstor Alberto Aguilera- Molina<sup>1</sup>, Elco Humberto García-Bolívar<sup>1</sup>, José Ángel Marroquín-Morales<sup>1</sup> y Yenire Yanelli Buitimea-Valenzuela<sup>1</sup>.  
INIFAP Campo Experimental <sup>1</sup> Norman E. Borlaug.

\*Autor para correspondencia: [montoya.lope@inifap.gob.mx](mailto:montoya.lope@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** *Linaza, variedades, rendimiento.*

### Introducción

La linaza (*Linum usitatissimum*), se ha cultivado desde los albores de la civilización, un cultivo antiguo que ha sido consumido por los humanos durante miles de años. “Es probable que la linaza haya comenzado su cultivo hace 8000 a 10000 años aproximadamente en la Mesopotamia antigua (Morris 2003) y (Figuerola *et al.*, 2008). Canadá es el productor principal del cultivo de linaza seguido de China, Estados Unidos, e India. En la producción de la semilla estuvo históricamente orientada a la producción de aceite para uso industrial; sin embargo, ahora hay un resurgimiento de interés en consumir la semilla molida por sus beneficios para la salud (Wanasundara *et al.*, 2003 y Hall *et al.*, 2006). La linaza es un cultivo de bajo consumo de agua (40 cm de lámina total) y se desarrolla bien en climas templados y cálidos. La semilla tiene excelente contenido de aceite (38%). Además de la extracción de aceite comestible, se usa como suplemento dietético y medicinal, como laxante ligero, debido a su contenido de fibra dietética, así como para tratar padecimientos gástricos, colesterol, entre otros (Hernández *et al.*, 2013).

En México no se tienen registros del cultivo de linaza desde el año 2003, de acuerdo con cifras del Sistema de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP-SAGARPA). En México el rendimiento promedio de linaza fue de 1500 kg/ha en el año 2002, con una superficie sembrada de 2 hectáreas y una producción de 3 toneladas; de acuerdo a datos publicados por la SAGARPA; en los años siguientes no se ha reportado superficie sembrada con el cultivo de linaza (SIAP, 2020).

En el sur de Sonora, la superficie sembrada durante el ciclo otoño-invierno ha sido muy variable durante los últimos años; en el ciclo 2020 fue de 178,985 ha, dicha superficie es cubierta con un número reducido de cultivos, donde sobresalen trigo y cártamo con aproximadamente el 80% de la superficie (SIAP, 2023). En base a lo anterior, es prioritario llevar a cabo una diversificación de cultivos con opciones productivas rentables, que sean competitivas dentro del patrón actual de cultivos para lograr tener una agricultura sustentable, y el cultivo de linaza puede ser una buena opción.

Para la región del norte de Guanajuato en siembras de temporal reportan rendimientos de 400 a 500 kg/ha (Hortelano, 1977). El objetivo de la presente investigación es evaluar el rendimiento de variedades y líneas de linaza, bajo las condiciones ambientales del sur de Sonora.

### Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Campo Experimental Norman E. Borlaug (CENEB-CIRNO-INIFAP), localizado en el block 910 del Valle del Yaqui. En un suelo arcilloso con problemas de compactación y conocido en la región como barrial compactado. La siembra se realizó en húmedo el 13 de diciembre del 2022 ciclo otoño-invierno 2022/2023, se establecieron las variedades Buck, Cald Well y la línea Linaza Sel., para evaluar su rendimiento en el sur de Sonora. Se aplicaron tres riegos de auxilio y se fertilizó con la fórmula 150-52-00. Para el control de maleza se realizó un cultivo mecánico y un deshierbe manual. El diseño experimental fue completamente al azar; el tamaño de la parcela experimental fue de 4 surcos de 30 m de largo, con 80 cm de distancia entre surcos (96 m<sup>2</sup>) y una densidad de población de 25 plantas por metro lineal; como parcela útil se utilizaron los dos surcos centrales, se tomaron cuatro muestras de cuatro metros de largo (6.4 m<sup>2</sup>). Las variables a medir fueron: días a flor, color de flor, altura de planta, madurez fisiológica y rendimiento (Deberá cosecharse cuando la semilla contenga de 10 a 12% de humedad), se realizó el análisis estadístico en el paquete estadístico Nuevo León.

## Resultados y discusión

En el cuadro 1, se muestran las variables agronómicas de los materiales evaluados, donde no hubo diferencia significativa entre ellos; la altura varía de 65-72 cm. Los días a floración alrededor de los 85 días en promedio, todos los materiales son de flor azul y la madurez fisiológica fue a los 130 días aproximadamente.

Se detectaron diferencias estadísticas entre las variedades y líneas evaluadas. Los rendimientos estuvieron en el rango de 1238 a 780 kg/ha de mayor a menor, superando todas las variedades y líneas al rendimiento promedio nacional de 1500 kg/ha reportados para México (SIAP, 2020), y para el norte de Guanajuato (Hortelano, 1977). Hubo una respuesta diferencial del rendimiento por materiales. Los resultados nos indican que los mejores rendimientos se obtienen con la línea Sel. con 1238 kg/ha, bajo las condiciones ambientales de la región sur de Sonora.

Hernández *et al.*, 2013, menciona que las principales plagas en este cultivo son: Gusano soldado, chinches y trips, y las principales enfermedades son: roya y fusarium. Sin embargo, el desarrollo vegetativo y reproductivo de las variedades y líneas de linaza fue normal y no se detectaron plagas o enfermedades. Por lo que, se sugiere continuar evaluando estos materiales, para evaluar otras variables que puedan influir en su rendimiento y adaptación a las condiciones del sur de Sonora.

**Cuadro 1.-** Características agronómicas y de rendimiento de Líneas y variedades de Linaza.

VARIEDAD	ALTURA (cm)	DIAS A FLOR	DIAS A MAD FISIOLOGICA	COLOR DE FLOR	REND kg/ha
LINAZA CALDWELL	65	84	127	AZUL	878 b
LINAZA BUCK	72	87	134	AZUL	780 b
LINAZA SEL.	70	84	130	AZUL	1238 a

CV=22.3 %, DMS= 125.1

## Conclusiones

Los resultados obtenidos nos indican que el cultivo de linaza es una opción viable para la diversificación de cultivos con opciones productivas rentables para el sur de Sonora. El cultivo de linaza se puede establecer en el ciclo Otoño-invierno en el sur de Sonora.

## Referencia bibliográfica

- Figuerola, F., Muñoz, O y Estévez A. M. (2008). La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *Agro Sur* 36 (2). Pp. 49-58.
- Hall, C., Tulbek, M.C.; Xu, Y. (2006). Flaxseed. *Ad. Food Nutr. Res.* 51: 2-99.
- Hernandez, M.M., Borodanenko, A., Montes, H.S., Pecina, Q.V., Montoya, C.L., Acosta, N.M.S., y Rivas, G.O.L. (2013). Manual Técnico de producción de cultivos bioenergéticos. INIFAP. Folleto técnico N° 2. Pp 77-81.
- Hortelano M.E. (1977). El Cultivo de la Linaza en el Norte de Guanajuato. Desplegable 74. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Agrícola Experimental Norte de Guanajuato. Celaya, Guanajuato, México. Pp 6.
- Morris, D. H.; Vaisey-Genserb, M. (2003). Availability and Labeling of Flaxseed Food, Products and Supplements. In: Thompson, L. U.; Cunnane S. C. *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 404-422.
- SIAP. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: [www.siap.sagarpa.gob.mx/](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/). Consultado 25 de julio de 2020.

SIAP. (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do) Consultado 28 Agosto del 2023.

Wanasundara, P. K. J. P. D.; Shahidi, F. (2003). Flaxseed Proteins: Potential Food Applications and Process- Induced Changes. In: Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). Flaxseed in Human Nutrition. 2nd edn. Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 387-403.

## DESARROLLO DE MATERIALES GENÉTICOS DE SOYA PARA CONDICIONES DE DÍAS CORTOS EN EL TRÓPICO DE MÉXICO

Nicolás Maldonado-Moreno<sup>1\*</sup>, Juan Samuel G.J. Alcalá-Rico<sup>1</sup>, Guillermo Ascencio-Luciano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Las Huastecas, CIR Noreste-INIFAP

\*Autor para correspondencia: [maldonado.nicolas@inifap.gob.mx](mailto:maldonado.nicolas@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** *Glycine max*, líneas de soya, fotoperiodo corto

### Introducción

La soya [*Glycine max* (L.) Merr.] es una leguminosa que en los últimos años ha tenido un notable crecimiento en su superficie sembrada y producción en la agricultura mundial, debido a que su semilla contiene alrededor de 20 % de aceite y 40 % de proteína, situándose entre los principales cultivos productores de granos después del trigo, maíz y arroz; en el mundo en 2020-2021 se cosecharon 131.22 millones de hectáreas y se obtuvo una producción de 360.15 millones de toneladas (FAS-USDA, 2023); en México en el 2021 la superficie cosechada de soya fue de 184,750 ha, donde se obtuvo una producción total de 288,202 t (SIAP-SADER, 2023), por lo que la producción nacional de esta oleaginosa es muy baja en relación con la demanda de los consumidores, la cual supera los 6.4 millones de toneladas anuales. La soya ha sido reconocida como una planta de día corto cuantitativa (Garner y Allard 1920 y 1923 citado por Whigham y Minor, 1978), la longitud del periodo de oscuridad es el principal factor que determina las respuestas fotoperiódicas, además de otros factores ambientales. Los materiales genéticos difieren en su respuesta a la longitud del día, las diferencias en esta longitud determinan el número de días que transcurren hasta la floración y maduración, la altura de planta, nudos por planta, vainas por planta y el peso de la semilla entre otras características. La floración tiene lugar cuando la longitud del día se hace menor que el valor crítico para cada línea o variedad.

De esta manera, en el mejoramiento genético del cultivo de soya para ambientes de “días cortos” o tropicales un factor importante a considerar en el desarrollo de cultivares de soya para estas regiones agroecológicas, es el control del inicio de la floración y en consecuencia de la altura de planta; este control debe orientarse hacia el desarrollo de materiales genéticos de soya menos sensibles a las variaciones en la fecha de siembra y al movimiento a través de latitudes. La idea es tener en las variedades floración “tardía” (periodo juvenil largo y fase inductiva larga), acoplada con una longitud de día máxima crítica, más grande que el día más largo de la latitud considerada (Kiihl, *et al* 1985).

Con base en lo anterior, el enfoque del mejoramiento genético del cultivo de soya que realiza el INIFAP en el trópico de México, se considera fundamental la incorporación del carácter de baja sensibilidad al fotoperiodo corto o “periodo juvenil largo” para lograr la adaptación de las nuevas variedades de soya que se generen para las condiciones de siembras “tardías” del verano (agosto) y el ciclo otoño-invierno (diciembre-enero) de esta zona agroecológica, las cuales deben florecer después de 45 días posteriores a la siembra, para lograr un adecuado tipo de planta y componentes de rendimiento que contribuyan a un potencial de rendimiento superior a 3 t/ha, con este enfoque y criterio de selección en el mejoramiento genético de la soya en el trópico mexicano se elaboró el presente trabajo.

### Objetivo

Seleccionar líneas avanzadas de soya de alta productividad para condiciones de días cortos en el trópico de México (siembras “tardías” de primavera-verano en agosto y ciclo otoño-invierno en diciembre y enero), estables, tolerantes a factores bióticos y abióticos, y de buena calidad de semilla.

### Materiales y métodos

Se establecieron dos ensayos de rendimiento (EPR-1 y EPR-2) el 28 de diciembre de 2020 y 25 de julio de 2022 ambos en el INIFAP- S.E. Ébano (Coordenadas: Latitud 22.17260, Longitud: -98.46509), Ébano, S.L.P.; para estas evaluaciones se diseñaron dos experimentos con una distribución en bloques al azar, dos repeticiones y 40 tratamientos (36 líneas avanzadas de soya y cuatro variedades comerciales testigos), la parcela experimental fue de dos surcos de 5 m de largo separados a 0.76 m. En los ensayos se registraron datos de las características agronómicas días a R2 (floración), altura de planta, días a R8 y



rendimiento. El manejo agronómico aplicado a los experimentos fueron las indicaciones del paquete tecnológico para el cultivo de soya en la región Huasteca en el ciclo primavera-verano y otoño-invierno bajo condiciones de riego. Los datos fueron procesados a través de un análisis de componentes principales. El software utilizado fue R versión 4.3.

## Resultados y discusión

De acuerdo al análisis de componentes principales se determinó que a partir de los primeros dos CP es posible explicar el total de la variación. Siendo el CP1 el que explicó la mayor parte de la variación con 55.32% contribuyendo el ciclo otoño-invierno. Por otra parte, el CP2 explicó el 44.68% de la variabilidad aportando a este componente el ciclo primavera-verano (Cuadro 1). Esto coincide con Maldonado *et al.* (2021) quienes al evaluar 15 materiales genéticos de soya en cuatro años mencionan que el CP1 explicó la mayor variabilidad con 46.94% seguido del CP2 con 28.21%.

**Cuadro 1.** Varianza explicada por los primeros dos componentes principales.

	CP1	CP2
<b>Desviación estándar</b>	683.59	614.31
<b>Proporción de varianza</b>	0.5532	0.4468
<b>Proporción acumulada</b>	0.5532	1.0000

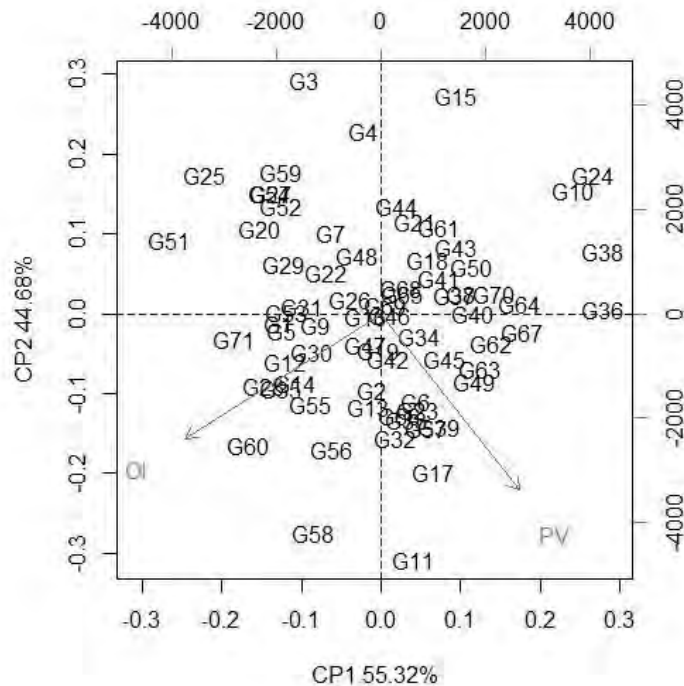
Por otro lado, la distribución de los 71 genotipos en los cuatro cuadrantes representa la gran diversidad que presentan de acuerdo a la variable rendimiento. Esto a pesar de que se ha mencionado que la soya tiene bajos niveles de variabilidad genética en comparación con otras especies autógamas (Pecina-Quintero *et al.*, 2005). En este mismo aspecto, Valliyodan *et al.* (2017) mencionan que el éxito de un programa de mejoramiento de soya dependerá del grado de diversidad genética que se tiene en la base del germoplasma.

La sensibilidad al fotoperiodo es uno de los factores de mayor importancia que afectan tanto a la adaptación regional como al crecimiento, desarrollo y rendimiento de la soya. Los principales genotipos que mostraron mejor comportamiento productivo en días cortos como es el ciclo otoño-invierno fueron G60, G28, G71, G35 y G25 con un rendimiento de 3.79, 3.48, 3.47, 3.39 y 3.03 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1).

En lo que respecta a los genotipos con mejor desempeño productivo para el ciclo primavera-verano destacaron G11, G17, G39, G57 y G49 con valores de rendimiento de 3.91, 3.53, 3.32, 3.27 y 3.23 t ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Cabe destacar que estos genotipos se desarrollaron bajo temporal con riegos de auxilio complementarios solamente cuando fue necesario.

En los programas de mejoramiento es importante desarrollar variedades puedan mantener su rendimiento a través de varios ambientes. Las líneas avanzadas de soya con mayor estabilidad fueron G2, G19, G69, G13, G46, G44 y G42. Teniendo los mayores rendimientos el genotipo G13 con 2.92 t ha<sup>-1</sup>, seguido del genotipo G5 con 2.85 t ha<sup>-1</sup>. Por otra parte, los genotipos altamente inestables fueron G51, G36, G38, G25, G24 y G10 (Figura 1).

Respecto a la característica de días a R2 en las líneas de soya evaluadas en los dos ambientes de días cortos, se observó que la mayoría de los materiales genéticos florecieron alrededor de 50 días, por lo que tienen “periodo juvenil largo” o baja sensibilidad al fotoperiodo corto que favorecen la adaptación en el trópico de acuerdo con lo señalado por Kiihl *et al.*, 1998, por lo que se puede esperar un adecuado crecimiento de las plantas y expresión favorable de los componentes de rendimiento para alta productividad con el manejo agronómico apropiado.



**Figura 1.** Componentes principales del rendimiento de 71 genotipos de soya en primavera-verano y otoño- invierno.

### Conclusiones

Se seleccionaron líneas avanzadas de soya con adaptación, potencial de rendimiento en siembras “tardías” de primavera verano y de otoño-invierno, y con baja sensibilidad al fotoperiodo corto del trópico. Se identificaron líneas avanzadas de soya con mayor estabilidad e inestables en su rendimiento.

### Agradecimientos

Se agradece al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CONASIPRO) el apoyo económico recibido para llevar a cabo los proyectos de investigación que permitieron la generación de los materiales genéticos de soya considerados en el presente trabajo.

### Fuente financiadora

Las evaluaciones de líneas avanzadas de soya formaron parte de proyectos de mejoramiento genético del cultivo de soya para el trópico de México, financiados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas (CONASIPRO) del 2020 al 2022.

### Referencias bibliográficas

FAS-USDA. (2023). World Agricultural Production. [www.fas.usda.gov](http://www.fas.usda.gov). Consultada en septiembre de 2023.  
Kiihl, R.A.S., Almeida de, L.A. and Dall’Agnol, A. (1985). Strategies for cultivar development in the tropics, p. 301-304. In R. Shibles, (Ed.) World Soybean Research Conference III. Westview, Boulder, Colorado.  
Maldonado, M. N., Alcalá, R. J. S. G. J., Ascencio, L. G. y García, R. J. C. (2021). Rendimiento y estabilidad de genotipos de soya para el trópico de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(8), 1351-1362

- Pecina-Quintero, V., Maldonado-Hernández, L., Maldonado-Moreno, N., Simpson, J., Martínez-de la Vega, O., & del Carmen Gil-Vega, K. (2005). Diversidad genética en soya del trópico húmedo de México determinada con marcadores AFLP. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(1), 63-63.
- SIAP. (2023). Producción agropecuaria y pesquera. <https://www.gob.mx/siap>. Consultada en agosto de 2023.
- Valliyodan, B., Ye, H., Song, L., Murphy, M., Shannon, J. G., & Nguyen, H. T. (2017). Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. *Journal of experimental botany*, 68(8), 1835-1849.
- Whigham, D. K. and Minor, H.C. (1978). Agronomic characteristics and environmental stress. In A. Geoffrey Norman, (Ed.) Soybean physiology, agronomy and utilization. Academic Press. P. 78-116.

## EFFECTO DE LA LONGITUD DE ONDA DEL ESPECTRO VISIBLE EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE FRIJOL COMÚN

Juan Manuel Pichardo-González<sup>1\*</sup>, Johanna López-Díaz<sup>2</sup>, Juan Felipe Ramsés García-Catedral<sup>3</sup>, Martín Quintana-Camargo<sup>1</sup>, Carlos Iván Cruz-Cárdenas<sup>1</sup>, Francisco Fabián Calvillo-Aguilar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Recursos Genéticos, INIFAP; <sup>2</sup>Universidad de Guadalajara, CUSUR; <sup>3</sup>Universidad de Guadalajara, CUCBA

Autor para correspondencia: [pichardo.juan@inifap.gob.mx](mailto:pichardo.juan@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** germinación, longitud de onda, *Phaseolus vulgaris*

### Introducción

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes en México, por la superficie sembrada y la producción obtenida; se siembra en todas las regiones agrícolas del país y es componente fundamental de la dieta del mexicano, de ahí su importancia desde el punto de vista agroalimentario, social y cultural (CEDRSSA, 2019). 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 (*Phaseolus vulgaris* L.) como recurso genético es a través de semilla.

La luz juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que la calidad, la cantidad y la dirección de la luz están determinadas por sensores de luz que regulan su crecimiento de las plantas. La germinación de la semilla puede verse influenciado por muchos factores ambientales y es un proceso complejo controlado por muchos factores biológicos (especies, viabilidad de la semilla, latencia de la semilla, tamaño de la semilla) y factores ambientales (humedad disponible, temperatura, humedad relativa, intensidad y duración de la luz) (Adelusi *et al.*, 2013). La luz roja y azul son factores importantes para el crecimiento de las plantas (Yorio *et al.*, 2001). Los fitocromos tienen una sensibilidad máxima en el rojo (660 nm) y el infrarrojo (730 nm) y están involucrados en las respuestas fisiológicas que incluyen la expansión de la hoja, la detección de proximidad, el sombreado, el alargamiento del tallo, la germinación de semillas y la inducción de la floración (Pinho *et al.*, 2012).

En los bancos de germoplasma donde se conservan semillas, es importante realizar protocolos de conservación de éstas, que van desde su evaluación de la calidad física y fisiológica hasta su acondicionamiento y resguardo. La germinación es el análisis más confiable de la evaluación de calidad fisiológica de las semillas y está estandarizado en las normas de análisis de semillas de la ISTA. Sin embargo, en el laboratorio de semillas siempre se debe buscar la mejora continua que contribuyan a mejorar los procesos.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo fue conocer el comportamiento germinativo de la semilla de tres colores de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), empleando filtros de diferentes colores de luz del espectro visible.

### Materiales y Métodos

El experimento fue llevado a cabo en el Laboratorio Agrícola-Forestal Sección Semillas Ortodoxas del Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en [Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México](#). Se utilizó semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de tres genotipos de frijol (rojo, pinto y beige) cosechados en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP ubicado en Texcoco, Estado de México en el ciclo P.V. 2022.

Se estableció un experimento en un diseño experimental de dos factores en completamente al azar con tres repeticiones, en el cual se evaluó la germinación de la semilla de frijol de tres colores (pinto, beige y rojo) con filtros de siete colores de papel celofán (rojo, negro verde, azul, naranja, transparente [luz blanca] y amarillo). Un primer factor fueron los tres genotipos de frijol (pinto, beige y rojo) y un segundo factor fueron los siete colores del filtro de papel celofán (rojo, negro verde, azul, naranja, transparente [luz blanca] y amarillo). Primeramente, se tomaron dos hojas de papel grado alimenticio y se empalmaron. Enseguida se realizó la graduación marcado rayas con un lápiz cada centímetro. En la línea del centro del papel se le colocó una cinta adhesiva de doble cara. Posteriormente se realizó la siembra de las semillas pegándolas en la cinta adhesiva dobla cara verificando que el micrópilo de la semilla quedara hacía abajo para que la raíz germinara y creciera hacia abajo.

Se sembraron 10 semillas, las cuales se distribuyeron de manera equidistante a lo largo de dicha cinta. Una vez que se sembraron las semillas, estas se regaron con una pizeta. Finalmente, se colocaron otras hojas empalmadas de papel grado alimenticio las cuales a su vez se empalmaron con las otras dos y se procedió a doblar y enrollar las hojas en forma de “taco” las hojas con las semillas sembradas en medio de éstas. Este procedimiento se realizó para cada repetición de cada color de filtro de papel celofán de cada genotipo evaluado. Cuando se completó la siembra de cada una de las tres repeticiones de cada uno de los filtros de papel celofán evaluados por cada genotipo, “los tacos” de cada uno de los filtros se colocaron de manera vertical en un recipiente de plástico de 1 L cuidando que el micrópilo de las semillas quedara orientado hacia abajo. Enseguida, a cada uno de los recipientes que contenían las tres repeticiones por color se le colocó el pliego de papel celofán. Posteriormente dichos recipientes envueltos con papel celofán fueron puestos en un cuarto de germinación programado a una temperatura entre 25-27 °C con un fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad. Los riegos realizaron cada tercer día.

Las variables respuesta evaluadas fueron: longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra (LA4DS), longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra (LA8DS), longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra (LR4DS), longitud de radícula a los ocho días después de la siembra (LR8DS), peso fresco de plántulas (PFP) y peso seco de plántulas (PSP). La germinación se realizó por el método entre papel. A los cuatro días después de la siembra se realizó la primera evaluación, en la cual se midió y se registró la y la longitud de la radícula. Posteriormente, a los ocho días después de la siembra se realizó la segunda evaluación, en la cual se midió y se registró de nuevo la longitud de la parte aérea, la longitud de radícula, el peso fresco de plántulas y el peso seco de plántulas (biomasa). En la evaluación del peso fresco toda la biomasa (plántulas incluyendo semillas no germinadas) por repetición que se produjo en la germinación de las semillas pesó en una balanza analítica y se registró el peso fresco de plántulas. En lo que respecta a la evaluación de peso seco de plántulas, la misma biomasa pesada para el peso fresco de plántulas se introdujo en bolsas de papel y se pusieron a secar en un horno programado a una temperatura de 70 °C por 72 h. Una vez que la biomasa salió del proceso de secado, inmediatamente cada repetición se pesó en una báscula analítica. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.3 (SAS Institute, 2012) mediante un análisis de varianza y se efectuaron pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05).

## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se presentan el cuadro de cuadrados medios y significancia estadística del efecto de tres materiales de frijol y siete filtros de colores sobre la germinación de semillas y producción de biomasa en plántulas.

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró que la fuente de variación materiales mostró diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables respuesta evaluadas. Por otro lado, la fuente de variación color del filtro presentó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables respuesta evaluadas con excepción de la variable respuesta longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra (LA4DDS). De igual manera, la interacción Materiales x Color de filtro presentó diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables respuesta evaluadas con excepción de la variable respuesta longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra (LA4DDS).

En lo que respecta a la comparación de medias de Tukey (Cuadro 2) el frijol beige tuvo la mayor longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra con 2.3 cm y el menor valor lo tuvo el frijol pinto



con 0.82 cm. Por otra parte, la mayor longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra la tuvieron el frijol beige y el frijol rojo con 13.4 cm y 12.6 cm, respectivamente, y el frijol pinto tuvo el menor valor de longitud de la parte aérea con 9.4 cm. En lo que respecta a la variable respuesta longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra, el frijol beige mostró el mayor valor con 4.9 cm y el menor valor tuvo el frijol pinto con 2.4 cm. Por otro lado, la mayor longitud de radícula a los ocho días después de la siembra la tuvo frijol beige con 14.9 cm y el menor valor lo tuvo el frijol rojo con 8.7 cm. Respecto al peso fresco de plántulas, de manera similar a la variable longitud de radícula a los ocho días después de la siembra, el frijol beige mostró el mayor peso fresco de plántulas con 21.8 g y el menor valor lo tuvo el frijol rojo con 12.1 g. Por su parte el frijol pinto mostró el mayor valor en el peso seco de plántulas con 2.8 g y el menor valor lo tuvo el frijol rojo con 1.4 g.

**Cuadro 1.** Cuadrados medios y significancia estadística del efecto de tres materiales de frijol y siete filtros de colores sobre la germinación de semillas y producción de biomasa en plántulas.

Fuentes variación	deGL	LA4DDS (cm)	LA8DDS (cm)	LR4DDS (cm)	LR8DDS (cm)	PFP (g)	PSP (g)
Materiales (MAT)	2	12.87 **	97.12 **	36.72 **	220.00 **	502.48 **	11.20 **
Color de filtro (CF)	6	3.38 ns	17.96 **	5.45 **	38.24 **	45.51 **	1.54 **
MAT*CF	12	2.42 ns	68.99 **	2.49 **	39.19 **	111.18 **	2.09 **
Error	42	2.36	4.26	0.67	1.50	7.26	0.18
C.V. (%)		104.5	17.39	23.67	10.88	15.59	19.40
Media		1.46	11.87	3.47	11.27	17.28	2.24

C.V. = Coeficiente de variación; GL = Grados de libertad; LA4DDS= Longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra; LA8DDS= Longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra; LR4DDS=Longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra; LR8DDS=Longitud de radícula a los ocho días después de la siembra; PFP = Peso seco de plántulas; PSP= Peso seco de plántulas. \*, \*\* =significativo con  $p \leq 0.05$  y con  $p \leq 0.01$ , respectivamente; ns = No significativo.

De manera general los resultados anteriores mostraron que el frijol beige tuvo los mayores valores en cinco de las variables respuesta evaluadas; sin embargo, en el peso seco de plántulas el frijol pinto tuvo el mayor valor. Dichos resultados sugieren que las longitudes de la parte aérea y de radícula en frijol con valores altos no necesariamente concuerdan con una mayor producción de biomasa. Asimismo, es probable que la respuesta al crecimiento de parte aérea y de la raíz en frijol esté determinado por genotipo.

**Cuadro 2.** Comparación de medias de Tukey de las variables respuesta estudiadas respecto a los materiales evaluados

Materiales	Variables respuesta					
	LA4DDS (cm)	LA8DDS (cm)	LR4DDS (cm)	LR8DDS (cm)	PFP (g)	PSP (g)
Pinto	0.82 b	9.43 b	2.43 b	10.09 b	17.88 b	2.88 a
Beige	2.34 a	13.49 a	4.96 a	14.93 a	21.84 a	2.40 b
Rojo	1.23 ab	12.69 a	3.02 b	8.78 c	12.12 c	1.44 c
DMS	1.15	1.54	0.61	0.92	2.02	0.32

DMS = Diferencia mínima significativa. LA4DDD = Longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra; LA8DDS= Longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra; LR4DDS=Longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra; LR8DDS=Longitud de radícula a los ocho días después

de la siembra; PFP = Peso seco de plántulas; PSP= Peso seco de plántulas. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la comparación de medias de Tukey de las variables respuesta estudiadas respecto a los filtros de siete colores de papel celofán.

**Cuadro 3.** Comparación de medias de Tukey de las variables respuesta estudiadas respecto a los filtros de color evaluados

COLOR DEL FILTRO	LA4DDS	LA8DDS	LR4DDS	LR8DDS	PFP	PSP
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(g)
Rojo	1.43 a	10.20 b	4.18 ab	14.08 a	18.65 a	2.37 a
Negro	1.42 a	11.24 b	2.81 cd	8.13 e	14.08 b	1.38 b
Verde	1.20 a	11.72 ab	3.22 bcd	10.45 d	16.62 ab	2.48 a
Azul	2.78 a	14.40 a	3.68 abc	9.91 de	19.35 a	2.22 a
Naranja	1.35 a	12.66 ab	4.60 a	13.25 ab	19.20 a	2.31 a
Transparente	0.85 a	10.61 b	2.32 d	10.76 cd	14.44 b	2.70 a
Amarillo	1.22 a	12.27 ab	3.51 abcd	12.29 bc	18.62 a	2.22 a
DMS	2.24 a	3.01	1.20	1.79	3.93	0.63

DMS = Diferencia mínima significativa. LA4DDS= Longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra; LA8DDS= Longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra; LR4DDS=Longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra; LR8DDS=Longitud de radícula a los ocho días después de la siembra; PFP = Peso seco de plántulas; PSP= Peso seco de plántulas. Valores con la misma letra son estadísticamente similares (Tukey, 0.05).

De acuerdo al Cuadro 3, la longitud de parte aérea a los cuatro días después de la siembra no mostró diferencias significativas. Por su parte, la longitud de parte aérea a los ocho días después de la siembra presentó su valor con el filtro azul con 14.4 cm. En contraste, el filtro negro presentó el menor valor en esta variable con 11.7 cm. En cuanto a la longitud de radícula a los cuatro días después de la siembra, las semillas colocadas en el filtro naranja mostraron el valor 4.6 cm y el menor valor con el filtro transparente con 2.3 cm. Por otro lado, la longitud de radícula a los ocho días después de la siembra tuvo el mayor valor con el filtro rojo con 14.0 cm y el menor valor con el filtro negro con 8.1 cm. Con respecto a las variables relacionadas con la producción de biomasa, el peso fresco de plántulas presentó los mayores con los filtros azul y naranja con 19.3 cm y 19.2 cm, respectivamente. Por el contrario, el filtro transparente tuvo el menor con 14.4 cm. Con relación a la variable peso seco de plántulas, los filtros de seis colores mostraron mayores valores que el filtro negro, siendo el filtro transparente el que tuvo el mayor valor numérico con 2.7 g.

De manera general los resultados anteriores mostraron, que el crecimiento de la parte aérea en plántulas de frijol el color de filtro azul mostró el mayor valor. En cuanto al crecimiento de la raíz, el color naranja mostró el mayor valor en los primeros cuatro días después de la siembra y el color rojo mostró el mayor valor a los ocho días después de la siembra. En cuanto a la producción de biomasa en peso seco, seis de los siete colores de los filtros evaluados tuvieron mayores valores que el color negro, siendo el color transparente el que tuvo el mayor valor numérico.

## Conclusiones

El frijol beige tuvo los mayores valores en cinco de las variables respuesta evaluadas excepto en el peso seco de plántulas y el frijol pinto tuvo el mayor valor peso seco de plántulas.

El crecimiento de la parte aérea en plántulas fue más favorecido por el filtro color azul, el crecimiento de la raíz fue más favorecido con el filtro rojo y naranja y la producción de biomasa en peso seco tuvo la mayor respuesta el filtro transparente.

En este estudio, la longitud de la parte aérea y de radícula en frijol con valores altos no necesariamente concordó con una mayor producción de biomasa.

Es probable que el crecimiento de parte aérea y de la raíz en frijol esté determinado por genotipo.

## Agradecimientos

A INIFAP por el financiamiento del proyecto “Regeneración, caracterización y conservación a largo plazo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el INIFAP con No. de SIGI11584934760.

## Referencias bibliográficas

Adelusi A., Ologundudu A., Adekoya k., (2013), Effect of Light Stress on Germination and Growth Parameters of *Corchorus olitorius*, *Celosia argentea*, *Amaranthus cruentus*, *Abelmoschus esculentus* and *Delonix regia*, *Notulae Scientia Biologicae*, 5(4):468-475.

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.cedrсс.gov.mx](http://www.cedrсс.gov.mx) (Consulta: agosto 2022).

Pinho, P.; K. Jokinen, y L. Halonen, (2012). “Horticultural lighting – present and future challenges”. *Lighting Research & Technology*, 44: 427-437.

Saburido-Álvarez M. de la S., Herrera-Estrella Alfredo. 2016. El frijol en la Era Genómica. *Revista Digital Universitaria UNAM*. 16(2). ISSN.1607 – 6079. <https://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art11> (Consulta: agosto 2023).

Yorio, N.C.; G.D. Goins, H.R. Kagie, M.R. Wheeler, y J.C. Sager, (2001). “Improving Spinach, Radish, and Lettuce Growth under Red Lightemitting Diodes (LEDs) with Blue Light Supplementation”. *Hortscience*, 36(2): 380-383.





# *Temas Transversales*

## EFFECTO DE MEZCLAS MINERALES EN LAS PROPIEDADES DE LIXIVIADOS DE COMPOSTA

Blanca Estela Santiago-Mejía<sup>1\*</sup>, Martín Espinosa-Ramírez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Río Bravo, INIFAP.

\*Autora para correspondencia: [santiago.estela@inifap.gob.mx](mailto:santiago.estela@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Enriquecimiento mineral, abonos orgánicos, harinas de roca.

### Introducción

Las plantas requieren de nutrientes para su crecimiento y desarrollo, que pueden ser proporcionados de forma natural o sintética, dentro de las fuentes naturales se encuentran los abonos orgánicos que contemplan a los lixiviados de composta, que hacen aportaciones de nutrientes en forma líquida con materiales disueltos que pueden ser aplicados al follaje de los cultivos, además de los suelos agrícolas (Mohammadipour *et al.*, 2020).

Sall *et al.* (2019) mencionan que los lixiviados de composta pueden contener nutrientes como N, P, K, Ca, Mg y Na, sin embargo, pueden variar al depender de los insumos utilizados para la elaboración de la composta, así mismo, uno de los problemas a los que se enfrenta este tipo de abono líquido, es la falta de caracterización de su aportación nutrimental debido a la variación de materiales (Ahamad Sanadi *et al.*, 2021).

Otra opción, como fuente natural de reposición de nutrientes minerales son las harinas de roca (Chilon y Chilon, 2015), que al igual que los lixiviados de composta, la diversidad de los nutrientes que aporta dependerá del origen de las rocas que se utilicen para su elaboración.

Dada la importancia de aportar nutrientes a los cultivos y de mejorar las condiciones de los suelos agrícolas, resulta primordial incorporar abonos orgánicos enriquecidos que permitan agregar diferentes nutrientes y en cantidades superiores a las que normalmente brindan.

### Objetivo

Analizar el efecto de distintas mezclas de harina de roca en las propiedades químicas de los lixiviados de composta.

### Materiales y métodos

Área de estudio. El ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental Río Bravo, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CERIB-INIFAP) en Río Bravo, Tamaulipas, ubicado en las coordenadas 25°57'16.9" N, 98°01'05.7" O, a 25 msnm.

Diseño experimental. El ensayo se estableció el 14 de octubre de 2022, bajo un diseño experimental completamente al azar con seis tratamientos y tres repeticiones en contenedores de 200 L. Todos los contenedores tuvieron una composta base, conformada por gallinaza (40 kg), estiércol vacuno (40 kg), residuos de cosecha (14 kg), melaza (1 L), levadura (0.05 kg) y se le agregó un componente mineral (20 kg) para cada tratamiento, donde: T1. Harina de roca comercial (Plantifor®) (20 kg); T2. Grava de Cerralvo (20 kg); T3. Harina de roca comercial (Plantifor®) (10 kg) y grava de Cerralvo (10 kg); T4. Harina de roca comercial (Plantifor®) (6 kg), grava de Cerralvo (7 kg) y zeolita (7 kg); T5. Harina de roca comercial (Plantifor®) (10 kg), grava de Cerralvo (10 kg) y leonardita (3 kg); T6. Sin adición de minerales (testigo).

A los tres meses de iniciado el proceso de compostaje, se realizó una aireación e inoculación con 20 L de lixiviado (reciclado), 1 L de melaza, 0.10 kg de mezcla comercial de hongos micorrízicos, *Azospirillum* spp, *Bacillus* spp y 0.05 kg de levadura, para cada uno de los contenedores, con el propósito de hacer un mayor aporte energético para los microorganismos en los lixiviados.

Toma de muestras. El muestreo se realizó a los siete meses de haber iniciado el ensayo, donde se obtuvo 1 L de lixiviado con el fin de analizar sus propiedades químicas bajo la metodología descrita en la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000) para pH, conductividad eléctrica (CE), nitrógeno total (NT), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), azufre (S), hierro (Fe), cobre (Cu),



manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B), materia orgánica (MO), carbono orgánico (CO) y relación carbono/nitrógeno (C/N).

Análisis estadístico. Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el uso del programa estadístico R versión 4.2.1. Se realizó la comprobación de los supuestos de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia.

## Resultados y discusión

Una vez realizado el análisis estadístico en la mayoría de las variables se observó diferencias significativas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ), se demuestra que el T2 tiene mayor contenido de NT, P, Fe, Zn y B, seguido del T1, que hace un importante aporte de Ca, Mg y S, a diferencia del T5 donde sus valores fueron los menores en B, MO y CO (Cuadros 1 y 2).

**Cuadro 1. Propiedades químicas de los tratamientos de lixiviado de composta (Parte 1).**

Trat	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	NT (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
1	8.23	c 39.93	abc 567	b 28	c 9300	b 667	a 833	a 2633
2	8.41	b 44.07	ab 1033	a 73	a 12133	a 300	bc 533	b 2700
3	8.28	bc 38.40	abc 433	bc 38	bc 9700	b 500	ab 733	a 2333
4	8.30	bc 34.53	c 333	c 28	c 7600	b 433	bc 767	a 2400
5	8.33	bc 38.07	bc 400	bc 29	bc 9400	b 500	ab 667	ab 2400
6	8.62	a 45.13	a 900	a 55	ab 12233	a 267	c 500	b 2967
Media	8.36	40.02	611.11	41.89	10061.11	444.44	672.22	2572.22
Des. Est.	0.14	3.98	288.80	18.52	1800.92	147.07	132.36	241.68
Coef. Var. (%)	1.65	9.94	47.26	44.22	17.90	33.09	19.69	18.38

El pH reportado para todos los tratamientos fue alcalino; la CE fue igual o superior a los 34.53 dS m<sup>-1</sup>, que indica una alta concentración de sales minerales en los lixiviados, lo que permite realizar diluciones para su aplicación. Por otro lado, los nutrientes que se hacen presentes en mayor medida son K, S, Mg, NT y Ca. De acuerdo con el coeficiente de variación el Zn fue el que mayor dispersión tuvo en sus valores en los tratamientos, esto se debe a el contenido de este en los distintos minerales utilizados para cada tratamiento. En cuanto al contenido de Cu, Mn, MO, CO y C/N no hubo diferencias estadísticamente significativas, todos los tratamientos realizan el mismo aporte en estos parámetros (Cuadro 2).

El enriquecimiento de los lixiviados es un proceso que adiciona minerales que al incorporarse al suelo o aplicarse a la planta, realizará un mayor aporte nutrimental complementario, por lo tanto, son una opción sostenible para contribuir al manejo agroecológico de las áreas agrícolas.

Los resultados encontrados en el presente ensayo, con la adición de mezclas de harina de roca, indican un mayor aporte en cuanto a micronutrientes, además de materia orgánica, donde se observó el tipo de mineral que mayores aportes nutrimentales realiza. De Souza *et al.* (2013), mencionan que el enriquecimiento de abonos orgánicos líquidos con harinas de roca, proporcionan mayores beneficios en comparación que si se usaran de manera independiente.

**Cuadro 2.** Propiedades químicas de los tratamientos de lixiviado de composta (Parte 2).

Trat	S (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)	MO (%)	CO (%)	C/N									
1	3300	a	4.52	ab	0.31	a	1.61	a	0.61	b	2.33	bc	1.00	a	0.58	a	10.29	a
2	2067	c	8.86	a	2.59	a	2.92	a	4.37	a	4.23	a	1.59	a	0.92	a	8.89	a
3	3133	a	6.32	ab	0.50	a	5.59	a	0.84	b	2.15	bc	1.07	a	0.62	a	14.43	a
4	2233	bc	3.15	b	1.13	a	1.31	a	0.54	b	2.18	bc	0.95	a	0.55	a	16.83	a
5	3000	ab	4.07	ab	0.51	a	1.35	a	0.63	b	1.52	c	0.96	a	0.55	a	13.80	a
6	2633	abc	8.05	ab	1.03	a	1.76	a	2.00	b	3.50	ab	1.30	a	0.75	a	8.29	a
Media	2727.78		5.83		1.01		2.42		1.50		2.65		1.14		0.66		12.09	
Des. Est.	501.29		2.29		0.84		1.66		1.51		1.01		0.25		0.15		3.43	
Coef. Var. (%)	18.38		39.35		82.93		68.37		100.80		37.88		22.08		22.01		28.38	

### Conclusiones

De acuerdo con los resultados químicos, el tratamiento dos enriquecido con grava de Cerralvo es el más económico y aportó mayores nutrientes a los lixiviados. El aporte constante de materia orgánica y minerales al suelo favorece sus propiedades, al funcionar como mejorador y permitir la recuperación de su fertilidad.

### Agradecimientos y fuente financiadora

El presente trabajo se realizó gracias al financiamiento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, a través de proyecto 13395635531.

### Referencias bibliográficas

- Ahamad Sanadi, N. F. B., Ibrahim, N., Ong, P. Y., Klemes, J. J., Li, C. and Lee, C. T. (2021). Dilution rate of compost leachate from different biowaster for the fertigation of vegetables. *Journal of Environmental Management*, 295, 113010. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113010>.
- Chilon, E. and Chilon, J. (2015). Compost altoandino e interacción con harina de rocas y su efecto en las plantas y la fertilidad de los suelos. *CienciAgro*, 5(1), 21-38. Recuperado de: [http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v3n1/v3n1\\_a02.pdf](http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/rca/v3n1/v3n1_a02.pdf).
- De Souza, M. E., de Carvalho, A. M., de Cássia, D., Jucksk, Brown, G. G., Mendonça, E. S. and Cradoso, I. M. (2013). Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Applied Soil Ecology*, 69, 56-60. V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.016>.
- Mohammadipour, Z., Enayatizamir, N., Guezelbash, G. and Moezzi, A. (2020). Bacterial diversity and chemical properties of wheat straw-based compost leachate and screening of cellulase producing bacteria. *Waste Biomass Valor*, 12, 1293-1302. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01119-w>.
- Sall, P. M., Antoun, H., Chalifour, F. P. and Beauchamp, C. J. (2019). Potential use of leachate from composted fruit and vegetable waste as fertilizer for corn. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1580180. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1580180>.

## HIDROLOGÍA Y EROSIÓN PARA PEQUEÑAS CUENCAS NO INSTRUMENTADAS

Ignacio Sánchez-Cohen<sup>1</sup>, Alejandro Cruz-González<sup>2\*</sup>, Guillermo González-Cervantes<sup>1</sup>, Aurelio Pedroza-Sandoval<sup>2</sup>, Ricardo Trejo-Calzada<sup>2</sup>, Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>, Marco A. Inzunza-Ibarra<sup>1</sup>, Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>INIFAP CENID-RASPA; <sup>2</sup>Uruza-UACH.

\*Autor para correspondencia: alex\_cg20@hotmail.com

**Palabras clave:** pérdida de suelo, escurrimiento, manejo, simulación

### Introducción

Para un uso racional de las disponibilidades de agua en cuencas hidrológicas, es necesario contar con bases de datos que permitan realizar el balance de agua y, en consecuencia, hacer una adecuada planeación. Si bien en México existe información diaria del estado que guarda el clima y datos hidrométricos, no se cuenta con el histórico actualizado de volúmenes aforados de los principales cauces. Además, los datos de aforos son, principalmente, para los principales tributarios a los embalses. Para cuencas pequeñas (menores a 10,000 ha), la información disponible es escasa y dispersa. Por otro lado, no existen datos actualizados de sedimentos o pérdida de suelo en cuencas pequeñas. Los registros de pérdida de suelo a nivel parcelario no existen en las plataformas oficiales y estas se remiten a información aislada de resultados de investigación por diversas instituciones de educación superior o centros públicos de investigación (Cotler, *et. al.* 2020).

### Objetivo

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo exponer un modelo computacional para producir el hidrograma adimensional en cuencas pequeñas; además, sistematizar un algoritmo para cuantificar las pérdidas de suelo a nivel cuenca y a nivel parcelario.

### Materiales y métodos

#### Escurrecimiento

Existen diversos métodos para estimar el escurrimiento en cuencas; de éstos, quizá el método empírico más recurrente en la literatura sea el de Curva Numérica (CN). Este método es esencialmente un coeficiente que reduce la precipitación total a escurrimiento potencial después de descontar las pérdidas por evaporación, absorción, transpiración y almacenamiento superficial; luego entonces, mientras más alto el valor de CN mayor será el escurrimiento potencial (Hawkins et al., 2002). La ecuación del método de curva numérica se basa en la simplificación del evento de lluvia, fundamentándose en el siguiente corolario: la cantidad de lluvia en exceso o escurrimiento directo (Q) es siempre menor o igual a la cantidad de precipitación (Pp); además, después de que el escurrimiento empieza, la cantidad adicional de agua retenida en la cuenca (Fa) es menor o igual a algún potencial máximo de retención (S). La ecuación que describe el escurrimiento potencial con este método es:

$$Q = \frac{(Pp - 0.2S)^2}{(Pp - 0.8S)} \quad 1$$

Con:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad 2$$

CN es el valor de la curva numérica la cual depende del grupo hidrológico del suelo, la cubierta vegetal del suelo y su condición. Este valor se encuentra tabulado en numerosas publicaciones. En las anteriores ecuaciones las unidades son mm.

Hidrograma adimensional

El hidrograma adimensional tiene arbitrariamente 100 unidades de flujo para el gasto pico y 100 unidades de tiempo para la duración del flujo. Para desarrollar el hidrograma de diseño, se necesita conocer el gasto pico ( $q$ ) y el volumen de escurrimiento ( $Q$ ). El hidrograma se obtiene mediante el uso de factores de conversión:  $u$ ,  $w$  y  $k$ . (Bauer, 1989). El factor  $u$  es el cociente del volumen de escurrimiento ( $Q$  de la ecuación 1) y el área bajo la curva del hidrograma adimensional (triangular); así entonces, considerando que ésta área es de 2620 unidades cuadradas, cada unidad cuadrada tiene entonces un valor de:

$$u = \frac{Q}{2620} \quad 3$$

El factor  $w$  es el cociente entre el gasto pico ( $q$ ) y el gasto pico igual a 100 en el hidrograma adimensional; así entonces, cada unidad de flujo en el hidrograma adimensional tendrá un valor de:

$$w = \frac{q}{100} \quad 4$$

El factor  $k$  es el valor que cada unidad de tiempo en el hidrograma adimensional, representa en el hidrograma de diseño. Haciendo el debido ordenamiento de unidades, resulta en:

$$k = 167 \frac{u}{w} \quad 5$$

Las coordenadas del hidrograma de diseño se obtienen multiplicando las abscisas y ordenadas del hidrograma adimensional, por  $w$  y  $k$  respectivamente.

El gasto pico

El gasto pico ( $q$ ) es necesario para desarrollar el hidrograma de diseño y se obtiene como:

$$q = q_u A Q \quad 6$$

Donde  $A$  es el área de la cuenca y  $Q$  es el volumen de escurrimiento calculado con la ecuación 1,  $q_u$  es el gasto pico unitario el cual depende del tiempo de concentración de la cuenca ( $T_c$ ) y la relación entre las abstracciones iniciales y la precipitación ( $I_a/P_p$ ). La ecuación que describe las relaciones mencionadas es:

$$q_u = 10^x \quad 7$$

con:

$$x = C_0 + C_1 \log(T_c) + C_2 [\log(T_c)]^2 \quad 8$$

donde  $T_c$  es el tiempo de concentración y se obtiene como:

$$T_c = \frac{L^{0.8} \left[ \frac{1000}{CN} - 0.9 \right]^{0.7}}{[4407 S g^{0.5}]} \quad 9$$

Donde  $L$  es la longitud más larga del flujo (m),  $CN$  es la curva numérica,  $Sg$  es el gradiente de la cuenca ( $m \cdot m^{-1}$ ). También requiere de conocer las abstracciones iniciales las cuales se obtienen como:

$$I_a = 0.2S \quad 10$$

Perdidas de suelo

La ecuación Universal del Pérdida de Suelo, (USLE, por sus siglas en ingles), es la más comúnmente usada para predicciones en el corto plazo.

$$A = RKLSCP \quad 11$$

donde  $A$  es la pérdida de suelo en el tiempo considerado ( $Mg \text{ ha}^{-1}$ ),  $R$  erosividad de la lluvia,  $K$  factor de erosividad del suelo,  $L$  es factor por longitud de la pendiente,  $S$  factor por pendiente (inclinación),  $C$  es el factor por cobertura del suelo y  $P$  es el factor por prácticas de manejo.

Para la obtención del parámetro "K", se utiliza la siguiente ecuación:

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad 12$$

donde  $M$ , parámetro de tamaño de partícula y es:

$$M = (\% \text{ limo} + \% \text{ de arena muy fina}) (100 - \% \text{ arcilla}) \quad 13$$

$a$  es el porcentaje de materia orgánica,  $b$  es un código para la estructura del suelo (granular muy fina = 1, granular fina = 2, media o pedregosa granular = 3, en bloques o masiva = 4);  $c$  se refiere a la permeabilidad (rápida = 1, moderada a rápida = 2, moderada = 3, baja a moderada = 4, baja = 5 y muy baja = 6).

El factor L se obtiene como:

$$L = \left(\frac{l}{22}\right)^m \quad 14$$

Donde  $l$  longitud de la pendiente (m),  $m$  exponente adimensional que se obtiene como:

$$m = \frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \theta + 0.269(\text{sen } \theta)^{0.8} + 0.05} \quad 15$$

$\theta$  es la sinuosidad de la pendiente en grados:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{S}{100}\right) \quad 16$$

$S$  es la pendiente del terreno en %. Los factores  $C$  y  $P$ , se encuentran tabulados.

Tasa de sedimento

No todo el suelo que es erosionado en la cuenca sale de ésta; así, la tasa de sedimento que logra salir de la cuenca se le conoce como “Tasa de Entrega de Sedimento” (Sediment Delivery Ratio”, o SDR), Kaffas et. al, (2022).

$$SDR = 1.366 \cdot 10^{-11} \cdot FL^{-0.0998} \left(\frac{RL}{l}\right) \cdot CN^{5.444} \quad 17$$

Donde  $FL$  es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>),  $RL$  es la diferencia de elevación de los dos extremos del canal principal (m),  $l$  es la longitud del canal principal (km), y  $CN$  es la curva numérica. El  $SDR$  resulta en una fracción.

## Resultados y discusión

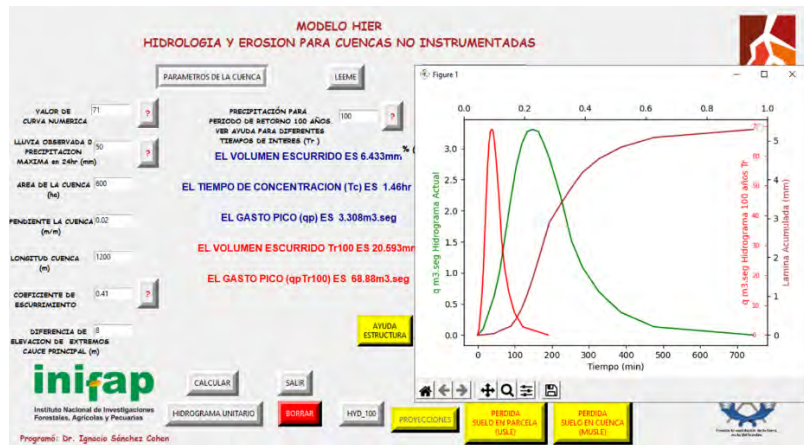
El código fuente se programó en plataforma PYTHON. La figura 1, muestra la interfaz general que incluye ayudas para parametrizar las variables.



**Figura 1.** Interfaz general del programa computacional. Los apartados marcados con un “?”, significan ayudas; al presionar estos botones se despliega la información suficiente para entender el parámetro.

La figura 2 muestra los resultados al correr el programa con los datos mostrados. Incluye la cantidad de escurrimiento, el gasto pico y el tiempo de concentración. También se despliega el hidrograma para el evento de precipitación introducido y el que tiene 100 años de periodo de retorno. Ambos hidrogramas se despliegan al presionar los botones “HIDROGRAMA UNITARIO” e “HD100”, respectivamente. La figura 3 muestra los resultados de erosión a nivel cuenca y parcelario.





**Figura 2.** Ejemplo de hidrograma de salida. Se presenta también el hidrograma que se obtendría si ocurriera la precipitación con cien años de periodo de retorno (marcado en rojo). Nótese el cambio de escala en el eje secundario “Y”.



**Figura 3.** Resultados de erosión a nivel cuenca y parcela.

### Calibración del modelo

Para la calibración del modelo se utilizaron datos observados de una cuenca experimental del INIFAP ubicada en el municipio de San Luis del Cordero en el estado de Durango. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre datos observados y calculados con el modelo fue de 0.89.

### Conclusiones

Se construyó un modelo computacional para simular escurrimiento y erosión en pequeñas cuencas desprovistas de instrumentación. El algoritmo contempla las ecuaciones fundamentales para el cálculo de estas dos variables. El programa computacional constituye una herramienta de fácil uso para construir y analizar diferentes escenarios de manejo de la cuenca y a nivel parcelario y documentar los impactos en términos de pérdida de suelo. Se considera necesario realizar más mediciones de pérdida de suelo a nivel de cuenca y parcela para estar en posibilidades de incrementar la bondad de predicción del modelo.

## **Agradecimientos**

El presente trabajo ha sido posible gracias al financiamiento del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP, a través de proyectos fiscales y de la Universidad Autónoma Chapingo a través de proyectos estratégicos.

## **Referencias bibliográficas**

- Bawer, V. B. (1989). Dimensionless Hydrograph Method of Simulating Flood Hydrographs. Transportation Research Record 1224. Pp 67 -78.
- Cotler, H., J. Alfonso Corona y J. Mauricio Galeana-Pizaña. 2020. Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. Investigaciones Geográficas.vol. 101.
- Hawkins, R.H., Jiang, R., Woodward, D.E., Hjelmfelt, A.T., Van Mullem, J.A., Quan, Q.D. (2002). Runoff curve number method: examination of the initial abstraction ratio. Proceedings of the Second Federal Interagency Hydrologic Modeling Conference, Las Vegas, Nevada. U.S. Geological Survey, Lakewood, Colorado.
- Kaffas, K., Papaioannou, G., Varlas, G., Al Sayah, M. J., Papadopoulos, A., Dimitriou, E., Katsafados, P., & Righetti, M. (2022). Forecasting soil erosion and sediment yields during flash floods: The disastrous case of Mandra, Greece, 2017. Earth Surface Processes and Landforms. 47 (7):1744-1760

## PRONÓSTICO DE PRECIPITACIÓN PARA EL CICLO AGRÍCOLA PRIMAVERA-VERANO 2023 EN CHIAPAS

Osías Ruíz-Álvarez<sup>1\*</sup>, Aurelio López-Luna<sup>1</sup> y Walter López-Báez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INIFAP. Campo Experimental Centro de Chiapas

\*Autor para correspondencia: [ruiz.osias@inifap.gob.mx](mailto:ruiz.osias@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** siembras, temporal, sequía

### Introducción

La agricultura de temporal es una actividad en la que convergen diferentes tipos de recursos y depende completamente de las condiciones climáticas. Así, la humedad del suelo proporcionada por la precipitación, es esencial para que la semilla complete la germinación y la planta emerja; por lo que cada año, es indispensable conocer las fechas en las que se presentarán lluvias que generan humedad importante para el establecimiento exitoso del cultivo.

Las siembras se exponen a una serie de riesgos, ya que después de las primeras lluvias, a veces se presenta un receso en la precipitación, lo que ocasiona la pérdida de la semilla y la necesidad de resembrar o repetir la siembra (Raes et al., 2004). Lo anterior se torna todavía más complejo cuando se suman la variabilidad climática y el cambio climático, los cuales han desconfigurado el patrón de la lluvia que antes era conocido por los agricultores. Para evitar estos contratiempos, es importante contar con información precisa sobre la fecha de llegada de la lluvia, lo cual es importante para llevar a cabo una siembra segura. En Chiapas, más del 95% de la superficie cultivada es de temporal, por lo que la producción agrícola depende de la buena sincronía entre el desarrollo de la planta y la lluvia. En este sentido, es indispensable conocer cómo se comportarán las lluvias durante el ciclo, esto implica: conocer las fechas en las que se establecerán las lluvias que aportan suficiente humedad al suelo para llevar a cabo una siembra exitosa, identificar las fechas en la que las lluvias finalizarán; lo cual a su vez permite saber la duración del temporal y con base en eso planear las actividades. También, una duda que generalmente preocupa a los agricultores, es si en el ciclo del cultivo habrá sequía, lo cual sirve a ellos para elegir el híbrido o variedad a establecer y para ajustar las fechas de siembra; y también para que decidan el grado y las características de la inversión que realizarán en ese ciclo (comunicación personal).

Un pronóstico climático es la predicción y conocimiento anticipado del clima para un lugar y período de tiempo particular, el cual se realiza con ayuda de la ciencia y la tecnología. Para Chiapas, el INIFAP, año con año lleva a cabo el pronóstico de lluvia para el ciclo primavera-verano (PV); con el fin de proporcionar información para que los agricultores puedan planear mejor sus actividades. Este pronóstico está dirigido al sector agropecuario y es distinto a los ofertados por otras dependencias, ya que proporciona la fecha de inicio de las lluvias de importancia agrícola y su posible distribución a lo largo del ciclo; además es de circulación gratuita para que puedan utilizarlo los agricultores del estado, quienes representan a uno de los sectores más vulnerables de la cadena productiva.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo es presentar un análisis del pronóstico de lluvia para el ciclo primavera-verano 2023 en Chiapas. Se describe la fecha de llegada y del final de las lluvias, la duración del periodo lluvioso y la duración de la sequía intraestival. Se espera que la información proporcionada en este documento sea una herramienta importante para la programación de las actividades dentro del sector primario, y que sirva de auxilio para productores, técnicos, tomadores de decisiones, profesores, estudiantes, entre otros.

### Materiales y métodos

Área de estudio. El pronóstico de lluvia para PV-2023 se realizó para el estado de Chiapas. Este estado se ubica al sureste del país entre los 17°59' y 14°32' de latitud norte y los 90°22' y 94°14' de longitud oeste.

Al norte, colinda con el estado de Tabasco, al oeste con los estados de Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala.

Insumos. Se utilizaron los índices de El Niño Oscilación del Sur (ENSO) reportados por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) (NOAA, 2023). Se emplearon observaciones de precipitación y evaporación diaria provenientes de 187 estaciones meteorológicas convencionales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CNA) y distribuidas relativamente bien sobre la superficie del estado.

Procedimiento. Primeramente, por medio de los índices del ENSO se obtuvieron los años análogos para el período diciembre de 2022-abril de 2023; los años análogos fueron: 1951, 1957, 1963, 1965, 1971, 1981, 1996, 2001 y 2008. Después de contar con los años análogos, para cada uno de estos y para cada estación meteorológica, se extrajeron las observaciones diarias de precipitación y evaporación. Con las observaciones diarias de cada uno de los años que resultaron análogos, se realizó un ensamble y se obtuvieron así, las series de tiempo de precipitación y evaporación pronosticadas para el período 01/mayo-31/diciembre del año 2023 donde se encuentra incluido el ciclo PV-2023. La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se calculó por medio de  $ET_0=0.8*Ev$ , donde  $Ev$  es la evaporación del tanque tipo "A" en milímetros (Ruíz et al., 2012). El inicio de la estación de crecimiento o del período húmedo para el crecimiento de los cultivos en el ciclo PV-2023 ocurre en la fecha que la precipitación supera a  $0.5ET_0$  y termina en la fecha que la precipitación nuevamente es menor a  $0.5ET_0$ , el período (días) que existe entre ambas fechas es la duración o longitud del período húmedo; con este mismo criterio se identifica la duración de la sequía dentro del período canicular (julio-agosto). Con el inicio, fin y duración del período lluvioso; y duración de la sequía en cada estación meteorológica se procedió a la generación de mapas para facilitar la explicación de los resultados.

## Resultados y discusión

### Análisis estatal

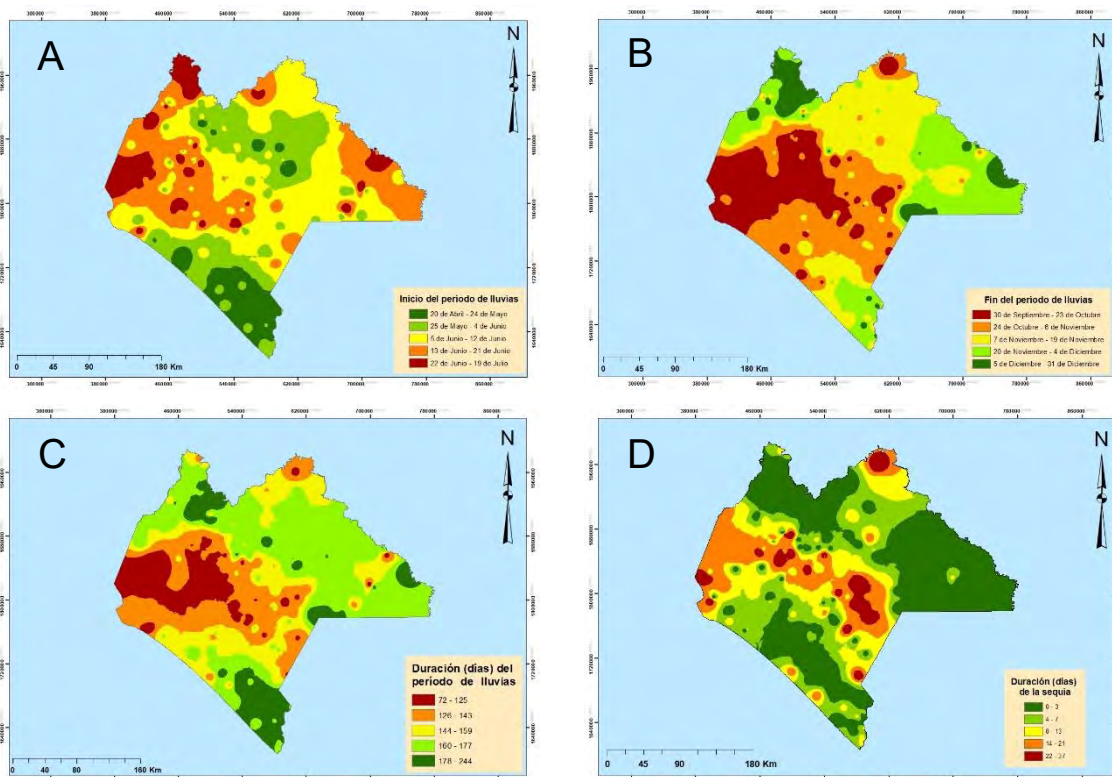
Para PV-2023, a lo largo y ancho de Chiapas, las lluvias pronosticadas mostraron diferente fecha de inicio, lo cual se debe a la variación de las características fisiográficas. En la Figura 1A, se presenta la distribución espacial de la fecha pronosticada del inicio de las lluvias para siembras. De manera general, se tiene que las lluvias iniciarían entre el 20 de abril y el 19 de julio. En la mayor parte del estado, las lluvias comenzarían entre el 5 y 12 de junio. En superficies muy localizadas del este y oeste, las lluvias se establecerían entre el 13 y 21 de junio. Por otra parte, en regiones del sur y norte, se esperaba que el inicio de las lluvias ocurriera entre el 25 de mayo y 4 de junio. Del mismo modo, en el sur y algunas partes del norte; las lluvias iniciarían entre el 20 de abril y el 24 de mayo. En zonas muy localizadas del este, oeste y norte; el periodo de lluvias comenzaría entre el 22 de junio y el 19 de julio.

En Chiapas, debido a la gran variación en las características de la forma del terreno y a factores geográficos, las lluvias se retiran en diferentes fechas. En la Figura 1B, se presenta la distribución espacial de la fecha pronosticada del fin de las lluvias. Se tiene que, las lluvias pueden terminar entre el 30 de septiembre y el 31 de diciembre. En una parte importante del sur y norte del estado, se espera que las lluvias terminen entre el 7 y el 19 de noviembre. Por otra parte, en una franja que se extiende desde el este al centro y posteriormente al oeste y al sur, el período de lluvias podría terminar entre el 24 de octubre y el 6 de noviembre. Del mismo modo, en el noroeste, este y sur; el período lluvioso podría terminar entre el 20 de noviembre y el 4 de diciembre. También, en el centro-oeste y algunas otras zonas muy localizadas del sur y norte del estado; el periodo de lluvias podría terminar entre el 30 de septiembre y el 23 de octubre. En el noroeste, este y algunas zonas compactas del sur del estado, la lluvia podría retirarse entre el 5 y el 31 de diciembre.

También, como consecuencia de las diferencias en las características geográficas, en el estado, la duración del período de lluvias es relativamente variable. En la Figura 1C, se presenta la distribución espacial de la duración pronosticada del periodo de lluvias para PV-2023 en Chiapas. En el estado, el período de lluvias para el ciclo PV-2023 podría variar entre 72 y 244 días. Se destaca que, para la región conocida como Depresión Central o para el centro-oeste, la duración del período lluvioso podría ser de entre 72 y 125 días. También, para el centro-oeste y algunas porciones del este, se pronostican duraciones del periodo de lluvias de entre 126 y 143 días. En el este-centro-sur-oeste y norte podría tenerse una duración de las

lluvias de 144 a 159 días. También se estima una duración de 160 a 244 días para una parte del sur, y para una franja que se extiende del este al noroeste.

La canícula es un lapso de tiempo caracterizado por el incremento de la temperatura, y en años con el fenómeno de El Niño, generalmente disminuye la lluvia y aumenta la ocurrencia de días secos dentro del período de lluvias (Ruíz et al., 2012); esto sucede del 20 de julio al 25 de agosto. En la Figura 1D, se presenta la distribución espacial de la duración pronosticada de la sequía ocasionada por la canícula para el ciclo PV-2023 en Chiapas. En el estado, para el ciclo PV-2023 se esperaron lapsos de días sin lluvia debido a la llegada de El Niño. Básicamente se distinguen dos zonas con sequía; en el sur y norte del estado, este fenómeno podría durar de 1 a 7 días; mientras que en una franja que se extiende del este a oeste, pasando por el centro, y en una zona compacta del norte podría suscitarse una sequía de 8 a 21 días; únicamente en algunas zonas muy localizadas (marcadas con color rojo en Figura 1D), la sequía podría durar más de 21 días.



**Figura 1.** Distribución espacial de la fecha pronosticada para el inicio (A) y fin (B) de las lluvias, duración del período de lluvias (C) y duración de la sequía (D) para el ciclo PV-2023 en Chiapas.

### Análisis regional

De acuerdo con el mapa de sequía presentado en la Figura 1D, las regiones del estado donde podría haber daños significativos a los cultivos anuales; se encuentran en una franja ubicada en el sentido este-centro-oeste y también en algunas zonas compactas del norte y del sur. En estas zonas que se mencionan, la sequía ocasionada por la canícula podría alcanzar duraciones de entre 8 y 21 días; solamente en regiones muy localizadas se podrían alcanzar duraciones de más de 22 días; en estas regiones se ubican las superficies cultivadas con maíz y frijol. Debido a que no se pronostican sequías de por lo menos ocho días para todas las regiones del estado, el pronóstico de lluvias se explica solamente para diez regiones, donde la sequía si tendría esta duración; estas regiones son: Región Metropolitana, Valles Zoque, Mezcalapa, De Los Llanos, Altos-Tsotsil-Tzeltal, Frailesca, De Los Bosques, Istmo Costa, Sierra Mariscal y Meseta Comitaca Tojolabal (Cuadro 1). De acuerdo con López et al. (2008), en algunas zonas de la Depresión



Central de Chiapas, en maíz, las sequías de ocho días se complican debido a los suelos arenosos, bajo contenido de materia orgánica y problemas de acidez. Para las regiones socioeconómicas mencionadas, el pronóstico del inicio y fin de las lluvias se presenta en intervalos de fechas, mientras que, para la duración de la sequía, en intervalos de días (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Fecha de inicio y fin de las lluvias; y duración de la sequía en diez regiones socioeconómicas de Chiapas.

Región	Inicio de lluvias	Fin de lluvias	Duración de la sequía
Metropolitana	13 de junio al 21 de junio, 25 de mayo al 12 de junio y del 22 de junio al 19 de julio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre y del 24 de octubre al 6 de noviembre.	De 14 a 21 días, de 8 a 13 días; o más de 22.
Valles Zoque	Del 13 al 21 de junio y del 22 de junio al 19 de julio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre, del 7 de noviembre al 19 de noviembre y del 20 de noviembre al 4 de diciembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.
Mezcalapa	Del 5 de junio al 12 de junio, del 13 de junio al 21 de junio y del 22 de junio al 19 de julio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre, del 7 de noviembre al 19 de noviembre, del 20 de noviembre al 4 de diciembre y del 5 de diciembre al 31 de diciembre.	De 8 a 13 días y de 14 a 21 días.
De Los Llanos	Del 5 de junio al 12 de junio y del 13 de junio al 21 de junio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre y del 24 de octubre al 6 de noviembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.
Altos	Del 25 de mayo al 4 de junio y del 5 de junio al 12 de junio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre y del 7 de noviembre al 19 de noviembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.
Frailasca	Del 20 de abril al 24 de mayo, del 25 de mayo al 4 de junio, del 13 de junio al 21 de junio y del 22 de junio al 19 de julio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre y del 24 de octubre al 6 de noviembre.	De 8 a 13 días.
De Los Bosques	Del 25 de mayo al 4 de junio y del 5 de junio al 12 de junio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre, del 7 de noviembre al 19 de noviembre, del 20 de noviembre al 4 de diciembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.
Istmo-Costa	Del 20 de abril al 24 de mayo, del 25 de mayo al 4 de junio, del 5 de junio al 12 de junio, del 13 de junio al 21 de junio y del 22 de junio al 19 de julio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre y del 7 de noviembre al 19 de noviembre.	De 8 a 13 días y de 14 a 21 días.
Sierra Mariscal	Del 20 de abril al 24 de mayo, del 25 de mayo al 4 de junio, del 5 de junio al 12 de junio y del 13 de junio al 21 de junio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre, del 7 de noviembre al 19 de noviembre y del 20 de noviembre al 4 de diciembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.
Meseta Comiteca	De 25 de mayo al 4 de junio, del 5 de junio al 12 de junio y del 13 de junio al 21 de junio.	Del 30 de septiembre al 23 de octubre, del 24 de octubre al 6 de noviembre, del 7 de noviembre al 19 de noviembre, del 20 de noviembre al 4 de diciembre y del 5 de diciembre al 31 de diciembre.	De 8 a 13 días, de 14 a 21 días; o más de 22.

Para las zonas donde se cultiva maíz en Chiapas, simultáneamente a la difusión del pronóstico de lluvias para PV-2023 se recomendaron ajustes en las fechas de siembra de acuerdo con las fechas pronosticadas del inicio de lluvias, esto con el fin de evitar que el cultivo de maíz se encontrara en la etapa reproductiva durante la sequía intraestival. También, se sugirió utilizar híbridos o variedades que pudieran prosperar según la duración esperada del ciclo de lluvias. El pronóstico de precipitación para PV es una herramienta de apoyo importante que aunada a la tecnología generada por el INIFAP, se puede proporcionar al agricultor recomendaciones más integrales en el afán de ayudarlo a disminuir el riesgo asociado a la agricultura. Se observó que el pronóstico de lluvia realizado para el año 2023, se apegó bastante bien a lo “percibido” en la realidad, aunque se requiere realizar una validación estadística y agronómica para conocer su precisión a mayor detalle.

### **Conclusiones**

El pronóstico de lluvia y su comportamiento en PV-2023 en Chiapas, constituye una herramienta valiosa para la toma de decisiones relacionadas con la agricultura de temporal; y ha sido adoptada por los agricultores. Se espera que el comportamiento de la precipitación esperada para PV-2023 sea similar a la de los años análogos obtenidos en este trabajo. En Chiapas, la diferencia espacial en fechas de inicio, fin y duración del periodo de lluvias; y duración de la sequía puede atribuirse a la variabilidad en el espacio de la configuración de las características fisiográficas. Algunas tareas a futuro que se proponen para conocer más sobre la precisión en el desempeño de este pronóstico, son evaluaciones estadísticas y agronómicas.

### **Agradecimientos y fuente financiadora**

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por las facilidades otorgadas para realizar este pronóstico y difundirlo con el sector agrícola.

### **Referencias bibliográficas**

- Arteaga R. R., Vázquez P. M. A., Coras M. P. M. y Ángeles M. V. Componentes de la estación de crecimiento, variación temporal y espacial en Chapingo, México. *Ingeniería hidráulica en México* 21: 57-68.
- López B. W., López L. A., Coutiño E. B., Camas G. R., Villar S. B., López M. J., Serrano A. V., Cadena I. P., Zamarripa M. A. y Sandoval M. C. (2008). Zonas potenciales y recomendaciones técnicas para la producción sustentable de maíz en Chiapas. Libro técnico número 1. Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas. Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México. 227 p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2023). Cold & Warm Episodes by Season. Available at: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) (consultado el 30 de abril de 2023).
- Raes D., Sithole A., Makarau A. and Milford J. (2004). Evaluation of first planting dates recommended by criteria currently used in Zimbabwe. *Agricultural and Forest Meteorology* 125: 177-185.
- Ruíz A. O., Arteaga R. R., Vázquez P. M. A., Ontiveros C. R. E. y López L. R. (2012). Inicio de la estación de crecimiento y periodos secos en Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 3: 85-102.

## EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN DOS EJIDOS DE VILLAFLORES Y UN EJIDO EN JIQUIPILAS MUNICIPIOS DE CHIAPAS, MÉXICO, PARA ESTABLECER UNA LÍNEA BASE Y REALIZAR UNA TRANSICIÓN A LA SUSTENTABILIDAD

Eileen Salinas-Cruz<sup>1\*</sup>, Osías Ruiz-Álvarez<sup>1</sup>, Walter López-Báez<sup>1</sup> y Roberto Reynoso-Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas

\*Autora para correspondencia: \*[salinas.eileen@inifap.gob.mx](mailto:salinas.eileen@inifap.gob.mx)

**Palabras Clave:** maíz, sistemas de producción mixtos, degradación de suelos,

### Introducción

Las proyecciones climáticas indican que en el futuro es probable que las temperaturas en Chiapas aumenten hasta en 1.6°C para 2030, mientras que se espera que la precipitación en 2030 esté en el rango de -6 m a -53 mm.

El impacto de la población humana sobre los recursos naturales ha crecido a niveles sin precedentes (Gordillo – Ruis y Castillo Santiago, 2017), en la agricultura el cambio en la precipitación puede aumentar las sequías e inundaciones sumado a la degradación del suelo y agotamiento de las fuentes de agua, por ello se deben tomar medidas como promover la rehabilitación y recuperación de suelos, utilizar información climática en la planeación agrícola implementar cultivos precoces y diversificar las actividades de los productores (Sosa-Rodríguez, 2015)

En el estado de Chiapas, las áreas dedicadas a las actividades agropecuarias y forestales presentan un grave deterioro que se manifiesta de diferentes formas: pérdida de la vegetación, acelerada disminución de la cubierta arbolada y sus impactos negativos en la diversidad biológica, una fuerte degradación del suelo por erosión hídrica, inundaciones, contaminación, así como por el uso prácticas inadecuadas de explotación de los recursos naturales (DOF, 2020). La mayor parte del suelo de uso agrícola estatal está dedicada al cultivo del maíz (Covaleda et al., 2016), convirtiendo a este grano en el producto alimenticio de mayor importancia en la entidad. En el año 2016 este cultivo aportó el 48% (684,463 ha) de la superficie sembrada y el 26.5% del valor de la producción (\$4'710,295). El rendimiento promedio estatal estimado fue de 2.0 ton /ha (SIAP, 2022).

Entre las principales causas de la alarmante pérdida de productividad y rentabilidad del cultivo de maíz en la entidad, destaca la degradación física, química y biológica de los suelos debido a la erosión hídrica provocada por la quema y pastoreo de los residuos de cosecha debido al sobrepastoreo, el excesivo laboreo de los suelos, ausencia de prácticas de conservación y el monocultivo, entre otros; situación que se ha agravado con los efectos indeseables del cambio climático (López et al., 2018). Condición generalizada en los suelos de municipios como Villaflores y Jiquipilas.

Lo anterior, representa un grave problema en el Ejido Cristóbal Obregón, Cuauhtémoc del municipio de Villaflores y Tiltepec en Jiquipilas, quienes, a pesar del uso de grandes cantidades de agroquímicos y maquinaria agrícola, no han mejorado sustancialmente la productividad del suelo, y obtienen un cada vez menor rendimiento de los cultivos y por tanto altos costos de producción al cultivar maíz en terrenos muy degradados, lo que ya no es rentable para muchos pequeños productores (Pulleman et al., 2008). Esta situación ha puesto en riesgo el desarrollo de la agricultura local al no ser sostenible. El deterioro del suelo no solo abarca la agricultura, ya que más del 80 % de los productores practican el sistema mixto maíz-ganado. Este sistema implica que todo el rastrojo del maíz es consumido por el ganado vacuno en la época de estiaje, causando que todos los residuos del período agrícola sean removidos (y lo restante es quemado), dejando al suelo completamente desnudo y con problemas de compactación por el pastoreo ocasionado por el sobrepastoreo (López et al., 2018; Reynoso et al., 2021).

Se analizó a través de una encuesta el sistema de producción de maíz, para determinar su rendimiento, costos e ingreso del productor, con la finalidad de obtener una línea base para que posteriormente se implementaran acciones como subsoleo, encalado, introducción de cultivos de cobertura entre otros, y poder llevar al productor a una agricultura sustentable.

## Objetivo

Analizar el proceso de producción del cultivo del maíz, primero para conocer su problemática actual y posteriormente establecer un mecanismo a través de un sistema de capacitación y asistencia técnica para que conjuntamente con los productores llevar a una producción agrícola sostenible.

## Materiales y métodos

Se realizó una encuesta línea base la cual constaba de tres apartados relacionados a los aspectos sociales, económico-productivos. Esta se aplicó a 54 productores pertenecientes a los ejidos Cristóbal Obregón (Longitud -93.446111 y latitud 16.428056, y 660 msnm) y Cuauhtémoc (Longitud -93.209167 y Latitud 16.312222, y 560 msnm) del municipio de Villaflores y ambos poblados pertenecientes a la región de La Frailesca, y Tiltepec (Longitud -93.870556 y Latitud 16.395000, y 680 msnm) en Jiquipilas, estado de Chiapas.

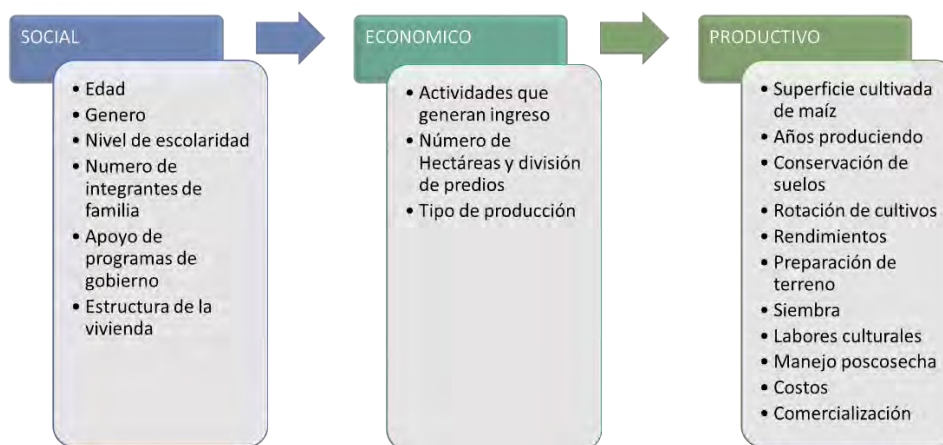


Figura 1. Composición de la encuesta

Posteriormente se generó una base de datos en programa Excel que sirvió para calcular tendencias con variables cualitativas y cuantitativas, de los aspectos evaluados, por medio de estadística descriptiva.

## Resultados y discusión

### Aspectos Sociales.

En las características distintivas de los productores, las edades oscilan entre 30 a 81 años, con un promedio de 56 años de edad. De los cuales un 90 % son hombres y un 10 % son mujeres. Se encuentran establecidos en los ejidos desde hace 51 años en promedio, con un mínimo de cuatro años y un máximo de 81 años. Las familias están conformadas en promedio de cuatro integrantes, de los cuales dos personas ayudan económicamente en los gastos del hogar, aportando un 84% de los gastos en promedio

El nivel de escolaridad de los productores es muy variado, el 42.6% estudio hasta la primaria, un 13% la secundaria, con un 22.2% la preparatoria, el 18.5 tiene licenciatura y un 3.7% el posgrado.

el 61% de los productores recibe apoyo a través de programas de gobierno, mientras que un 39% no recibe ninguno; De los cuales en Tiltepec, Obregón y Cuauhtémoc reciben dos diferentes apoyos el 85% recibe bienestar para el campo y el 15% el apoyo de adultos mayores de bienestar.

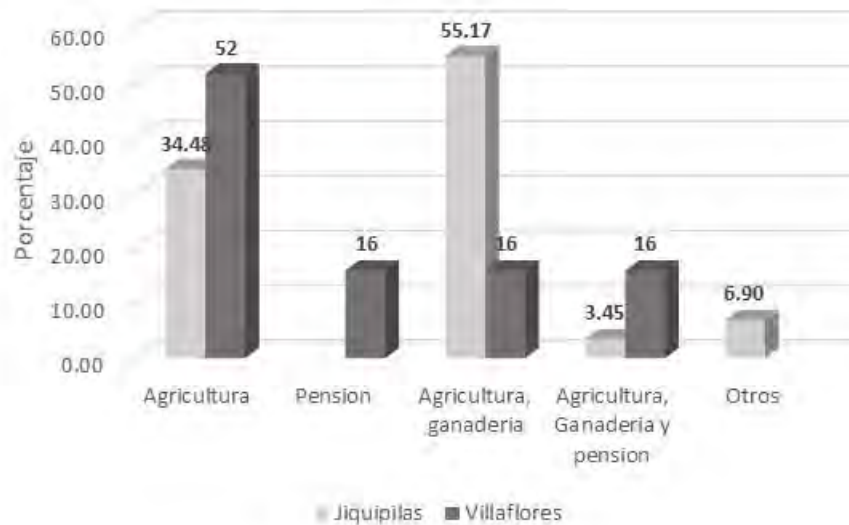
De los cuales en Tiltepec, Obregón y Cuauhtémoc reciben dos diferentes apoyos: Por el programa de producción para el bienestar como apoyo al incremento a la productividad de granos como el maíz, frijol, entre otros, lo reciben 84.8% de los encuestados y por el programa a adultos mayores (consiste en la entrega de un apoyo económico bimestral a adultos mayores de entre 65 a 68 años de todo el país), lo reciben un 15.2%, siendo estos por apoyos económicos sociales que reciben año con año.

El apoyo económico social es dirigido en menor cantidad a los gastos del hogar, mientras que el programa de producción para el bienestar es destinado en su mayoría para la compra de insumos para la producción

agrícola, esto para asegurar la producción de su cosecha y tener un sustento a largo plazo, si bien es utilizado como una inversión.

#### Aspectos Económicos

Los pobladores realizan actividades que le generan o les dan un ingreso monetario. Las actividades productivas las cuales desarrollan los productores son diferentes en relación a cada ejido; en cuanto a la agricultura se puede identificar que en los ejidos que pertenecen al municipio de Villaflores en mayor media se dedican a la agricultura como actividad principal (52%) y en un porcentaje menor lo combinan con ganadería u otra clase de ingresos, para el caso de Tiltepec dentro del municipio de Jiquipilas si bien la actividad agrícola representa un 34% de la actividad a la que se dedican para obtener un ingreso económico, el 55% la combina con ganadería, otras al cual el productor le generan ingresos son pensión y otras actividades (figura 2). Cabe mencionar que un grupo de 16% son pensionados y lo combinan sus ingresos con las actividades productivas del campo.



**Figura 2.** Actividad productiva que generan ingresos

Los productores tienen entre 13 a 41 hectáreas de terreno aproximadamente en producción, en promedio Tiltepec cuenta con 19 has en producción y ejidos como Cristóbal Obregón y Cuauhtémoc 13.19 has, divididos en predios, en un promedio de tres predios por productor, con un máximo de 10 y un mínimo de dos.

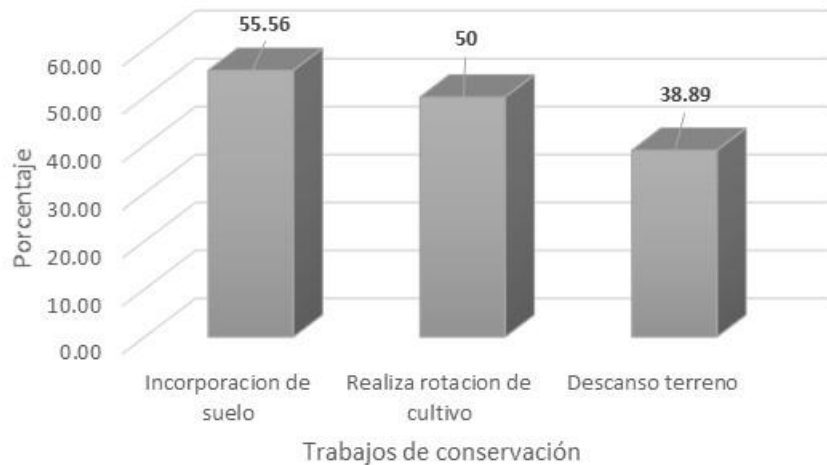
De tales actividades que se realizan en el campo, los productores destinan cada uno de los predios de acuerdo a la expansión de sus terrenos con las actividades productivas realizadas, el 45.8% de los terrenos son destinados para la ganadería, continuando por la agricultura con un 27.8% y el área forestal con un 26.4% en total, esto quiere decir que la gran mayoría de los terrenos son destinados a la producción agrícola y ganadera, que año con año están en producción.

#### Aspectos productivos

La siembra de maíz es una práctica que año con año los productores realizan, llevando un promedio de 34 años en producción de maíz, con un máximo de 84 años y un mínimo de 3 años. Si bien los productores cuentan en promedio con un mayor número de hectáreas el promedio destinado es menor tal es el caso de Tiltepec en donde se destina 3 hectáreas para la producción de maíz y en el caso de Cuauhtémoc y Obregón este promedio es de 5 hectáreas. No existe alguna diferencia dentro de los productores que además de producir maíz cuentan con ganado bovino en cuanto al número de hectáreas destinadas a la producción de maíz, ya que en el caso de Tiltepec este sigue siendo el mismo promedio destinada a este cultivo y de la misma manera está el caso de Cuauhtémoc y Cristóbal Obregón del municipio de Villaflores.

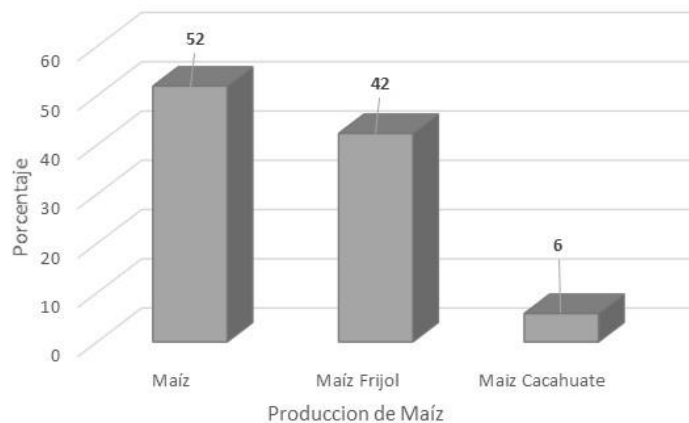


En cuanto la producción de maíz se les preguntó a los productores si realizan alguna práctica de conservación de suelos dentro de sus predios el 57.4 % de los productores realiza por lo menos una práctica de conservación, principalmente la incorporación de rastrojo, mencionando que esta actividad la llevan a cabo porque han entendido lo importante que es para generar materia orgánica en el suelo; por el contrario el 17% de los productores que producen maíz y además tienen ganado como sus actividades principales en donde obtiene ingresos, no realiza ninguna práctica, ya que el rastrojo del cultivo sirve como parte de la alimentación del ganado, lo que puede ocasionar la compactación del suelo por el sobrepastoreo, 11 animales por hectárea en pastoreo en un promedio de un mes y medio (Figura 3).



**Figura 3.** Prácticas de conservación de suelo

La combinación o rotación del maíz con leguminosas también es una práctica para conservación de suelos, aunque un 51.9 % de los productores solamente siembran maíz; a pesar de eso un 50% de los productores realizan la rotación de los cultivos o bien cultivos intercalados, un 42.3% siembran maíz y frijol, un 5.8% siembra maíz y cacahuete y un 3% siembra solamente cacahuete (Figura 4).



**Figura 4.** Diversificación de cultivos por productor

La siembra se realiza entre los meses de mayo a julio el 100% de los productores en los ejidos de Cuauhtémoc y Cristóbal Obregón utilizada semilla híbrida, mientras que en Tiltepec es el 27.59% los que utilizan semilla híbrida, 37.93% variedad y un 34.48% criolla se conocen dos tipos denominado Poblano y

San Bartolito; la siembra en un 79.6% es realizada en forma manual a través del espeque y el 20.4% lo realiza en forma mecanizada. El 70% realiza control de malezas de forma química utilizando principalmente Glifosato para el control; el 98% realiza control de plagas utilizando principalmente palgus (61%) para ello. La fertilización se realiza en dos aplicaciones y esta se realiza forma manual aplicando Urea (85%), DAP (37%) y cloruro de potasio (26%), solo un 3.7% realiza aplicación orgánica a través de estiércol. El rendimiento por hectárea para el Ejido Tiltepec es de 2.96 ton/ha mientras que para los ejidos de Cuauhtémoc y Cristóbal Obregón este fue de 5.46 ton/ha. El principal punto de venta para los tres ejidos es SEGALMEX (52%) con un precio de garantía de \$6,600 peso por tonelada, el 17% realiza la venta a un comprador municipal y otro 17% a un comprador estatal; mientras que el 15% requiere su producción para autoconsumo.

### Conclusiones

La mayor parte de los productores tienen sistemas de producciones convencionales o tradicionales, aunque el 57% realiza acciones para sustentabilidad como la cobertura del suelo y manejo de rastrojos incorporación de materia orgánica al suelo un porcentaje significativo introduce el ganado por lo menos un mes y medio ocasionando que su parcela no cuente con cobertura de rastrojo o un porcentaje mínimo. El uso de agroquímicos en el proceso de producción también son un factor de contaminación y degradación del suelo, lo que conlleva a la necesidad de establecer prácticas de conservación para la restauración de suelos de los ejidos estudiados dentro de los municipios de Villaflores y Jiquipilas.

### Agradecimientos

A The Nature Conservancy

### Referencias bibliográficas

- Covalada, Sara, Paz, Fernando, & Ranero, Alejandro. (2016). Carbono edáfico en Chiapas: Planteamiento de políticas públicas de mitigación de emisiones. *Terra Latinoamericana*, 34(1), 97-112. Recuperado en 31 de julio de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000100097&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100097&lng=es&tlng=es).
- Gordillo-Ruiz, MC y Castillo-Santiago, MA. (2017). Cambio de uso de suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Revista ecosistemas y recursos agropecuarios*, vol. 4(10): 39-49.
- López Báez, Walter, Reynoso Santos, Roberto, López Martínez, Jaime, Camas Gómez, Robertony, & Tasistro, Armando. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Fraylesca, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 65-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.848>
- López Báez, Walter, Reynoso Santos, Roberto, López Martínez, Jaime, Villar Sánchez, Bernardo, Camas Gómez, Robertony, & García Santiago, Jorge Octavio. (2019). Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(4), 897-910. Epub 22 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>
- Sosa-Rodríguez, F. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. INEGI. Realidad y espacio. *Revista internacional de estadística y geografía*. Vol. 6 (2): 4-23

## **BACTERIAS TOLERANTES AL ESTRÉS ABIÓTICO ASOCIADAS AL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEA MAYS*) EN EL VALLE DEL YAQUI, MÉXICO**

Alina Escalante-Beltrán<sup>1</sup>, Karem M. Figueroa-Brambila<sup>1</sup>, Vielka B. Jara-Morales<sup>1</sup>, Sergio de los Santos-Villalobos<sup>1</sup>, Edgar A. Cubedo-Ruíz<sup>2</sup>, Fannie I. Parra-Cota<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Biotecnología del Recurso Microbiano, Instituto Tecnológico de Sonora, <sup>2</sup>Campo Experimental Norman E. Borlaug, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

\*Autor para correspondencia: [parra.fannie@inifap.gob.mx](mailto:parra.fannie@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** estrés abiótico, microorganismos benéficos, promoción de crecimiento vegetal.

### **Introducción**

El cultivo de maíz es uno de los más importantes a nivel mundial, junto con el arroz y el trigo, produciéndose en casi 100 millones de hectáreas. Gran parte del territorio nacional es propicio para su producción, por lo que en los 32 Estados de la República Mexicana se produce maíz. Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera revelan que en 2022 se produjeron alrededor de 26 millones de toneladas de maíz. Actualmente, la población global se encuentra aumentando en cantidades impresionantes, lo que hace que la seguridad alimentaria sea un desafío importante. La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) pronostica un aumento de casi 10 mil millones de habitantes para 2050, lo que significa que la demanda de alimentos también seguirá aumentando. Se estima que, para este año, sólo la demanda de cereales alcanzará los 3,000 millones de toneladas, y la producción de alimentos debe aumentar entre un 70% y un 100%.

El cambio climático amenaza la seguridad alimentaria global debido a la disminución de la producción agrícola, siendo el maíz uno de los cultivos especialmente afectados. El maíz, al igual que múltiples cultivos agrícolas, ante los efectos del cambio climático como lo son las sequías, sufre un estrés biótico y abiótico, el cual afecta la fisiología vegetal (fotosíntesis, vigor, transpiración, tasas de crecimiento) causando pérdidas significativas de aproximadamente 50-82% en su productividad (de los Santos-Villalobos et al., 2021; García-Montelongo et al., 2023). Dado que la población mundial continúa en aumento, garantizar la seguridad alimentaria se ha convertido en un gran reto.

En las regiones tropicales y subtropicales, la sequía es la limitación más importante para mejorar la productividad del maíz, la cual puede enfrentarse estabilizando y agilizando la productividad de cultivos, y así promover la diversificación de éstos, así como una mejor gestión de la fertilidad del suelo y la generación de ingresos (Shiferaw et al., 2011). La alta incidencia de enfermedades, plagas de malezas e insectos pueden agravar a menudo las pérdidas debido al estrés abiótico, que en promedio pueden reducir los rendimientos en más del 30%.

El cambio de fechas de siembra, el incremento en el uso de fertilizantes y la intensidad de irrigación, así como adoptar variedades resistentes al cambio climático, son algunas de las modificaciones propuestas en las prácticas de cultivo; sin embargo, algunas de estas alternativas aumentan el deterioro ambiental o requieren fuentes de agua cada vez más escasas, por lo que se debe buscar una alternativa sostenible para incrementar la producción de alimento bajo escenarios de cambio climático. Los microorganismos benéficos, especialmente los microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPM), juegan un papel importante en el mantenimiento de los agroecosistemas funcionales y saludables. Estos PGPM pueden mejorar la adquisición de nutrientes y mitigar el estrés en las plantas, así como brindar protección contra plagas y enfermedades, a través de diferentes mecanismos, mejorando el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por lo tanto, la bioprospección de nuevos taxones de microorganismos con potencial agrobiotecnológico ha sido impulsada por la necesidad de aumentar los rendimientos de los cultivos, minimizando el uso de agroquímicos y mejorando la fertilidad del suelo (Hyder et al., 2023).

## Objetivo

Identificar bacterias promotoras de crecimiento vegetal que toleren distintos tipos de estrés abiótico (hídrico y térmico), mediante técnicas microbiológicas.

## Materiales y métodos

### *Reactivación y caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas*

Se reactivaron 48 bacterias aisladas del suelo asociados a cultivos de maíz en el Valle del Yaqui, Sonora, México, resguardadas en la Colección de Microorganismos Edáficos y Endófitos Nativos del Instituto Tecnológico de Sonora (COLMENA-ITSON), extrayendo cada cepa de glicerol al 30%, todas las cepas seleccionadas fueron cultivadas en agar nutritivo a una temperatura de 28°C por un periodo de 24 h, para posteriormente confirmar las características macroscópicas descritas para cada cepa y caracterizarlas microscópicamente.

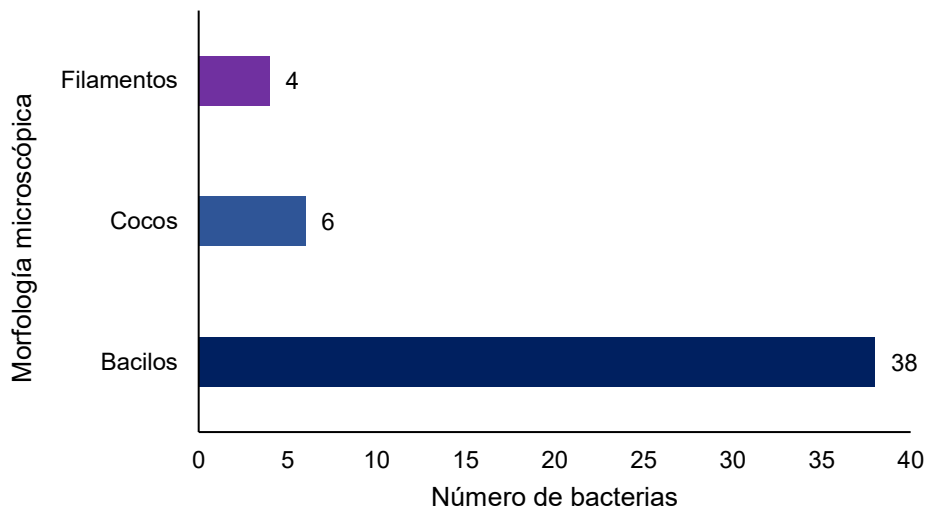
### *Evaluación de estrés abiótico in vitro*

Para evaluar la tolerancia de las cepas reactivadas al estrés hídrico se realizó un ensayo en cajas Petri conteniendo agar nutritivo suplementado con polietilenglicol (PEG) 6000 [Potencial Hídrico: -0.84 MPa]. Las cepas fueron sembradas por duplicado, incubándose por 120 h a 28°C. Para determinar su capacidad de tolerar el estrés, el crecimiento de cada cepa fue comparado con un control, es decir, el crecimiento de la misma cepa en agar nutritivo sin PEG. El efecto de estrés térmico en las cepas se evaluó mediante un ensayo en cajas Petri conteniendo agar nutritivo e incubándose por 72 h a 43.5°C, y como tratamiento control se incubó por 72 h a 28°C. Las evaluaciones para ambos tipos de estrés se realizaron por duplicado. Para analizar el efecto de estrés abiótico en el crecimiento de las cepas bacterianas se midió el diámetro del crecimiento de la colonia, tomando el crecimiento de la colonia de la cepa control como 100%. Los datos se analizaron con el programa STATGRAPHICS Plus ver. 5.1. Se clasificó el crecimiento de las cepas dentro de cinco rangos: a) 0% a 9.9% (crecimiento nulo), b) 10% a 49.9% (crecimiento bajo), c) 50% a 99.9% (crecimiento medio), y d) 100% o más (crecimiento alto).

## Resultados y discusión

### *Reactivación y caracterización macroscópica y microscópica de las cepas bacterianas*

De las cuarenta y ocho cepas reactivadas, todas coincidieron con sus características macroscópicas previamente descritas (Datos no publicados), coincidiendo en color, forma, elevación y consistencia. Para su caracterización microscópica, todas las cepas fueron Gram-positivas. Por otra parte, 38 cepas presentaron una morfología bacilar (cilíndrica o de bastones; rectos o curvos), 6 en forma de cocos (esféricas u ovaladas) y 4 en forma de filamentos ramificados (Figura 1).

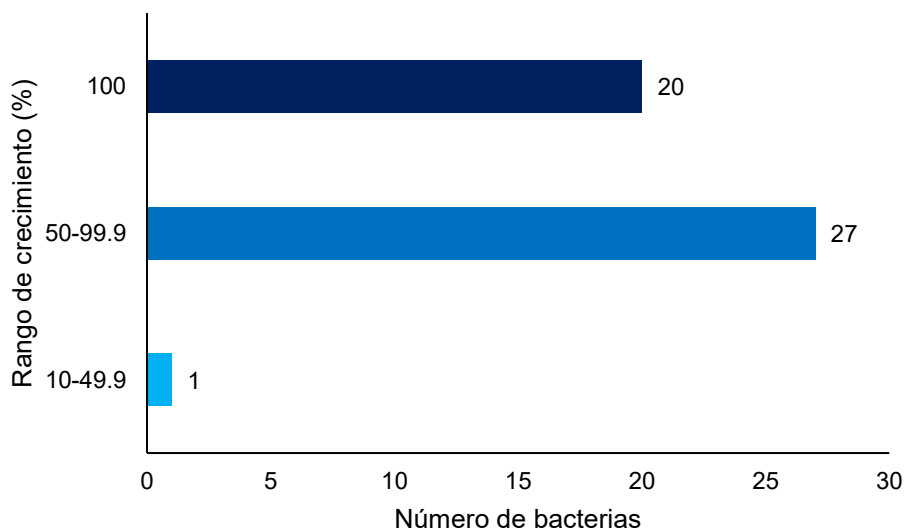


**Figura 1.** Caracterización microscópica de las cepas aisladas.

*Evaluación de la tolerancia al estrés abiótico in vitro*

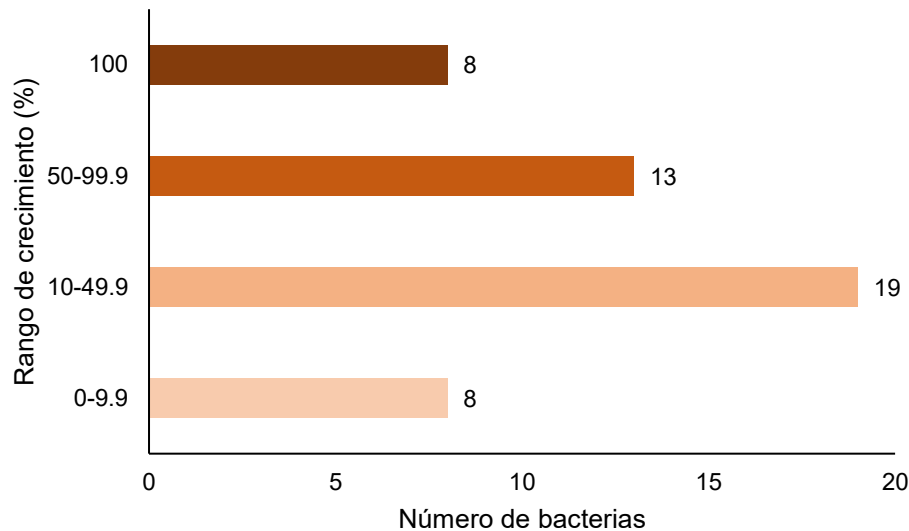
En el ensayo de estrés hídrico realizado, se observó que sólo una cepa tuvo un crecimiento nulo, 27 cepas presentaron un crecimiento medio, y 20 cepas se desarrollaron de mejor manera bajo las condiciones de estrés hídrico comparado con sus respectivos controles (Figura 2). En el ensayo de estrés térmico, 8 cepas presentaron un crecimiento nulo, 19 cepas tuvieron un crecimiento bajo, 13 cepas presentaron un crecimiento mediano, y 8 cepas presentaron un crecimiento superior al de sus controles (Figura 3).

En otros trabajos, se han realizado ensayos similares para identificar cepas asociadas al cultivo de trigo (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum*) perteneciente al Valle del Yaqui capaces de establecerse en la interfase suelo-planta y potenciar el desarrollo de ésta, resultando en el 50% de las cepas evaluadas tolerantes a todos los tipos de estrés (salino, hídrico y térmico), 10% de las cepas tolerantes al estrés térmico e hídrico, y 10% de las cepas demostrando tolerancia sólo al estrés hídrico (Valenzuela-Aragón et al., 2019).



**Figura 2.** Rangos de crecimiento en las cepas sometidas a estrés hídrico.





**Figura 3.** Rangos de crecimiento en las cepas sometidas a estrés térmico.

Se identificaron 13 cepas con una alta tolerancia a, al menos, uno de los dos tipos de estrés abiótico evaluados, lo cual se observó como un crecimiento mayor al presentado bajo condiciones óptimas de crecimiento, de las cuales 5 bacterias (11A5, 12A23, 23B12, 31B65 y 41B1) presentaron un crecimiento medio en estrés hídrico pero un crecimiento alto en estrés térmico, mientras que otras 5 bacterias (11A7, 21B11, 22A100, 32B67 y 53B7) presentaron un crecimiento medio en estrés térmico pero un crecimiento alto en estrés hídrico. Las cepas 42A2, 51B1 y 52B1 mostraron alta tolerancia *in vitro* a ambos tipos de estrés abiótico.

### Conclusiones

El Valle del Yaqui se encuentra bajo prácticas agrícolas convencionales intensiva desde hace al menos 60 años, lo que sugiere que las cepas utilizadas en esta investigación pueden interactuar con el cultivo de maíz, bajo dichas prácticas agrícolas y condiciones edafoclimáticas observadas en esta región. Las bacterias identificadas con tolerancia a los distintos tipos de estrés abiótico pueden ser la base para el desarrollo de inoculantes que contribuyan a la mitigación de los efectos negativos en las plantas de dichos tipos de estrés.

### Agradecimientos y fuente financiadora

Los autores(as) agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el financiamiento al presente estudio a través del Proyecto de Investigación Núm. 11175835959: Los microorganismos nativos del suelo como una estrategia para incrementar la tolerancia a estrés biótico y abiótico en cereales.

### Referencias bibliográficas

De los Santos-Villalobos, S., Díaz-Rodríguez, A. M., Ávila-Mascareño, M. F., Martínez-Vidales, A. D., & Parra-Cota, F. I. (2021). COLMENA: A culture collection of native microorganisms for harnessing the agrobiotechnological potential in soils and contributing to food security. In *Diversity* (Vol. 13, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/d13080337>

- García-Montelongo, A. M., Montoya-Martínez, A. C., Morales-Sandoval, P. H., Parra-Cota, F. I., & de los Santos-Villalobos, S. (2023). Beneficial Microorganisms as a Sustainable Alternative for Mitigating Biotic Stresses in Crops. *Stresses*, 3(1), 210–228. <https://doi.org/10.3390/stresses3010016>
- Hyder, S., Rizvi, Z. F., los Santos-Villalobos, S. de, Santoyo, G., Gondal, A. S., Khalid, N., Fatima, S. N., Nadeem, M., Rafique, K., & Rani, A. (2023). Applications of plant growth-promoting rhizobacteria for increasing crop production and resilience. In *Journal of Plant Nutrition*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2160742>
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. In *Food Security* (Vol. 3, Issue 3, pp. 307–327). <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Valenzuela-Aragon, B., Parra-Cota, F. I., Santoyo, G., Arellano-Wattenbarger, G. L., & de los Santos-Villalobos, S. (2019). Plant-assisted selection: a promising alternative for in vivo identification of wheat (*Triticum turgidum* L. subsp. *Durum*) growth promoting bacteria. *Plant and Soil*, 435(1–2), 367–384. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-03901-1>

## RESPUESTA NUTRICIONAL DEL CLON CUBANO CT-169 (*PENNISETUM PURPUREUM*) CON ABONOS ORGÁNICOS

José Alberto Kauil-D<sup>1</sup>, Carmen Zavaleta-C<sup>2\*</sup>, Fernando Casanova-L<sup>1</sup>, Edgar Enrique Sosa-R<sup>2</sup>, Jesús Eduardo Chuc-T<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Campus Tecnológico de la Zona Maya; <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

Autor para correspondencia: [\\*zavaleta.maria@inifap.gob.mx](mailto:*zavaleta.maria@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** forrajes de corte, alternativas de fertilización.

### Introducción

Los costos de fertilizantes inorgánicos han incrementado considerablemente, haciendo poco factible su aplicación en las praderas. Por otro lado, el uso a largo plazo de éste es considerado un contaminante al medio ambiente, además de que, dependiendo de la temperatura del suelo, estos fertilizantes podrían afectar la actividad degradadora de los microorganismos (Pardo et al. 2018). En México el estiércol de algunas especies es un recurso de alto valor nutricional y poco utilizado en las unidades de producción pecuaria, como abono a las praderas. La fertilización y la calidad del forraje están altamente relacionadas. El Clon Cubano CT-169, se obtuvo mediante la técnica de cultivo de tejido, su progenitor fue el king grass, se considera un forraje con mayor potencial respecto a su progenitor en las características físicas, bromatológicas y rendimiento de biomasa (Martínez et al. 2010). Sin embargo, la escasa fertilización impacta en la productividad y en los suelos ya que en general las gramíneas son altamente extractores de nutrientes.

### Objetivo

Evaluar los parámetros bromatológicos en el pasto clon cubano CT-169 (*Pennisetum purpureum*) mediante abonos orgánicos y fertilización inorgánica.

### Materiales y métodos

El análisis bromatológico de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Estudios Avanzados en Agroecosistemas del Instituto Tecnológico de la Zona Maya, ubicado en el kilómetro 21.5 de la carretera Chetumal-Escárcega, en la comunidad de Juan Sarabia, Municipio de Othón P Blanco, Quintana Roo, México. En una superficie de 1600 m<sup>2</sup> se encuentra establecido el pasto de corte Clon CT-169, al que se le realizó un corte de uniformización a 35cm, se identificaron 24 parcelas con dimensiones de 2 x 3 m. Las dosis de fertilización orgánica (pollinaza: PO; ovinaza: OVI) resultaron de comparar los nutrientes con la fertilización inorgánica (FI), de la dosis propuesta por Sosa et al. 2016, que corresponde a una dosis 260 kg/ha (urea) y 130 kg/ha superfosfato triple (SFT), y sin fertilización (SF) como tratamiento Testigo y frecuencias de corte (FC) 45 y 90 días (D). Las dosis de fertilización orgánica con OVI fue de 8.1 y 6.3 Tn/ha de PO. Los tratamientos fueron 8, cada tratamiento tuvo 3 repeticiones. (T1: SF 45D; T2: SF 90D; T3: FI (Urea-SPT) 45D; T4: FI (Urea-SPT) 90D; T5: PO-45D; T6: PO-90D; T7: OVI-45D y T8: OVI-90D). Se tomaron muestras de forraje para determinar materia seca (MS), el secado de las muestras se realizó en la estufa de circulación de aire forzado ED 400 (Binder Inc., Bohemia, NY, USA), posteriormente fueron molidas en un molino eléctrico (Mil IKA MF 10-IKA Works, Inc. Wilmington, NC USA) hasta pulverizarlas para realizar los análisis de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina. Para estos análisis se tomaron 0.45 mg de las muestras pulverizadas, posteriormente fueron introducidos en bolsas de filtro e introducidas en el analizador de fibras junto a una solución de agua destilada y sulfato de sodio por una hora y media, posteriormente se extrajeron y fueron dispuestas en 250 mL de acetona por 10 minutos, para luego ser secadas y pesar, los datos obtenidos se sustituyeron y los resultados se obtuvieron por fórmula. Para obtener proteína cruda (PC), se empleó el (Analizador Elemental Perkin Elmer 2400 serie II Perkin Elmer Inc., Massachusetts, USA), se agregaron 3 muestras por tratamiento de 0.2 mg,

posteriormente los resultados obtenidos del equipo fueron sustituidos en la fórmula para obtener los porcentajes finales de PC. Se realizó un análisis de suelo (Fertilab. S. DE RL, Celaya Guanajuato) antes de iniciar el experimento y uno al finalizarlo, en la parcela útil donde se tuvieron los tratamientos. Para observar si la extracción de nutrientes es considerable o se mantiene. El diseño fue bloques completamente al azar, con arreglo factorial, con 3 repeticiones. Los datos se analizaron en el Programa InfoStat con R y una comparación de medias con Tukey.

## Resultados y discusión

De acuerdo con los resultados que se presentan en el Cuadro 1, se observa que, en la PC%, el tratamiento con fertilización inorgánica y una FC de 45D, tuvo 6.39%, siendo el más alto en relación con todos los tratamientos; esta respuesta podría estar influenciada por la disponibilidad que tiene el fertilizante inorgánico respecto a los fertilizantes orgánicos, que requieren de mayor tiempo para la integración de los nutrientes al suelo (López et al. 2001), el rango de PC entre tratamientos fue de 3.89 a 6.39%, en este sentido, Gutiérrez et al. (2018), mencionan que los rumiantes aprovechan mejor el forraje si la PC está por encima del 10%, los valores obtenidos en la presente investigación fueron inferiores a los sugeridos, esto estaría en detrimento de la ganancia de peso de los animales alimentados con este forraje. La respuesta de los tratamientos sobre la FDN, muestran que con una FC de 45D es menor ( $p < 0.05$ ); sin importar el tipo de fertilización, con excepción del tratamiento no fertilizado, a los 90D, el % de FDN incrementa a excepción del tratamiento con ovinaza que estadísticamente es similar al no fertilizado. En este sentido, Suárez (2016), tampoco encontró diferencias estadísticamente significativas en sus tratamientos de fertilización orgánica e inorgánica en forrajes a los 90D. El % de FDA y una FC de 45 días mantienen los valores más bajos, esta respuesta es la esperada dado que es un forraje joven, de acuerdo con su especie, mientras que los valores encontrados en los tratamientos con una FC de 90D, mantienen un % de FDA mayor, sin embargo, son aceptables para ser parte de la dieta animal, según lo propuesto por Ospina (2004), ya que podría tener altos porcentajes de digestibilidad y favorecer en la cantidad y calidad de proteína verdadera. En el %FDA, se observa que no hay un efecto de fertilización, en los tratamientos a 90D con ovinaza, pollinasa y la fertilización inorgánica dado que son iguales entre ellos. Con respecto a la variable % de lignina, se puede observar que al incrementar la FC aumenta la relación de lignina en % lo cual es esperado, dado que al incrementar la edad de forraje la estructura se hace más fuerte para sostener la planta.

**Cuadro 1.** Respuesta nutricional del clon cubano CT-169 (*Pennisetum purpureum*) con abonos orgánicos.

TRATAMIENTOS	PC%	FDN%	FDA%	LIGNINA%
1	5.94 <sup>ab</sup>	59.13 <sup>ab</sup>	34.20 <sup>b</sup>	2.37 <sup>abc</sup>
3	6.39 <sup>a</sup>	57.75 <sup>b</sup>	34.74 <sup>b</sup>	1.77 <sup>bc</sup>
5	5.27 <sup>ab</sup>	56.61 <sup>b</sup>	34.08 <sup>b</sup>	1.23 <sup>c</sup>
7	5.80 <sup>ab</sup>	57.81 <sup>b</sup>	33.45 <sup>b</sup>	1.09 <sup>c</sup>
2	4.46 <sup>ab</sup>	71.17 <sup>a</sup>	43.52 <sup>a</sup>	3.29 <sup>a</sup>
4	4.04 <sup>ab</sup>	71.30 <sup>a</sup>	41.36 <sup>ab</sup>	1.73 <sup>bc</sup>
6	3.89 <sup>b</sup>	66.39 <sup>ab</sup>	39.25 <sup>ab</sup>	2.47 <sup>ab</sup>
8	5.09 <sup>ab</sup>	71.34 <sup>a</sup>	40.83 <sup>ab</sup>	1.64 <sup>bc</sup>

Medias con letras en común no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

El análisis de suelo mostro que después del experimento algunos elementos incrementaron como el K, Ca, Fe, Mn, Cu, mientras que otros disminuyeron: Mg, Zn, B, S y N-NO<sub>3</sub>. Al respecto, Ortiz et al. (2013), también observaron que algunos minerales como N, P y Ca se acumularon de forma significativa en el suelo, luego de aplicar abonos orgánicos, favoreciendo al suelo.

## Conclusiones

La FC tuvo efecto por tipo de fertilización siendo el más sobresaliente a los 90D con ovinaza en la MS %, la PC está por debajo de los rangos aprovechables por el animal, por lo que el trabajo debería extenderse a mayor número de meses en evaluación, para permitir que el estiércol se incorpore al suelo. La FDN y FDA se mantienen en rangos aceptables y podrán favorecer con una mejor digestibilidad, aprovechándose de mejor forma el forraje ofrecido.

## Agradecimientos

Tecnológico Nacional de México. Campus Tecnológico de la Zona Maya y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

## Referencias bibliográficas

- Pardo C. J., Perdomo R. M., Benavides L.M., MSC, J. L. (2004). Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. *Nova*. 2004 2(2), 40-49. <https://doi.org/10.22490/24629448.6>
- Martínez, R. O., Tuero, R., Torres, V., & Herrera, R. S. (2010). Modelos de acumulación de biomasa y calidad en las variedades de hierba elefante, Cuba CT-169, OM-22 y king grass durante la estación lluviosa en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(2), 189-193.
- Ortiz J., Gómez A.M., Hernández R., Granados Z., Pat F., Juan Manuel, & Aranda. (2020). Influencia del estiércol composteado y micorriza arbuscular sobre la composición química del suelo y el rendimiento productivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.). *Nova scientia*. 2020: 11(23). <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.1957>
- López M., Dimas L., Estrada D., Martínez R., Valdez C. (2001) Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz Terra Latinoamericana. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 2001. 19(4): 293-299. [Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz \(redalyc.org\)](https://www.redalyc.org/doi/pdf/10.15517/Revista.SMS.2001.19.293-299)
- Ojeda Q., Rodríguez J., O.A., Hernández R. C. Pastos y Forrajes Inglés (2019) ok.indd. [\[PDF\] Pastos y Forrajes Inglés 2019 ok.indd | Semantic Scholar](#)



## RESPUESTA DE LA ALIMENTACIÓN ESTRATÉGICA CON ENSILAJE DE MAÍZ (*ZEAMAYS*) EN BOVINOS CON DESTETE PRECOZ

Jesús Eduardo Chuc-T<sup>1</sup>, Carmen Zavaleta-C<sup>3\*</sup>, Mario Alberto Santiago-O<sup>2</sup>, Edgar Enrique Sosa-R<sup>3</sup>,  
Fernando Arellano-M<sup>3</sup> José Alberto Kauil-D<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México. Campus Tecnológico de la Zona Maya; <sup>2</sup>Centro de Desarrollo Tecnológico Tantakín; <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.

Autor de correspondencia [\\*zavaleta.maria@inifap.gob.mx](mailto:*zavaleta.maria@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** nutrición animal, ensilaje, suplementación.

### Introducción

Existe una demanda creciente y acelerada por alimentos de origen animal para consumo humano. La producción de alimentos de origen animal juega un papel importante en el tipo de producción, el cual deberá ser amigable con el medio ambiente y no competir por subproductos con el humano. Después de la pandemia el costo de alimento comercial para suplementación animal se elevó sorpresivamente, la demanda por materias primas para la elaboración de dichos alimentos escasearon, haciendo menos rentable la producción de carne, en este sentido, es necesario reducir los costos de producción sin sacrificar las ganancias, reto que abre las puertas a alternativas de producción que permiten sostener un hato manteniendo ganancias de peso conservadoras, pero a su vez rentables (Marianela et al. 2009). El ensilaje es una alternativa que permite conservar forrajes (fibra, caña de maíz o azúcar entre otros, mediante la fermentación, para mantenerlos en un estado semejante al que poseen cuando están frescos, estos factores determinarán el valor nutricional y representan una alternativa a la suplementación animal (Ocampo et al. 2013). El ensilaje de maíz se ha empleado como parte de las dietas de rumiantes con resultados factibles, por lo que en el presente trabajo se exploró en animales que tuvieron un destete precoz, como preparación hacia una engorda intensiva.

### Objetivo

Evaluar el efecto de la suplementación estratégica con ensilado de maíz (*Zea mays*) en el desempeño productivo de bovinos con destete precoz.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico Tantakín, perteneciente a FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) ubicado en el Km 4.5 carretera Tzucacab, localizado en la región sur del estado de Yucatán; a 36 msnm. La principal línea estratégica del centro es la **ganadería diversificada**, con énfasis en la producción de ciervo rojo, ganado bovino doble propósito y ovinos de pelo para producción de carne. Teniendo como principales funciones la de diseñar, implementar y difundir metodologías para la integración de redes de valor. El estudio tuvo una duración de 90 días, todos los animales recibieron 60g de una premezcla comercial de sales minerales y agua ad libitum. Se emplearon 27 bovinos, 12 machos y 15 hembras de las razas suizo por brangus los cuales, tuvieron un periodo de acostumbramiento de 14 días, los animales se distribuyeron en 3 grupos de forma homogénea. El promedio de peso corporal inicial variable al destete precoz fue de 158.00 ± 5.81 kg. Los tratamientos fueron 3: T1: testigo, sólo pastoreo, T2: pastoreo más suplementado con el 1% de su PV con ensilado de maíz. El T3: pastoreo más 1% del PV de alimento comercial. El manejo para la rotación de porteros se realizó mediante cerco eléctrico móvil. Los animales de los tres tratamientos fueron pesados cada 15 días, durante los 3 meses del estudio. Las variables evaluadas fueron: ganancia diaria de peso (GDP), ganancia de peso acumulada (GPA), conversión alimenticia (CA), ganancia de peso total (GPT) y peso final (PF). Adicional se llevó control de sanidad y vacunación. En las praderas se midió forraje ofrecido y residual, los grupos de animales se fueron rotando en diferentes potreros al disminuir la masa de forraje gradualmente para no provocar un sobrepastoreo. Se colectaron muestras de forraje para determinar la materia seca por

superficie pastoreada. Se realizaron muestreos de altura y peso en las praderas al entrar y salir, para saber la cantidad de forraje con la que comenzarían y terminaban cada lote de animales. La suplementación del silo y alimento comercial se realizó todos los días por la mañana. El diseño fue en bloques al azar con 9 repeticiones, el peso inicial se tomó como covariable, el análisis de los datos fue en el programa estadístico InfoStat con R y la comparación de medias con Tukey.

## Resultados y discusión

En el cuadro 1, se puede observar que el grupo de animales que recibieron una alimentación suplementaria con alimento comercial tuvieron los mejores valores ( $p < 0.05$ ) en las variables CA, GPT y PF. Sin embargo, este grupo presentó los costos de producción más elevados, al respecto González (2015), comparo un sistema de producción intensiva con alimento comercial y encontró que los indicadores económicos fueron negativos. Por otro lado, el grupo que se mantuvo sólo en pastoreo mantiene valores ( $p > 0.05$ ) iguales al grupo que mantuvo una suplementación con ensilaje de maíz, no obstante, numéricamente se observa que, en todas las variables evaluadas, el T2 mantiene valores más altos, la GDP fue de 640g, 200g más que cuando permanecen solo en pastoreo, esto repercutió en un mayor PF. Galina et al. (2009) evaluaron ensilaje de maíz en engorda de bovinos, obtuvieron 874g como GDP, observaron que a lo largo de 12 h el pH bajó de 6.5 a 6.2, lo que podría implicar una mayor población de bacteria amilolíticas reduciendo la digestibilidad del alimento, esto podría ser una posible respuesta a la ganancia de peso que se obtuvo en el presente trabajo, por otro lado, el destete precoz también tiene efecto en la velocidad de la ganancia de peso. El maíz es un recurso alimenticio de alta demanda para consumo humano, sin embargo, el uso de maíces forrajeros en la alimentación animal es más económica versus la alimentación con alimento comercial; el costo por kilogramo de ensilaje fue de 2.90 MXN, mientras que el alimento comercial tuvo un valor de 12.95 MXN por kg, por lo que los costos de alimentación con alimento comercial son superiores en un 88%. Respecto a la CA, se observan que existen diferencias ( $p < 0.05$ ), entre tratamientos para esta variable ya que T3 fue mayor a T1 y T2, en ese sentido, es importante recalcar que el grupo con ensilaje como suplemento muestra una mejor CA numérica, lo que se refleja en la ganancia de peso total y finalmente en el peso final, lo que repercutirá en beneficio económico para el productor, considerando que los costos de producción en una unidad de producción pecuaria van del 70 a 80% del total de sus gastos de operación (Martínez et al. 2018).

**Cuadro 1.** Respuesta de la alimentación estratégica en bovinos con destete precoz.

TRATAMIENTOS	GDP kg	GPA kg	CA	GPT kg	PF kg
T1	0.48 <sup>ab</sup>	3.86 <sup>ab</sup>	0.68 <sup>b</sup>	14.16 <sup>b</sup>	192.99 <sup>b</sup>
T2	0.64 <sup>b</sup>	7.12 <sup>b</sup>	1.01 <sup>b</sup>	18.90 <sup>b</sup>	197.74 <sup>b</sup>
T3	0.69 <sup>a</sup>	10.41 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	47.50 <sup>a</sup>	226.38 <sup>a</sup>

Medias con letras en común no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ )

## Conclusiones

El tipo de dieta repercutió en la conversión alimenticia, ganancia de peso total y ganancia de peso final, sin embargo, los animales suplementados con ensilaje de maíz son más competitivos con relación a la inversión y a la ganancia de peso, respecto al grupo de animales que sólo estuvieron en pastoreo, los suplementados con alimento comercial, tienen mayor peso final pero el costo de producción es alto.

## Agradecimientos

Al Centro de Desarrollo Tecnológico Tantakín. FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

## Referencias bibliográficas

Marianela C. J., Augusto R. B., Rodolfo WingChing-J. (2009). Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*) Agronomía Costarricense. 2009: 33(1), 133-146 [VALOR NUTRICIONAL DEL ENSILAJE DE MAÍZ CULTIVADO EN ASOCIO CON VIGNA \(\*Vigna radiata\*\) \(redalyc.org\)](#)

Ocanto G., Acevedo I, García. O. (2013). Evaluation of chemical and physical characteristics and functional silage corn (*Zea mays*) and silage sorghum (*Sorghum vulgare*). 2013. Revista ASA ISSN: 2343-6115. [Vista de Evaluación de las características fisicoquímicas y funcionales del ensilaje de maíz \(\*Zea mays\*\) Y ensilaje de sorgo \(\*Sorghum vulgare\*\). Municipio Urdaneta del Estado Lara \(uclave.org\)](#)

González Pérez, J. M. (2016). Evaluación económica de una engorda de toretes en dos sistemas de alimentación. CIENCIA ergo-sum: revista científica multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México- 2016. 23(2), 154-162. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-57109-0>

Galina, M.A., Ortiz-Rubio, M.A., Mondragón, F., Delgado-Pertíñez, M., & Elías, A. (2009) Rendimiento de terneros alimentados con silo de maíz o láctico con un promotor de la fermentación ruminal. *Archivos de Zootecnia*. 2009: 58(223),383-393. [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S000405922009000300007&lng=es&nrm=iso](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000405922009000300007&lng=es&nrm=iso). ISN.1885-4494.

Martínez, A. G., López, I. E., Jiménez, S. E., Portillo, B. A., Ángel, G. Y., Amor, A. A. R. (2018). Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum*. 2018 25(3), 8.

## **ABORDANDO EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SEGURIDAD ALIMENTARIA DEL VALLE DEL YAQUI: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y ACCIONES INNOVADORAS**

Suzuky Pinto <sup>1\*</sup>, Francisco H. Aispuro-Arana <sup>1</sup>, Enrico A. Yépez <sup>1, 2</sup>, Jaime Garatuza-Payan <sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora; <sup>2</sup> Sede Regional Sur de Sonora, Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM-UNAM), Instituto Tecnológico de Sonora

\*Autor para correspondencia: [suzuky.pinto19018@potros.itson.edu.mx](mailto:suzuky.pinto19018@potros.itson.edu.mx)

**Palabras clave:** Alta temperatura, calor nocturno, uso eficiente de agua, trigo

### **Introducción**

Con climas cada vez más extremos, también observamos impactos más dramáticos en la productividad agrícola, lo que amenaza nuestra seguridad alimentaria. La temperatura promedio global ha aumentado 1.1 °C durante las primeras dos décadas del siglo XXI y se prevé que esta tendencia continúe, al igual que la escasez de agua (IPCC, 2023). Las altas temperaturas, combinadas con olas de calor cada vez más prolongadas e intensas, agravan la escasez de recursos hídricos y exponen a gran parte de la población a crisis alimentaria severa. Estas condiciones requieren medidas agresivas para abordar los desafíos del cambio climático, donde la combinación de ciencia y tecnología desempeña un papel clave en la investigación enfocada a mitigar los efectos del cambio climático sobre la productividad agrícola. La temperatura nocturna es de gran relevancia para el desarrollo de los cultivos, especialmente para aquellos que requieren vernalización. No obstante informes recientes indican que la temperatura nocturna global está aumentando más rápidamente que la temperatura diurna. Sin embargo, determinar los efectos y mecanismos asociados al calor nocturno no es tarea sencilla; su estudio representa un gran desafío para los investigadores por lo que la información es limitada. Esta situación complica la toma de decisiones efectivas en los programas de mejoramiento de los principales cultivos que sustentan nuestra alimentación. La aplicación de tecnología innovadora que permita entender y manipular el potencial de adaptación de los cultivos al aumento de temperatura se presenta como una oportunidad prometedora.

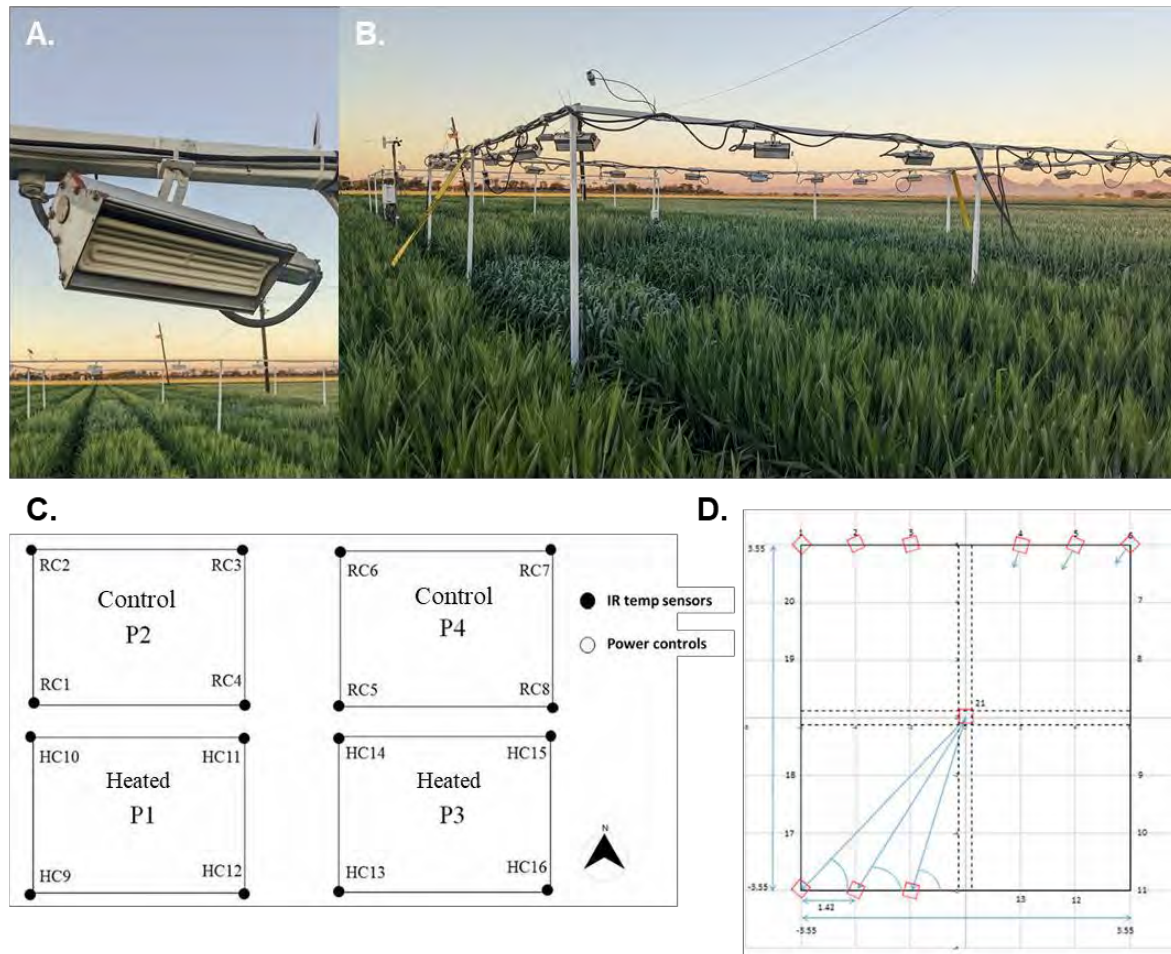
### **Objetivo**

En este proyecto se plantea como objetivo principal evaluar la tolerancia al estrés por calor en el cultivo de trigo mediante la aplicación de un enfoque científico y tecnológico innovador que permita someter al cultivo al aumento de temperatura artificial bajo condiciones de campo.

### **Materiales y métodos**

Se estudió el efecto del aumento de temperatura nocturna sobre el cultivo de trigo en un experimento de campo establecido en el Valle del Yaqui durante tres ciclos agrícolas desde 2019 a 2022. El ensayo se llevó a cabo en los terrenos de Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora A.C (PIEAES) en conjunto con el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y la Universidad de Nottingham (UK). Se sembraron 12 genotipos elite de trigo en un diseño de bloques al azar con dos repeticiones bajo dos tratamientos: calor nocturno y control (sin ningún tipo de manipulación). El calentamiento se inició durante el embuche con un sistema integrado por 21 calentadores ubicados estratégicamente en esquinas y centro de cada estructura metálica de 7.1 × 7.1 m elevada a una altura promedio de 1.3 m sobre el dosel de la planta en cada bloque. Para controlar el nivel de calentamiento se colocaron 4 termómetros infrarrojos en las esquinas de cada una de las 4 estructuras (2 por cada bloque de tratamiento), mismos que fueron monitoreados en tiempo real 24/7. Se utilizó un algoritmo inteligente que permitía incrementar la temperatura del dosel en +2°C en el periodo de 6:00 a 18:00 horas, realizando ajustes de acuerdo a las condiciones ambientales registradas cada 15 minutos (Kimball et al., 2015). Además de la eficiencia del

sistema, las variables registradas incluyeron rendimiento de grano y pérdida de agua; esta última se midió mediante un porómetro LI-600 (Li-Cor, Lincoln, NE, USA) en los dos últimos años del experimento. Todos análisis estadísticos se realizaron en el software R (R Core Team, 2022) utilizando un nivel de confianza del 95%.



**Figura 1.** Diseño experimental y fotografía de campo del sistema de calentamiento. A) Calentador infrarrojo instalado en cada una de las esquinas y centros de las cuatro estructuras metálicas ubicadas en cada bloque. B) Imagen real de uno de los bloques experimentales con los calentadores y sistema de monitoreo ya instalados. C) Esquema del diseño experimental que muestra dos bloques sometidos a calor y dos sin manipulación (P1, P2, P3 y P4) con monitoreo de temperatura de dosel (HC y RC indican los sensores de temperatura de dosel en cada esquina). D) Dimensiones del experimento y distribución de los radiadores (cuadros rojos) en cada uno de los cuatro bloques.

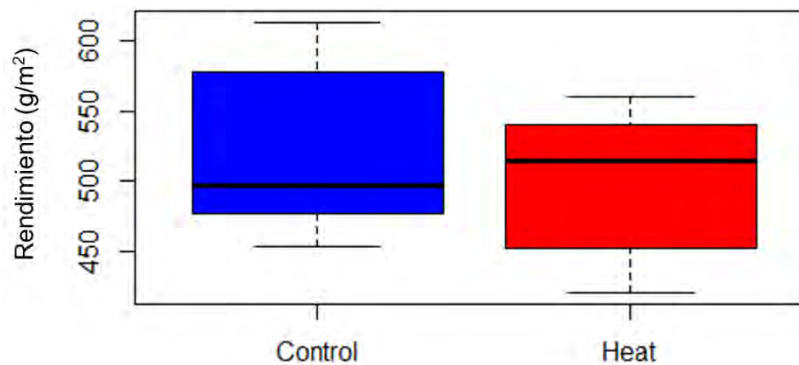
## Resultados y discusión

El sistema de calentamiento funcionó eficientemente registrando temperaturas nocturnas de dosel  $1.8^{\circ}\text{C}$  más altas que el control en 82% de las noches comprendidas dentro del periodo de aplicación del tratamiento de calor (Cuadro 1). La temperatura nocturna promedio de los bloques de tratamiento de calor fue de  $10.1^{\circ}\text{C}$  durante el periodo de tratamiento para los tres ciclos agrícolas, mientras que los bloques control registraron una media nocturna de  $11.7^{\circ}\text{C}$ . Estas variaciones se debieron principalmente a la presencia de vientos que dificultaron que el sistema alcanzara un diferencial constante de  $+2^{\circ}\text{C}$  durante todas las noches lo cual es normal para los meses de marzo y abril en la región.



**Cuadro 1.** Distribución del diferencial de temperaturas entre tratamiento y control en cada uno de los tres años de experimentos, mostrando el porcentaje de noches con registros desde  $\geq 1.8$  °C hasta  $< 1$  °C. Tdiff: diferencia entre la temperatura nocturna promedio del tratamiento y la del control.

Tdiff (°C)	% de noches		
	2020	2021	2022
$\geq 1.8$	82	86	94
$< 1.8$ & $\geq 1.5$	8	6	2
$< 1.5$ & $\geq 1.0$	4	4	0
$< 1$	6	4	4



**Figura 2.** Rendimiento de grano promedio en el tratamiento de calor y en el control en los tres años de experimentos de trigo realizados desde 2019 a 2022 en el Valle del Yaqui, Sonora.

El rendimiento se redujo por efecto del calor, observándose diferencias importantes en el germoplasma evaluado. Nuestros resultados mostraron que cada grado centígrado de aumento en la temperatura nocturna, el rendimiento se redujo en promedio 1.9% (Figura 2). Se observaron diferencias significativas para rendimiento de los 12 genotipos ( $p < 0.05$ ), el genotipo menos rendidor bajo calor reportó 373 g/m<sup>2</sup> mientras el más sobresaliente 558 g/m<sup>2</sup> lo que en este último caso significó una reducción de solo el 3% respecto al calor. En general, el tratamiento de calor redujo el rendimiento promedio en 3.8% ( $p < 0.05$ ) similar a lo observado en estudios previos (Schaarschmidt et al. 2021). La cantidad de agua perdida en forma de vapor se midió como conductancia estomática en hoja bandera mostrando una media de 0.27 moles/m<sup>2</sup> s durante el día y 0.039 moles/m<sup>2</sup> s durante la noche lo que representa el 14.4% de las pérdidas diurnas; lo anterior coincide con lo reportado por Caird et al. (2007) quienes indican que las pérdidas de agua de una planta son mayores en el día. Durante la noche las estructuras estomáticas cierran parcialmente reduciendo el intercambio de gases entre planta y atmósfera; dado que la actividad fotosintética se realiza durante el día es entendible que en este periodo la planta abra estomas para maximizar la captura de CO<sub>2</sub>, muchas a veces a costa de altas pérdidas hídricas (Sadok et al. 2020). En este sentido, lo interesante sería identificar genotipos que logren optimizar ambos procesos de intercambio gaseoso, maximizando la entrada de CO<sub>2</sub> y reduciendo a la vez las pérdidas de agua, tanto en la noche como en el día.

### Conclusiones

Mediante la conjunción de ciencia y tecnología fue posible realizar estudios sobre el incremento artificial de la temperatura nocturna bajo condiciones de campo. Este estudio es único en su tipo, a nivel internacional son pocos los programas de investigación que se enfocan en el análisis de las dinámicas gaseosas en el complejo planta-suelo-atmósfera que ocurren durante la noche por lo que se espera que nuestros resultados contribuyan a elucidar con mayor claridad los mecanismos de adaptación al cambio

climático del cultivo de trigo y que al mismo tiempo establezca las bases para continuar explorando los parámetros clave que permiten a la planta adaptarse ante eventos extremos de calor y sequía.

### **Agradecimientos y fuente financiadora**

El presente proyecto fue financiado por el Newton Project fund, el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Sonora (COECYT) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología el CONACYT.

### **Referencias bibliográficas**

- IPCC (2023). Consultado el 15 de agosto de 2023. Link: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- Caird, M. A., Richards, J. H., & Donovan, L. A. (2007). Nighttime stomatal conductance and transpiration in C3 and C4 plants. *Plant physiology*, 143(1), 4-10. DOI: 10.1104/pp.106.092940
- Kimball BA. (2015). Using canopy resistance for infrared heater control when warming open-field plots. *Agronomy Journal* 107: 1105–1112. DOI: 10.2134/agronj14.0418
- Sadok, W., Lopez, J. R., & Smith, K. P. (2021). Transpiration increases under high-temperature stress: Potential mechanisms, trade-offs and prospects for crop resilience in a warming world. *Plant, Cell & Environment*, 44(7), 2102-2116. DOI: 10.1111/pce.13970
- Schaarschmidt, S., Lawas, L. M. F., Kopka, J., Jagadish, S. K., & Zuther, E. (2021). Physiological and molecular attributes contribute to high night temperature tolerance in cereals. *Plant, Cell & Environment*, 44(7), 2034-2048. DOI: 10.1111/pce.14055.

## EVALUACIÓN DE FECHAS DE SIEMBRA DE SORGO DE RIEGO EN EL NORTE DE TAMAULIPAS

Jorge Elizondo-Barrón<sup>1\*</sup>, Ulises Aranda-Lara<sup>1</sup>, Héctor Williams-Alanis<sup>2</sup>, Samuel Puente Guillen<sup>3</sup>, Mario Marín Silva Serna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias;

<sup>2</sup>Ex INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. <sup>3</sup>Patronato para la Investigación Fomento y Sanidad Vegetal del Norte de Tamaulipas.

\*Autor para correspondencia: [elizondo.jorge@inifap.gob.mx](mailto:elizondo.jorge@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Periodo óptimo, *Sorghum bicolor*, genotipos.

### Introducción

El sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] en México se destina principalmente para la producción de grano y forraje, y es la base para la formulación de alimentos balanceados en el sector pecuario. En México, en el año 2022 se sembraron 1.36 millones de hectáreas de sorgo grano, con una producción total de 4.76 millones de toneladas y un rendimiento promedio nacional de 3.53 t ha<sup>-1</sup>. En Tamaulipas, en el año 2022, el sorgo se sembró en un total de 767,920 ha (93% de esta superficie correspondió al norte de Tamaulipas), principalmente al ciclo O-I (716,553 ha); 27% bajo condiciones de riego y 73% bajo condiciones de temporal.

El cambio climático ha traído como consecuencia un aumento en la ocurrencia de temperaturas extremas (Galicía *et al.*, 2020), sequía e incremento en la incidencia de plagas y enfermedades.

En el norte de Tamaulipas, el sorgo es afectado principalmente por: 1.- Sequía (en 2022, el sorgo en Tamaulipas rindió 2.88 t ha<sup>-1</sup>, rendimiento bajo debido principalmente a la sequía [(en 2014 (año con mayor precipitación pluvial), se sembró en Tamaulipas 974,609 ha y rindió 3.56 t ha<sup>-1</sup>]; además, la sequía en conjunto con altas temperaturas, favorece el desarrollo de la pudrición carbonosa del tallo, *Macrophomina phaseolina* (Williams *et al.*, 2004). 2.- Temperaturas menores a 0 °C que ocurren cada vez con mayor frecuencia (el 15 y 16 de febrero 2021 y el 23 y 24 de diciembre 2022). 3.- Mosquita midge (*Contarinia sorghicola*), que durante la época de floración afecta severamente las siembras realizadas a partir de la segunda quincena de marzo.

Actualmente en el norte de Tamaulipas, el sorgo en condiciones de riego se recomienda sembrarlo del 20 de enero al 08 de marzo. Sin embargo, esta fecha de siembra, no está basada en evaluaciones de campo con diseño experimental y repeticiones. Por tal motivo se requiere mediante el método científico, determinar el periodo óptimo de siembra del cultivo, con el fin de mitigar los efectos producidos por el cambio climático (bajas y altas temperaturas, plagas e incidencia de enfermedades).

### Objetivo

Identificar la mejor época de siembra de sorgo en condiciones de riego en el norte de Tamaulipas, ciclo otoño-invierno, que permita la obtención de altos rendimientos de grano.

### Materiales y métodos

El ensayo se estableció en el ciclo agrícola otoño-invierno (O-I) 2022/2023, en terrenos del Campo Experimental Río Bravo, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en las coordenadas geográficas 25° 57' 54" latitud norte y 98° 01' 03" longitud oeste. El suelo corresponde a la clasificación de Calcisol cámbico, con pendiente de 0.04 %, pobre en materia orgánica, fertilidad media con deficiencias de nitrógeno y fósforo y pH superior a 7.5, altitud 50 msnm; 648.3 mm de precipitación pluvial y temperatura media anual de 23.5 °C.

Para el establecimiento de todas y cada una de las fechas de siembra, se aplicó un riego de asiento o presiembra, consistente en una lámina de 15 cm de agua, más un riego de auxilio (en estado reproductivo), consistente en una lámina de 12 cm de agua. Durante el desarrollo del cultivo se presentó la siguiente

precipitación pluvial: En diciembre (55.6 mm), en marzo (33.2 mm), en abril (88.0 mm), en mayo (71.4 mm), en junio (22.8 mm), para un total acumulado de 271.0 mm.

Se estudiaron nueve fechas de siembra espaciadas cada 15 días, a partir del 01 de diciembre 2022 (01 dic 2022; 16 dic 2022; 01 ene 2023; 16 ene 2023; 01 feb 2023; 16 feb 2023; 01 mar 2023; 16 mar 2023; 01 abr 2023). Los cinco genotipos evaluados fueron cuatro híbridos comerciales de sorgo y una variedad de polinización libre (Tres genotipos de ciclo intermedio: RB-Norteño; P83G19 y DKS 821; y dos genotipos de ciclo tardío: RB-Williams y ADV-G3247).

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, donde la fecha de siembra fue la parcela grande y el genotipo la parcela chica. La densidad de población utilizada fue de 250,000 plantas por hectárea. La parcela experimental fue de tres surcos de 5 m de largo y 0.8 m de separación entre surcos. La parcela útil fue de un surco central de 3 m de largo (se eliminó un metro en cada extremo del surco). Para el manejo del cultivo se utilizó el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP para el cultivo de sorgo grano en el norte de Tamaulipas.

Los datos de las variables medidas (rendimiento de grano, días a floración, días a madurez fisiológica, días del periodo reproductivo, altura de planta, longitud del pedúnculo de la panoja o excursión, longitud de panoja), se analizaron usando el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute 2016). Además, se realizaron comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey al 5%.

## Resultados y discusión

En el cuadro 1, se presenta el análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de cinco genotipos en nueve fechas de siembra. Se encontró que el coeficiente de variación fue de 10.28 %. El valor de F fue altamente significativo ( $F \leq 0.01$ ) para, fecha de siembra y genotipos, así como para la interacción fecha x genotipo.

**Cuadro 1.** Análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de cinco genotipos de sorgo, en nueve fechas de siembra, bajo condiciones de riego, en Río Bravo, Tam., ciclo O-I 2022-2023.

Fuente de Variación	GL	Cuadrado de la media	Valor de F
<b>Bloque</b>	2	124532.1	0.45
<b>Fecha</b>	8	21180296.9	77.01**
<b>Bloque*Fecha</b>	16	508585.7	1.85
<b>Genotipo</b>	4	10083775.3	36.66**
<b>Fecha*Genotipo</b>	32	1010750.4	3.67**

\*\* Diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.01$ )

$R^2 = 0.9267$

Coefficiente de Variación = 10.280

Media de rendimiento de grano = 5.101 t ha<sup>-1</sup>

En el cuadro 2, se presenta la comparación de medias de las variables: rendimiento de grano, días a floración, días a madurez fisiológica, días del periodo reproductivo, altura de planta (cm), longitud del pedúnculo de la panoja o excursión (cm), longitud de panoja (cm), de cinco genotipos de sorgo en nueve fechas de siembra bajo condiciones de riego. Se observa que la producción de grano osciló entre 2.844 t ha<sup>-1</sup> (fecha 01 de diciembre) y, 6.862 t ha<sup>-1</sup> (fecha 01 de febrero). Así mismo, se observa que las fechas de siembra más rendidoras fueron las comprendidas entre el 01 de enero y el 01 de marzo, con 5.550 y 5.880 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente [las cinco fechas comprendidas en este periodo fueron estadísticamente similares ( $P \leq 0.01$ ), excepto la fecha del 01 de febrero que fue estadísticamente superior al resto de las fechas, con 6.862 t ha<sup>-1</sup>].

Datos contrastantes fueron encontrados por Herrera Y. A., Betancourt V. A. (1981) y, Sosa M. J. J. (1982), basados en evaluaciones de fechas de siembra de sorgo realizado en Río Bravo, Tamaulipas, encontraron que los mejores rendimientos de grano se obtuvieron en las fechas comprendidas entre el 01 de febrero al 15 de marzo.

Por otro lado, Montes G. N. (2010), basado en un modelo de regresión, determinó que para el norte de Tamaulipas el periodo del 04 de febrero al 07 de marzo, fue el óptimo para la siembra del sorgo de riego para el ciclo O-I.

En el periodo óptimo de siembra (01 de enero al 01 de marzo), los días a inicio de floración fluctuaron de los 84.8 días (fecha 01 enero) a los 66.7 días (fecha 01 marzo); los días a madurez fluctuaron entre 132.4 días (fecha 01 enero), a 109.4 días (fecha 01 marzo); el periodo reproductivo fluctuó entre 47.5 días (fecha 01 enero) a 40.1 días (fecha 01 febrero); la altura de planta fluctuó entre 123.8 cm (fecha 01 marzo) a 136.8 cm (fecha 16 febrero); la excursión fluctuó entre 18.8 cm (fecha 01 enero) a 8.4 cm (fecha 01 marzo); la longitud de panoja fluctuó entre 25.4 cm (fecha 01 enero) a 29.0 cm (fecha 01 febrero).

Dentro del periodo de siembra identificado como óptimo (01 de enero al 01 de marzo), con el aumento de la temperatura ambiental (temperatura promedio en enero 18 °C; temperatura promedio en febrero 19 °C; temperatura promedio en marzo 22 °C), se acumularon las unidades calor requeridas en menor tiempo y por tal motivo, se acortó el ciclo de vida del cultivo, se acortó el periodo reproductivo, se acortó la excursión, se aumentó la altura de la planta y la longitud de la panoja.

Estadísticamente las fechas con menores rendimientos de grano fueron las comprendidas entre el 01 de diciembre y el 16 de diciembre (las cuales fueron dañadas en su follaje por las temperaturas congelantes de -1 y 0 °C que se presentaron el día 24 de diciembre y 25 de diciembre, 2022, respectivamente), así como las fechas comprendidas entre el 16 de marzo y 01 de abril (en las cuales se observó un ataque severo de mosca midge, *Contarinia sorghicola* durante la etapa de floración).

**Cuadro 2.-** Comparación de medias para rendimiento de grano, días a floración, días a madurez fisiológica, días del periodo reproductivo, altura de planta (cm), longitud del pedúnculo de la panoja o excursión (cm), longitud de panoja (cm), de sorgo en nueve fechas de siembra bajo condiciones de riego, Río Bravo, Tamaulipas, ciclo O-I 2022/2023.

Fecha siembra	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	Días Inicio flor	Días madurez	Periodo reproductivo	Altura planta (cm)	Excursión (cm)	Long. Panoja (cm)
01 Feb	6.862 a	75.8 d	116.0 e	40.1 d	129.3 bcd	9.2 d	29.0 a
01 Mar	5.880 b	66.7 e	109.4g	42.6 c	123.8 d	8.4 d	27.9 ab
16 Ene	5.866 b	86.2 b	127.0 d	40.7 d	136.8 abc	18.6 abc	27.8 ab
16 Feb	5.590 bc	67.7 e	111.2 f	43.4 c	136.8 bc	15.9 bc	28.3 ab
01 Ene	5.550 bc	84.8 c	132.4 c	47.5 b	128.0 cd	18.8 ab	25.4 bc
16 Mar	4.685 cd	63.0 f	103.8 h	40.8 d	144.4 a	13.4 cd	27.8 ab
16 Dic	4.489 d	92.4 a	144.4 a	52.0 a	113.1 e	10.2 d	27.0 abc
01 Abr	4.140 d	61.3 g	101.6 i	40.2 d	138.2 ab	9.0 d	25.1 bc
01 Dic	2.844 e	92.7 a	144.0 b	51.3 a	111.1 e	22.5 a	23.6 c

Literales diferentes, indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.01$ ).

En el cuadro 3, se presenta la comparación de medias del rendimiento de grano de cinco genotipos de sorgo en nueve fechas de siembra. Se observa que a través de las nueve fechas de siembra el híbrido ADV-G3247 fue el más rendidor con 5.532 t ha<sup>-1</sup>, y fue estadísticamente similar a RB-WILLIAMS y DKS-821, que obtuvieron 5.435 y 5.399 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. También estos genotipos fueron superiores a RB-Norteño, el cual presentó un rendimiento de grano de 4.048 t ha<sup>-1</sup>

**Cuadro 3.-** Comparación de medias para rendimiento de grano de cinco genotipos de sorgo en nueve fechas de siembra bajo condiciones de riego, Río Bravo, Tamaulipas, ciclo O-I 2022/2023.

Genotipo	Rendimiento de grano t ha <sup>-1</sup>
ADV-G3247	5.532 a
RB-WILLIAMS	5.435 ab
DKS-821	5.399 ab
P83G19	5.090 b



<b>RB-NORTEÑO</b>	4.048	c
-------------------	-------	---

Literales diferentes, indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.01$ ).

En el cuadro 4, se presenta la comparación de medias del rendimiento de grano de cinco genotipos de sorgo en cada una de las nueve fechas de siembra. Se observa que, a partir de la primera fecha de siembra, todos los genotipos incrementaron su rendimiento en cada fecha de siembra hasta la quinta fecha del 01 de febrero, fecha en la cual obtuvieron su máximo rendimiento, para posteriormente en las siguientes fechas disminuir su rendimiento.

En el periodo identificado como óptimo de siembra (01 de enero al 01 de marzo), el promedio de rendimiento de los genotipos más rendidores fue: ADV-G3247, 6.479 t ha<sup>-1</sup>; DKS-821, 6.404 t ha<sup>-1</sup>, RB-Williams, 6.138 t ha<sup>-1</sup>.

**Cuadro 4.-** Comparación de medias para rendimiento de grano de cinco genotipos de sorgo en cada una de las nueve fechas de siembra bajo condiciones de riego, Río Bravo, Tamaulipas, ciclo O-I 2022/2023.

Genotipo	Fechas de siembra (rendimiento de grano t ha <sup>-1</sup> )								
	01 Dic	16 Dic	01 Ene	16 Ene	01 Feb	16 Feb	01 Mar	16 Mar	01 Abr
<b>ADV-G3247</b>	2.272 bc	5.153 a	6.815a	6.326 a	7.586a	5.647a b	6.025 a	5.504a	4.463a
<b>RB-WILLIAMS</b>	4.830 a	4.927 a	5.576ab c	5.725 a	7.468a	5.528a b	6.397 a	4.896a b	3.565b
<b>DKS-821</b>	2.459 b	5.241 a	6.055ab	5.869 a	7.363a	6.426a	6.308 a	4.448a b	4.419a
<b>P83G19</b>	3.256 b	4.059 ab	5.121bc	6.019 a	6.284a	6.030a	6.148 a	4.563a b	4.338a
<b>RB-NORTEÑO</b>	1.404c	3.074 b	4.184c	5.390 a	5.607a	4.321b	4.522 b	4.015b	3.917a b

Literales diferentes, indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.01$ ).

En el cuadro 5, se presenta la comparación de medias de los días a madurez fisiológica de cinco genotipos de sorgo en las nueve fechas de siembra. Se observa dos grupos de madurez; el primer grupo de genotipos de ciclo tardío, conformado por ADV-G3247 Y RB-WILLIAMS, los cuales en promedio obtuvieron los mayores rendimientos a través de las nueve fechas de siembra. El segundo grupo de genotipos de ciclo intermedio conformado por DKS-821, P83G19 y RB-Norteño.

**Cuadro 5.-** Comparación de medias para días a madurez fisiológica de cinco genotipos de sorgo en cada una de las nueve fechas de siembra bajo condiciones de riego, Río Bravo, Tamaulipas, ciclo O-I 2022/2023.

Genotipo	Fechas de siembra (días a madurez fisiológica)								
	01 Dic	16 Dic	01 Ene	16 Ene	01 Feb	16 Feb	01 Mar	16 Mar	01 Abr
<b>ADV-G3247</b>	153 a	148 a	136 a	133 a	126 a	121 a	112 a	111 a	108 a
<b>RB-WILLIAMS</b>	153 a	154 a	136 a	133 a	118 b	114 b	111 a	102 b	100 b
<b>DKS-821</b>	138 b	140 b	130 b	123 b	112 c	107 c	108 a	102 b	100 b
<b>P83G19</b>	138 b	140 b	130 b	123 b	112 c	107 c	108 a	102 b	100 b
<b>RB-NORTEÑO</b>	138 b	140 b	130 b	123 b	112 c	107 c	108 a	102 b	100 b

Literales diferentes, indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $P \leq 0.01$ ).

### Conclusiones

Se identificó al 01 de enero al 01 de marzo, como el periodo de siembra óptimo del cultivo de sorgo grano bajo condiciones de riego en el norte de Tamaulipas, ciclo otoño-invierno 2022/2023, con rendimientos que fluctuaron entre 5.550 y 6.862 t ha<sup>-1</sup>. Los genotipos que presentaron mayor potencial de rendimiento de grano fueron. ADV-G3247, RB-WILLIAMS y DKS-821.

Se observaron temperaturas congelantes de -1 y 0 °C, el 24 y 25 de diciembre, respectivamente, las cuales dañaron el follaje de las siembras realizadas en diciembre.

Se observó un ataque severo de mosca midge, *Contarinia sorghicola*, en floración, a las plantas de las fechas de siembra realizadas del 16 de marzo en adelante.

Con el fin de determinar con mayor precisión la fecha de siembra óptima para el cultivo de sorgo de riego, para el norte de Tamaulipas, durante el ciclo otoño-invierno, se requiere realizar esta misma evaluación de fechas de siembra, durante dos años más (ciclo O-I 2023/2024 y ciclo O-I 2024/2025).

### **Agradecimientos y fuente financiadora**

El presente trabajo se realizó gracias al financiamiento del Patronato para la Investigación y Fomento de Sanidad Vegetal (PIFSV), a través de proyecto No. 1411116023.

### **Referencias bibliográficas**

- Galicia J. M., Sinagawa G. S., Gutiérrez D. A., Williams A. H., Zavala G. F. (2020). Termotolerancia en líneas de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para grano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 221-227. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i1.1945>
- Herrera Y. A. y Betancourt V. A. (1981). Fecha óptima de siembra de sorgo. Folleto técnico No.1, SARHINIA-CIAGON. Campo Agrícola Experimental Río Bravo, 16p.
- Montes G. N. (2010). Estimación del periodo óptimo de siembras del sorgo de riego para el ciclo O-I en el norte de Tamaulipas. Ficha de tecnología nueva. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo., 2p.
- Sosa M. J. J. (1982). La importancia de sembrar oportunamente. Publicación sin número. SARH-INIA-CIAGON. Campo Agrícola Experimental Río Bravo, 7p.
- Williams A. H., Pecina Q. V., Zavala G. F., Martínez H. R., Rangel E. S., Machuca O. I. (2004). Reacción a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid, de híbridos comerciales y experimentales de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench, para grano. Revista Mexicana de Fitopatología 22:216-222.

## ÍNDICE DE VERDOR NORMALIZADO EN MAÍZ Y SU ASOCIACIÓN A LA SUFICIENCIA NUTRIMENTAL DE NITRÓGENO, MAGNESIO, ZINC, HIERRO Y COBRE

Cristo Omar, Puente-Valenzuela<sup>1\*</sup>, Nuria Aide López-Hernández<sup>1</sup>, Ramón Trucíos-Casiano<sup>1</sup>, Marco Antonio Inzunza-Ibarra<sup>1</sup>, Iván Franco-Gaytan<sup>2</sup>, Enrique Miguel-Valle<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>CENID RASPA, INIFAP, <sup>2</sup>Campo Experimental la Laguna, INIFAP  
\*Autor para correspondencia: [puente.cristo@inifap.gob.mx](mailto:puente.cristo@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** NDVI, Maíz, Nutrientes

### Introducción

La clorofila es un pigmento que lo contienen prácticamente todos los organismos fotosintéticos, su síntesis comienza con el ácido aminolevulinico (ALA), el cual es derivado del glutamato en plantas y algunas bacterias, sin embargo, la síntesis de clorofila y el grupo HEMO de la hemoglobina comparten las reacciones que convierten al ALA a protoporfirina IX, en la primera etapa de diferenciación de la vía para la síntesis de la clorofila, la quelatasa de magnesio (Mg) inserta un átomo de magnesio en lugar de hierro. Las reacciones subsiguientes, que incluyen una ciclización para formar un quinto anillo, convierten el Mg-protoporfirina IX en protoclorofilidina, que se reduce para generar clorofila. Las enzimas clave de esta síntesis son: ALA sintasa (EC 6.3.5.3), D-aminolevulinato deshidratasa (EC 4.2.1.24), Protoporfirinógeno oxidasa (EC 1.3.3.3) y Protoclorofilida reductasa (EC 1.3.2.3), las cuales ocupan como cofactores minerales para desarrollar su actividad los siguientes minerales: Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>. Otros procesos bioquímicos importantes que afectan la síntesis de la clorofila es la síntesis y transporte del glutamato, donde el primero es mediado por la glutamato sintasa (EC 6.3.1.2) la cual amonio, alfa – cetoglutarato, ATP y NADP como cofactores y como estabilizadores al Mg<sup>2+</sup> y a la Coenzima A, finalmente el transporte de este obedece a un transporte activo por transportadores ubicados en la membrana plasmática de las raíces de las plantas y su eficiencia en el transporte dependerá de la concentración de glutamato, pH (neutros a alcalinos), temperatura y el estado fisiológico de la planta (Chang A. et al. 2021).

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es un índice de vegetación que se utiliza para la monitorización de la vegetación en la tierra, actividad fotosintética y cobertura vegetal. Se calcula a partir de la radiación en dos rangos de longitud de onda: infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (RED), de manera que valores cerca de menos uno indican áreas de poca o ninguna vegetación y valores cercanos a uno indican áreas con vegetación densa y saludable. En la agricultura estas herramientas suelen ser empleadas para incrementar la rentabilidad de los cultivos, mejorando la detección de plagas, estrés hídrico, condiciones de fertilización. Lo que lleva a la agricultura a una práctica más sustentable y amigable con el medio ambiente.

Si bien en el presente trabajo se abordan los contenidos nutrimentales de nitrógeno, magnesio, zinc, hierro y cobre con el NDVI, es importante considerar las relaciones antagónicas que existen entre estos y los distintos nutrientes presentes en el suelo; en el caso del magnesio es reconocida su relación antagónica con el potasio, de manera que al haber un exceso de este en el suelo se dificulta la absorción del magnesio por las plantas, en el caso del cobre su principal relación antagónica es el zinc alterando su absorción y movilidad de este en las plantas, para el hierro su principal antagonista es el fósforo el cual disminuye su disponibilidad para las plantas y finalmente el zinc donde sus principales antagonistas son el fósforo y el calcio en altas concentraciones. Sin embargo, estos antagonismos puede variar de acuerdo a otros tipos de características del suelo (Mengel and Kirkby 2000).

### Objetivo

Analizar el índice de vegetación de diferencia normalizada del cultivo de maíz forrajero con el contenido de suficiencia nutrimental de nitrógeno, magnesio, zinc, hierro y cobre

## Materiales y métodos

El experimento se realizó en la Granja Palestina en el ejido del Porvenir municipio de Torreón Coahuila, en las coordenadas 25.7845, -103.31569, donde se sembró en seco la variedad de maíz N83N5 de Agribiotech®, las labores culturales fueron: 200 toneladas de estiércol por hectárea, con una fertilización base de 100 kg de sulfato de amonio, 100 kg de urea, 100 kg de MAP y 50 kg ácidos húmicos granulares y una fertilización secundaria (después de 30 días) con 8 bultos de sulfato de amonio y 8 bultos de urea por hectárea. Los riegos se realizaron por cintilla de la marca Toro, calibre 8000 y diámetro interno de 16 mm, con un gasto de 0.5 L\*h<sup>-1</sup> a 15 PSI, con una distancia entre goteros de 10 cm y colocada a una profundidad de 30 cm. Finalmente la densidad de siembra fue de 8 plantas por metro lineal con una separación entre hileras de 75 cm. La fecha de siembra fue el 20 de abril y de cosecha el 18 julio del presente año. Para el monitoreo de NDVI se utilizó la plataforma de Sentinel 2, con monitoreo cada 10 días aproximadamente, trabajo realizado en el laboratorio de sistemas de información geográfica agua – suelo del CENID RASPA INIFAP. Se realizaron un total de 5 muestreos foliares donde se tomaron muestras de planta aleatorias de regiones identificadas con un NDVI bajo < 0.50 y Alto > 0.75 ver imagen 1, estas fueron tomadas al tercio medio de la longitud total de la hoja y llevadas al laboratorio de agua, suelo, planta y medio ambiente del CENID RASPA INIFAP para su análisis. Previo al inicio del cultivo y con el estiércol integrado se realizó un muestreo (0 – 30 cm) y análisis de fertilidad de suelo realizado de en el laboratorio antes citado.

## Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran el análisis de fertilidad de suelos del sitio experimental en un suelo de textura media el cual presenta un pH en su pasta saturada de 8.25 clasificando como medianamente alcalino. Su conductividad eléctrica es de 4.89 clasificando como suelo salino, representando que el rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad. Con respecto al nivel de sodicidad el valor de la relación de absorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) estimados son de 0.92/1.34 respectivamente, representando que su suelo podría clasificarse como salino, con poca probabilidad de presentar problemas por sodicidad. Con respecto al contenido nutrimental su contenido puede clasificarse de moderado alto a muy alto, de manera que el suelo no presenta deficiencias nutrimentales que pueda limitar el desarrollo del cultivo (Castellanos, Uvalle, and Aguilar 2000).

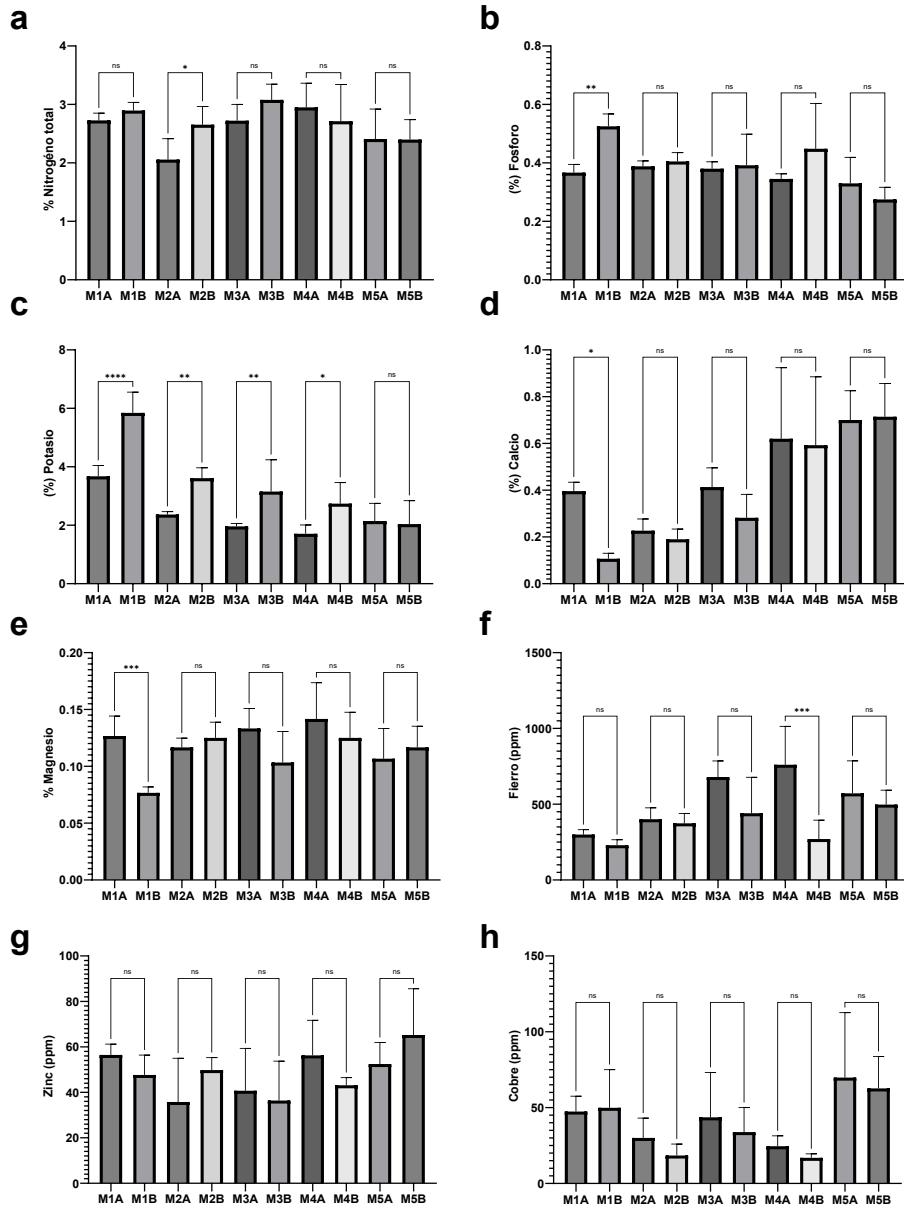
**Cuadro 1.** Análisis de fertilidad de suelo del sitio experimental.

Características físicas	Macronutrientes	Micronutrientes	Cationes Solubles				
<b>Da</b>	1.28 ± 0.03	N-NO <sub>3</sub>	187.29 ± 29.45	<sup>2</sup> Cu	2.14 ± 0.25	<sup>5</sup> Na	60.69 ± 15.89
<b>pH</b>	8.43 ± 0.18	P-Olsen	164.33 ± 49.88	<sup>2</sup> Fe	9.55 ± 1.19	<sup>5</sup> K	41.58 ± 15.02
<b>CE</b>	4.63 ± 0.71	<sup>1</sup> K	2014.67 ± 268.64	<sup>2</sup> Zn	3.85 ± 0.42	<sup>5</sup> Ca	474.01 ± 77.2
<b>Sat</b>	71.94 ± 0.99	<sup>1</sup> Ca	10806.59 ± 932.04	<sup>2</sup> Mn	58.59 ± 13.26	<sup>5</sup> Mg	37.11 ± 17.88
<b>CC</b>	36.68 ± 0.73	<sup>1</sup> Mg	508.72 ± 26.2	<sup>3</sup> S	129.79 ± 29.52	RAS	0.73 ± 0.22
<b>PMP</b>	20.87 ± 0.61			<sup>4</sup> B	2.33 ± 1.3	PSI	1.07 ± 0.32
<b>MO</b>	3.85 ± 0.54	<sup>1</sup> Na	118.16 ± 6.52				

Dónde: Da es densidad aparente en g/L, CE conductividad eléctrica en dS/m, Sat el porcentaje de saturación, CC capacidad de campo, PMP punto de marchitez permanente, MO materia orgánica en porcentaje, N-NO<sub>3</sub> nitratos en ppm, extraídos con hidróxido de calcio, RAS relación de absorción de sodio, PSI Porcentaje de saturación de sodio, el resto son símbolos químicos donde sus resultados se expresan en ppm. <sup>1</sup>Cationes extraíbles con acetato de amonio 1N pH 8.5, <sup>2</sup>Microelementos extraídos con DTPA, <sup>3</sup>Azufre extraído con cloruro de potasio 1N, <sup>4</sup>Boro extraído con agua caliente, <sup>5</sup>Cationes solubles en pasta saturada.

De acuerdo con los contenidos que presenta el suelo, en las concentraciones de cationes expresados en mEq/100 g de suelo, la relación de Ca/Mg es de 12.74, lo cual sobrepasa la relación recomendada de 3 – 5, haciendo que la planta tenga una mayor dificultad para la absorción de magnesio; la relación de Mg/K

es de 0.84 cuando la relación recomendada es de 2 – 7, lo que sugiere un efecto antagónico en la absorción de magnesio y con ello la concentración de este en las hojas por efecto del calcio y del potasio que se encuentran en niveles muy altos, este efecto antagónico ya se ha reportado con anterioridad y los resultados son consistentes con lo reportado (Narwal, Kumar, and Singh 1985)(Havlin et al. 2017).



**Figura 1. Contenido de macro y micronutrientes en muestras foliares**

En todos los casos se grafica la media y desviación estándar de una n = 6 repeticiones, M1 – M5 son los muestreos en orden cronológico, A representa a un índice NDVI alto y B a un índice NDVI bajo, se realiza un análisis de ANOVA con una comparación de medias de Bonferroni, donde los asteriscos indican el nivel de significancia.

En la gráfica 1, se muestran los resultados de los análisis foliares realizados, donde en el eje de las abscisas se colocan las fechas de muestreo y su identificación de índice NDVI (alto o bajo) y en las ordenadas los



valores obtenidos para cada nutrimento, si bien no se observan diferencias significativas en la mayoría de los nutrientes, pueden apreciarse tendencias que sugieren que la deficiencia del nutriente puede llevar a un índice NDVI bajo, esto en el caso del Fierro y Cobre (panel f y h respectivamente), indicando una baja producción de clorofila según lo planteado. Por otra parte, donde se observa una asociación muy fuerte es con el potasio (panel c), donde índices bajos de NDVI se asocian con contenido alto de potasio, generando un efecto antagónico en las concentraciones de magnesio como se discutió en el párrafo pasado, lo cual puede llegarse a asociar con la tendencia observada (panel e).

Finalmente, en la imagen 1 se muestran algunas imágenes características de zonas marcadas con índice NDVI bajo y alto (panel A inicio y B final), así como la proyección del cálculo del índice en el sitio experimental, es necesario comentar que durante las labores culturales el control de la maleza se vio comprometido lo cual interfirió con el cálculo del índice (panel E), así mismo existieron regiones donde el riego no se dio de forma adecuada limitando el desarrollo de las plantas (panel C), por último se muestra una fotografía de las plantas de las zonas marcadas con índice alto (panel D). Estos aspectos serán de gran importancia considerarlos para futuros experimentos y/o repeticiones del ensayo.



Figura 2. Índices NDVI calculados e imágenes representativas de regiones altas y bajas.

## Conclusiones

Las concentraciones foliares de potasio se asocian con el índice de NDVI calculado para las plantas, si bien en el resto de los nutrientes solo se observan tendencias, como en el caso del magnesio, fierro y cobre, es importante señalar que en el análisis de correlación de índice NDVI y contenido de nitrógeno (fertilización nitrogenada) se debe de considerar las relaciones antagónicas y contenido nutrimental de los minerales que son usados para la síntesis de la clorofila y no solo al nitrógeno.

### **Agradecimientos**

MC. Enrique Miguel Valle, con su valiosa colaboración en la elaboración de mapas y cálculo de NDVI, Laboratorio de agua, suelo, planta y medio ambiente del CENID RASPA INIFAP y laboratorio de sistemas de información geográfica agua – suelo del CENID RASPA INIFAP.

### **Fuente financiadora**

Recursos fiscales bajo el proyecto: “Determinación de la lámina de riego óptima en tiempo casi real como estrategia de adaptación/mitigación del cambio climático”, numero SIGI: 12494136181.

### **Referencias bibliográficas**

Castellanos, J.Z., J.X. Uvalle, and A. Aguilar. (2000). “Manual De interpretación De Análisis De Suelos Y Aguas.”

Chang A., Jeske L., Ulbrich S., Hofmann J., Koblitz J., Schomburg I., Neumann-Schaal M., Jahn D., and Schomburg D. (2021). “BRENDA, the ELIXIR Core Data Resource in 2021: New Developments and Updates.” (2021). <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa1025>.

Havlin, J L, J D Beaton, S L Tisdale, Werner R Nelson, and Werner L Nelson. (2017). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management Title Soil Fertility and Fertilizers.

Mengel, K., and E. Kirkby. (2000). “Principios de pudrición Vegetal.” Instituto Internacional de La Potasa, no. 1: 11–23.

[https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod\\_resource/content/2/PRINCIPIOS DE NUTRICIÓN VEGETAL.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRINCIPIOS_DE_NUTRICION_VEGETAL.pdf).

Narwal, R. P., Vinod Kumar, and J. P. Singh. (1985). “Potassium and Magnesium Relationship in Cowpea (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.).” *Plant and Soil* 86 (1): 129–34. <https://doi.org/10.1007/BF02185032>.

## **TELEDETECCIÓN Y MONITOREO REMOTO EN LA PRODUCCIÓN TECNIFICADA DE BROCOLÍ (BRASSICA OLERACEA VAR ITALICA) EN EL VALLE DE MEXICALI**

Samuel Samaniego-Gamez<sup>1\*</sup>; Moisés Yáñez-Juárez<sup>1</sup>; Fidel Núñez-Ramírez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa;

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California.

Autor para correspondencia: [samaniegos@uabc.edu.mx](mailto:samaniegos@uabc.edu.mx)

### **Palabras clave:**

Agricultura de precisión; hortalizas; Sistemas Remotamente Pilotados (RPAS).

### **Introducción**

En el valle de Mexicali existe una reconversión productiva tendiente a la producción de cultivos hortícolas. Destacando la producción de crucíferas. Debido a las exigencias del mercado meta es necesario el manejo agronómico. Donde destacan las técnicas para optimizar riegos, fertilización, controlar plagas y enfermedades, entre otros. Complementando estas tecnologías, es indispensable realizar monitoreos constantes durante el desarrollo del cultivo. Para plantear estrategias adaptativas a las condiciones ambientales. El monitoreo de cultivos se realiza de manera tradicional, a través de recorridos de campo por parte de agricultores y técnicos agrícolas. Donde se realizan observaciones en los sitios de mayor accesibilidad. No obstante, se encuentra en desarrollo la utilización de sensores remotos para dar seguimiento a los cultivos.

Actualmente se encuentra en auge la utilización de vehículos aéreos no tripulados (RPA), para transportar instrumentos con los que se realizan monitoreos, a través de fotografías aéreas. Con los que se obtienen ortomosaicos e índices de vegetación. Para generar datos particulares de cada parcela y poder realizar la supervisión remota extensiva. Relacionando condiciones de estrés en el cultivo con índices de vegetación (Ahirwar et al., 2019; Ahmad et al., 2022). Sin embargo, no existe información local respecto al monitoreo de dichas condiciones en el cultivo de brócoli para el valle de Mexicali.

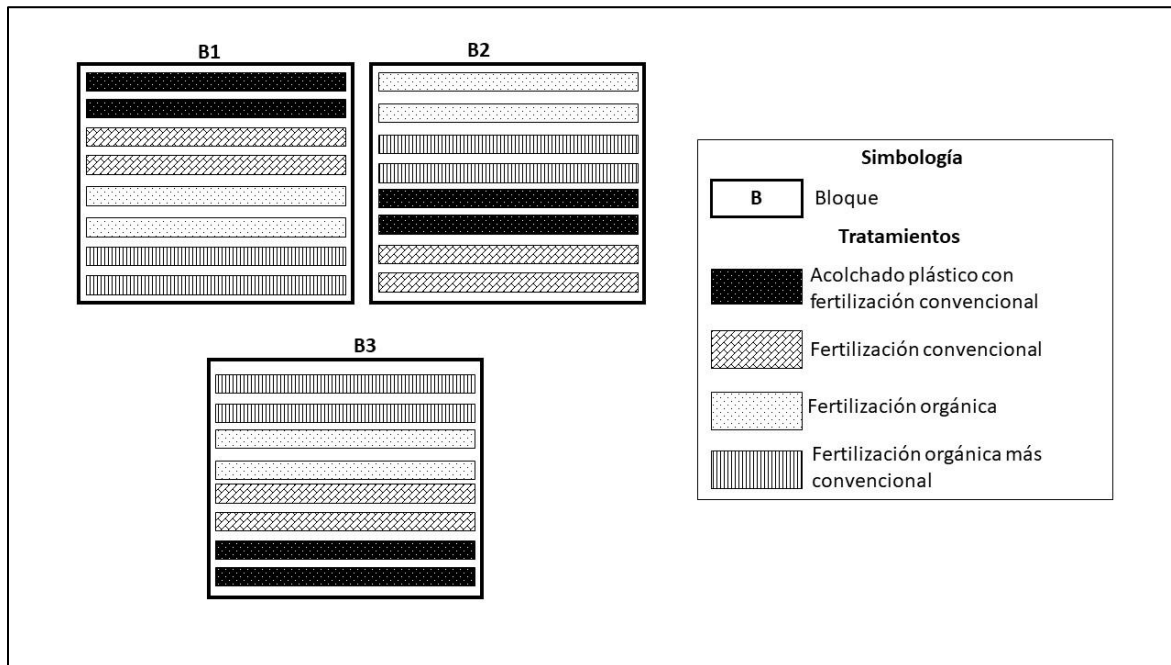
### **Objetivo**

El objetivo general de la investigación consiste en Determinar la eficacia del uso de la teledetección y el monitoreo remoto en la producción tecnificada de brócoli en el valle de Mexicali. Por medio del objetivo específico de la cuantificar la relación entre índices espectrales y de cobertura foliar con los rendimientos del cultivo.

### **Materiales y métodos**

El presente estudio se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, que se encuentra ubicado en las coordenadas: 32.407340° de latitud y -115.198861° de longitud. El cultivo se desarrolló en el ciclo de producción de otoño-invierno del año 2022-2023. Como se muestra en la figura 1, se utilizó un diseño experimental de tres bloques, cada uno con cuatro tratamientos, que consistieron en: acolchado plástico con fertilización convencional, fertilización convencional, fertilización orgánica y fertilización orgánica más convencional. Cada bloque consistió en ocho camas de siembra de 18.0 m de longitud, con separación de 1.8 m. Cada tratamiento se aplicó en dos camas de siembra. En cada cama se colocaron dos cintas de riego con goteros separados 20 cm. Se utilizó el híbrido de brócoli Tahoe RZ F1 (25-962), a una densidad de población de 5.1 plantas m<sup>2</sup> (Escobosa et al., 2022).

Cada 30 días después del trasplante, se generaron modelos estereoscópicos y ortomosaicos, por medio de imágenes obtenidas con RPAS Phantom 4 Pro V2.0. Las rutas de vuelo y ortofotos fueron generadas con la aplicación Dronedeploy. Estas ortofotos se procesaron mediante el software QGIS 3.22.10 para obtener valores de cobertura foliar y datos espectrales de las bandas roja, verde y azul, así como el Índice de resistencia atmosféricamente visible (VARI) (Awais et al., 2021).



**Figura 1.-** Diseño experimental utilizado.

Al concluir el ciclo del cultivo, 100 días después del trasplante, se realizó la determinación del rendimiento. Se cosecharon diez plantas ubicadas en la parte central de cada parcela. Se seleccionaron frutos tiernos y libres de defectos físicos. Se contabilizó peso total de la planta, el número de frutos por m<sup>2</sup>, el peso de los frutos y rendimiento por m<sup>2</sup>. Utilizando el software Minitab 18 se realizó el análisis multivariado de todos los elementos generando diagramas de dispersión. Para los que se determinó la correlación lineal de Pearson y bondad del ajuste a partir del cálculo del coeficiente de determinación R<sup>2</sup> (Zhou et al., 2017).

### Resultados y discusión

En primer lugar, se realizó el análisis de los datos segmentados por tratamiento. Se obtuvieron correlaciones máximas con el rendimiento en las siguientes observaciones: tratamiento 1: 0.34 de correlación con la cobertura foliar; tratamiento 2: 0.41 de correlación con la banda roja; tratamiento 3: 0.93 de correlación con índice VARI; tratamiento 4: 0.85 de correlación con banda roja. Posteriormente se realizó el análisis de la totalidad de elementos del experimento, donde se obtuvieron valores de correlación de 0.76 y 0.56 entre la cobertura foliar, el índice VARI y el rendimiento. En la figura 2 se observan los diagramas de dispersión del análisis multivariado de todos los elementos.



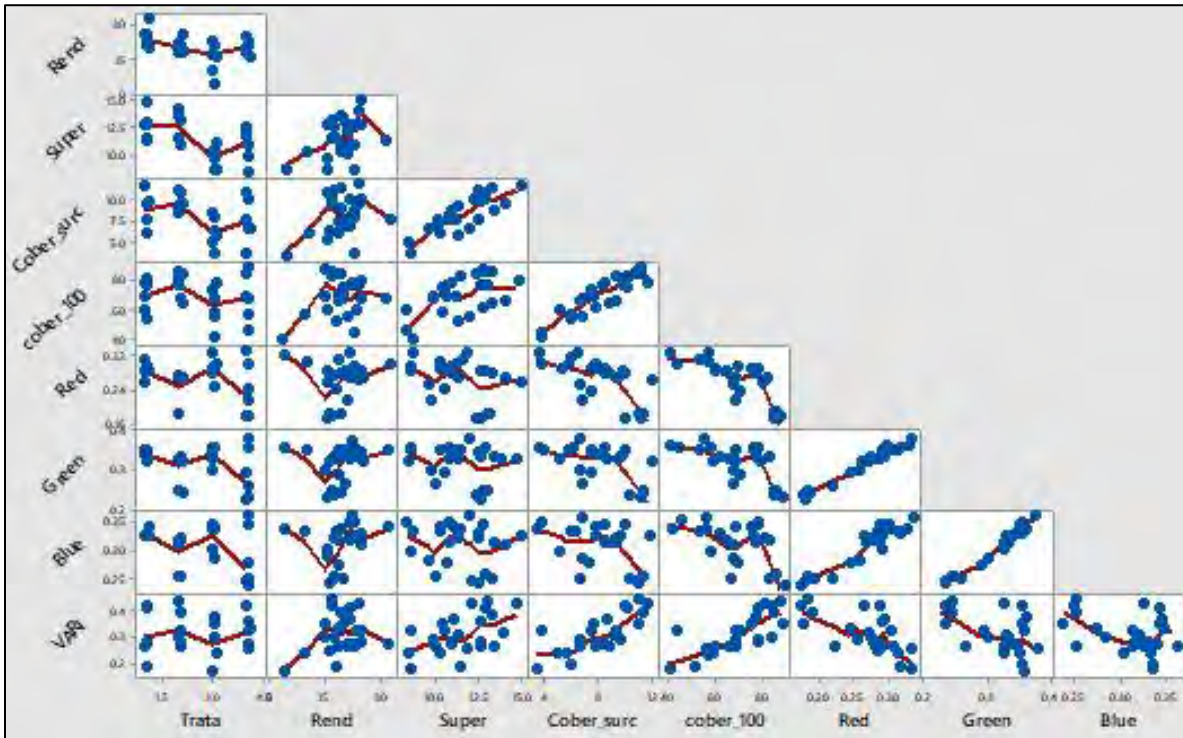


Figura 2.- Correlación multivariada de todos los elementos.

Leyenda: Rend: Rendimiento (ton\*ha<sup>-1</sup>); Super: superficie (ha); Cober\_surc: cobertura foliar del surco (m<sup>2</sup>); cober\_100: Porcentaje de cobertura foliar; Red: banda roja; Green: banda verde; Blue: Banda azul; VARI: índice de vegetación VARI; Trata: tratamiento.

### Conclusiones

La utilización de RPAS permite el monitoreo remoto en la producción tecnificada de brócoli en el valle de Mexicali. Se concluye que existe relación entre índices espectrales y de cobertura foliar con los rendimientos del cultivo. Lo que le confiere a los RPAS importancia en la gestión de los cultivos agrícolas, dado que permiten a los agricultores la optimización de recursos, reducción de riesgos, aumentar la productividad y promover la eficiencia y sostenibilidad.

### Agradecimientos y fuente financiadora

Se extienden amplios agradecimientos al Instituto de ciencias agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California por facilitar las instalaciones experimentales. Así también al programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa por los recursos académicos y de gestión proporcionados.

### Referencias bibliográficas

- Ahirwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(01), 2500–2505. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.264>
- Ahmad, N., Iqbal, J., Shaheen, A., Ghfar, A., AL-Anazy, M. M., & Ouladsmame, M. (2022). Spatio-temporal analysis of chickpea crop in arid environment by comparing high-resolution UAV image and LANDSAT



imagery. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(7), 6595–6610. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03502-z>

Awais, M., Li, W., Cheema, M. J. M., Hussain, S., AlGarni, T. S., Liu, C., & Ali, A. (2021). Remotely sensed identification of canopy characteristics using UAV-based imagery under unstable environmental conditions. *Environmental Technology and Innovation*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101465>

Escobosa, I., Vázquez, M., Samaniego, B., Valle, R., Vázquez, J., & Núñez, F. (2022). Efecto del acolchado en repollo cultivado en el Valle de Mexicali. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 28, 197–206. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3275>

Zhou, X., Zheng, H. B., Xu, X. Q., He, J. Y., Ge, X. K., Yao, X., Cheng, T., Zhu, Y., Cao, W. X., & Tian, Y. C. (2017). Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 246–255. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.05.003>

## EVALUACIÓN REGIONAL Y NACIONAL DE UN PRONÓSTICO HÍBRIDO ESTACIONAL DE LLUVIA SOBRE ZONAS AGRÍCOLAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

Miguel Ángel Gonzalez-Gonzalez<sup>1\*</sup>, Arturo Corrales-Suastegui<sup>1</sup>, Mario Primitivo Narváez-Mendoza<sup>1</sup>, Luis Antonio González-Jasso<sup>1</sup>  
CEPAB, INIFAP

\*Autor de correspondencia: [gonzalez.miguelangel@inifap.gob.mx](mailto:gonzalez.miguelangel@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Pronostico de lluvia mensual, modelo hibrido, evaluación.

### Introducción

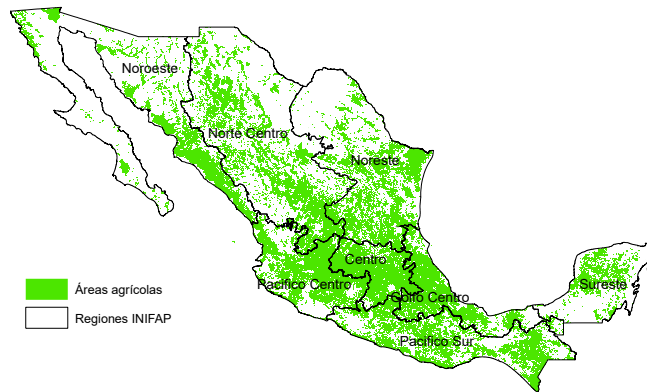
Debido al cambio climático, la ocurrencia de fenómenos naturales relacionados con eventos hidrometeorológicos, como sequías y lluvias intensas, está aumentando, afectando significativamente los rendimientos agrícolas. La pérdida promedio de producción agrícola por este tipo de eventos es importante por lo que se debe de poner la atención necesaria. Por ejemplo, el fenómeno de El Niño ha venido provocando una disminución del 50 % en las precipitaciones estacionales en algunas partes de México, lo que ha resultado en la pérdida de más de 2 millones de toneladas de maíz y otros granos básicos, y por un total aproximado de \$1,400 millones de dólares (Jiménez et al., 2016).

Es por ello que instituciones internacionales de investigación del clima como el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos a Largo Plazo (ECWF, por sus siglas en inglés, <https://www.ecmwf.int>), la Administración Nacional del Océano y la Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés, <https://www.noaa.gov>), y la Asociación de Cooperación Asia-Pacífico (APEC, por sus siglas en inglés), generan y desarrollan sistemas de predicción estacional de variables como precipitación y temperatura, principalmente. Del mismo modo, las autoridades públicas de otros países del mundo cuentan con sus propios sistemas operativos de previsión basados en modelos numéricos y/o modelos empíricos locales (Adams et al., 2003) e incluso modelos híbridos como la herramienta Climate Predictability Tool (CPT, <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/tools/cpt/>). A nivel nacional, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) emite cada mes un pronóstico de temperatura y lluvia trimestral y semestral con base en la herramienta CPT (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/precipitacion-form>); y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con su sistema de pronóstico PronEst (Corrales-Suastegui et al., 2014) (<https://clima.inifap.gob.mx/Inmysr/Perspectiva/PronosticoEstacional>) genera pronósticos mensuales de lluvia y número de días de heladas a tres meses, y el EMMH (Ensamble Multimodelo Híbrido), que es un nuevo modelo híbrido desarrollado por el INIFAP que combina los modelos numéricos del NMM (Multimodelo Numérico de Norteamérica, por sus siglas en inglés) y el modelo empírico PronEst para pronosticar la lluvia durante el ciclo agrícola primavera-verano (PV), es decir de marzo a septiembre.

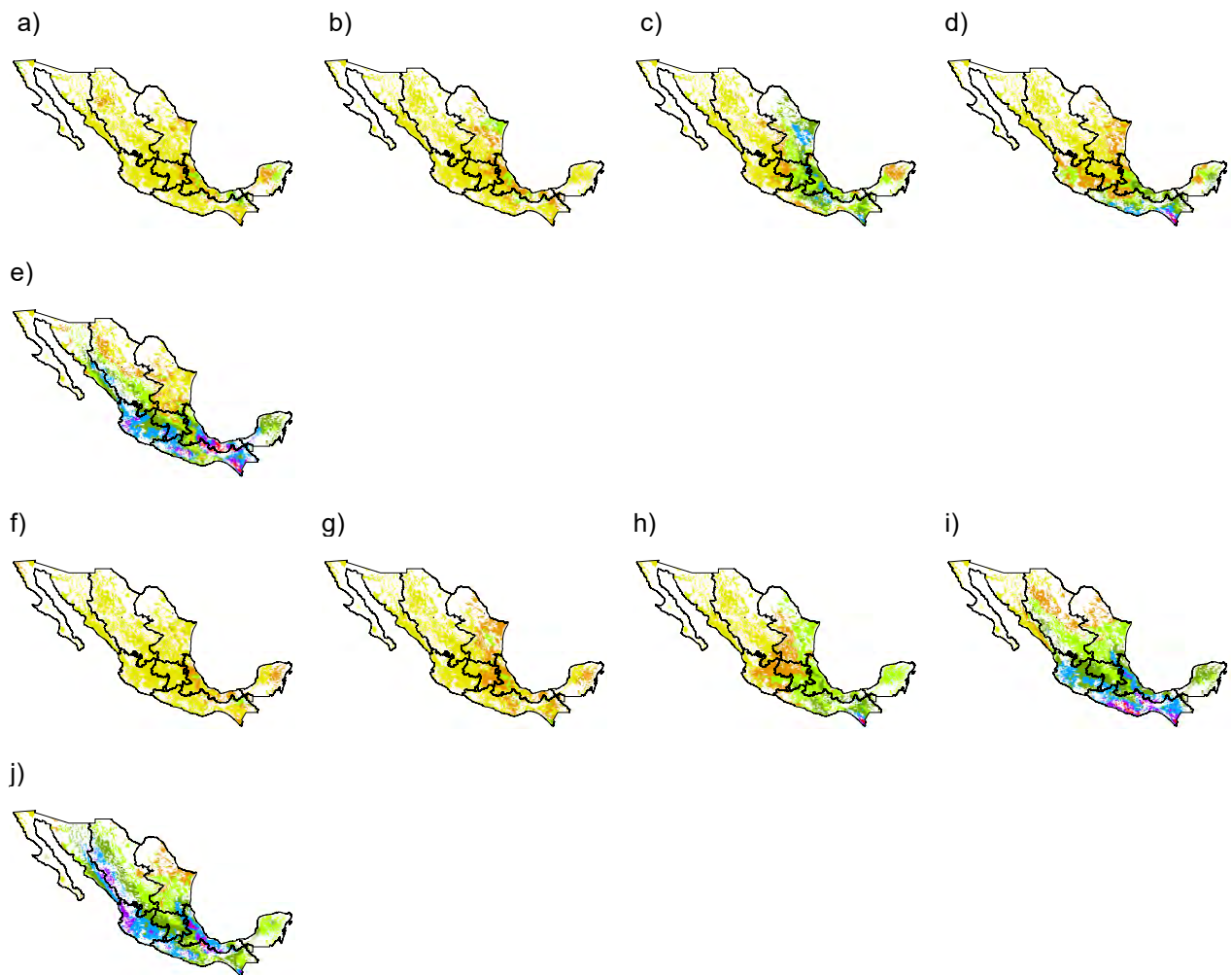
Aunque estas herramientas de predicción nacional están disponibles en la web, se le pone poca atención a su veracidad (González et al., 2023). Por lo tanto, este trabajo evaluó la certeza del modelo híbrido EMMH en lo que va del ciclo PV 2023; asimismo, se evaluó su certeza a nivel regional en México, lo que brinda a los usuarios de pronósticos estacionales un primer alcance de información de su confiabilidad en los subsiguientes pronósticos para prevenir acciones ante el cambio climático presente en las últimas décadas.

### Objetivo

Evaluar la propuesta del modelo: Ensamble Multimodelo Híbrido (EMM) para predicción de lluvia mensual a siete meses para el ciclo primavera-verano.



**Figura 1.** Áreas agrícolas y regiones sociopolíticas donde se validaron los pronósticos mensuales de lluvia.



**Figura 2.** Observación mensual de lluvia para a) marzo, b) abril, c) mayo, d) junio y julio, así como, pronóstico de lluvia mensual para e) marzo, f) abril, g) mayo, h) junio y i) julio, durante el ciclo PV 2023.

## Materiales y métodos

La extensión espacial del pronóstico a siete meses es a lo largo de las zonas agrícolas de la República Mexicana. Se dividieron en ocho regiones sociopolíticas al país: Noroeste, Norte Centro, Noreste, Pacífico Centro, Centro, Pacífico Sur, Golfo Centro y Sureste (Figura 1). Los datos de observaciones mensuales de lluvia se obtuvieron de CHIRPS2.0 (Funk et al., 2015) y los datos de pronóstico de lluvia del Ensamble Multimodelo Híbrido (EMMH) se obtuvieron del INIFAP (González-González et al., 2023). Cabe mencionar que, a la fecha de la realización de esta publicación, únicamente se pudieron obtener las observaciones de lluvia de marzo a julio de 2023, por lo que la evaluación únicamente tomó en cuenta dichos meses para evaluar el modelo EMMH (Figura 2).

El procedimiento de evaluación se realizó mediante el sistema de información geográfica QGIS (<http://www.qgis.org>), donde se superpuso la capa de terreno agrícola a nivel nacional en formato shp (shapefile). Para ello se utilizó la capa de uso de suelo y vegetación escala 1:25,000 del INEGI V3 donde solo se delimitaron áreas agrícolas (áreas temporales y áreas de riego). Los conjuntos de estas capas se utilizaron para extraer los datos puntuales de información de precipitación observada y pronosticada sobre áreas agrícolas en el país.

En principio se extrajeron (áreas agrícolas) los datos de observaciones y pronósticos mensuales de marzo a julio en formato grid (.tif) con una resolución de pixel de ~5,5 kmX~5.5 km o 6.25 ha. Con los datos extraídos de los pronósticos, se utilizaron dos indicadores principales para evaluar los pronósticos mensuales:

a) El sesgo (Bias) que consistió en la diferencia positiva o negativa (sobrestimación o subestimación, respectivamente) de lo observado y pronosticado en mm por medio la fórmula:

$$Bias = F - O$$

Donde, Bias es el sesgo mensual en mm en cada pixel, F es lo pronosticado mensual en el pixel y O lo observado mensual en el pixel.

b) El porcentaje de certeza en cada pixel (PCe), mediante la fórmula:

$$PCe = (Hits/N) * 100$$

Donde PCe es igual al porcentaje de certeza espacial de 0 a 100 %, Hits es el número de pixeles que acertaron la clasificación observada y la pronosticada, y N el número total de pixeles. Con anterioridad a la aplicación de esta fórmula, los pixeles se clasificaron de la siguiente forma: de 0 a 25 mm (categoría 1), de 25 a 75 mm (categoría 2), de 75 a 150 mm (categoría 3), de 150 a 300 mm (categoría 4), de 300 a 450 mm (categoría 5) y 450 mm y más (categoría 6). Se consideraron aceptables predicciones por arriba 40 %.

Finalmente, con ayuda de la capa de la República Mexicana y las ocho divisiones o regiones sociopolíticas, se calcularon las estadísticas espaciales regionales para determinar el valor promedio de cada región y el nacional. Todas las capas de datos en formatos shp y raster fueron georeferenciadas espacialmente en coordenadas geográficas decimales con Datum WGS 1984, sin proyección espacial.

## Resultados y discusión

Al evaluar el promedio espacial del sesgo del pronóstico a nivel nacional sobre áreas agrícolas (Cuadro 1), se observó que existe una subestimación de la precipitación en marzo y mayo 2023 (-5 mm y -2 mm, como promedio nacional). Asimismo, a nivel regional se observaron subestimaciones en abril de 2023 en las regiones Golfo Centro y Noreste (-4 mm y -2 mm, como promedio regional), y en las regiones Pacífico Sur y Sureste (-53 mm y -44 mm). Cabe mencionar que los valores bajos a nivel nacional y regional de marzo a mayo 2023 fueron debido a que son meses comúnmente con poca precipitación (temporada seca).

Las sobrestimaciones se presentaron especialmente en junio 2023, seguido de julio 2023 (76 mm y 10 mm, como promedio nacional), lo anterior debido a que en todo el país hubo un mal inicio del temporal de lluvias y a un amplio desfase en lo pronosticado por el modelo EMMH que esperaba un mejor temporal en la emisión del pronóstico (González-González et al., 2023), junto con otros pronósticos nacionales y globales como el NMM (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/NMME/archive/2023020800/monanom.shtml>),

ECMWF

([https://charts.ecmwf.int/products/seasonal\\_system5\\_standard\\_rain?area=NAME&base\\_time=202303010000&stats=tsum&valid\\_time=202307020000](https://charts.ecmwf.int/products/seasonal_system5_standard_rain?area=NAME&base_time=202303010000&stats=tsum&valid_time=202307020000)) y APEC (<https://www.apcc21.org/ser/global/outlookSummary.do?lang=en>) que también esperaban un inicio del temporal cercano a lo normal. A nivel regional, las más altas sobrestimaciones en abril y mayo de 2023 en la región Sureste fueron debidos a que es una región donde generalmente ocurren las más altas precipitaciones en el país en dichos meses, y por consiguiente un mayor sesgo. El promedio global en todos los meses en el país indicó una subestimación de la precipitación por parte del modelo EMMH (15 mm).

**Cuadro 1.** Sesgo mensual de la precipitación pronosticada para cada una de las regiones de la República Mexicana (promedio espacial) y el sesgo global (promedio temporal de todos los meses y de todas las regiones del país).

Región	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Centro	-3	6	-20	100	13
Noreste	3	-2	-55	56	44
Noroeste	-3	1	3	15	41
Norte Centro	-2	1	1	54	55
Pacífico Sur	-2	5	10	117	-53
Sureste	-22	10	20	39	-44
Pacífico Centro	1	2	15	128	22
Golfo Centro	-12	-4	-20	97	0
<b>PROMEDIO</b>	<b>-5</b>	<b>2</b>	<b>-6</b>	<b>76</b>	<b>10</b>
<b>PROMEDIO GLOBAL</b>	<b>15</b>				

En cuanto al porcentaje de certeza, a nivel nacional se detectaron valores altos ( $\geq 80\%$ ) en marzo y abril de 2023, ya que en varias regiones se presentaron valores mayores a  $80\%$ , estos valores se explican por la poca precipitación observada (temporada seca) y la precipitación pronosticada que comúnmente es poca, y por lo tanto ambas caen en la primera clasificación (0 a 25 mm). El promedio nacional de los valores de porcentaje de certeza disminuyeron de mayo a julio 2023 ( $61\%$ ,  $21\%$  y  $48\%$ , respectivamente), ya que es cuando menos empata lo observado y pronosticado debido a que aumentan las precipitaciones y por ende las clasificaciones o categorías (González-González et al., 2023). Destaca el mes de junio debido a su bajo porcentaje de certeza en casi todas las regiones del país, el cual fue un mes extremadamente seco (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>). También se observaron bajos porcentajes de certeza en julio ( $< 50\%$ ) en varias regiones del país como el Noreste, Norte Centro, y Golfo Centro, mientras que en las regiones del Pacífico Centro y Sureste se identifican mejores predicciones (valores de certeza por arriba de  $70\%$ ).

**Cuadro 2.** Porcentaje de certeza de la precipitación pronosticada para cada una de las regiones de la República Mexicana (promedio espacial) y el porcentaje de certeza global (promedio temporal de todos los meses y de todas las regiones del país).

Región	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Centro	87	72	53	1	50
Noreste	90	68	32	14	22
Noroeste	94	100	100	74	50
Norte Centro	94	100	87	10	38
Pacífico Sur	89	77	53	19	48
Sureste	52	61	52	40	74
Pacífico Centro	100	100	51	0	72
Golfo Centro	71	67	58	15	32
<b>PROMEDIO</b>	<b>85</b>	<b>80</b>	<b>61</b>	<b>21</b>	<b>48</b>
<b>PROMEDIO GLOBAL</b>	<b>59</b>				



## Conclusiones

El EMMH es un pronóstico de lluvia mensual a siete meses durante el ciclo primavera-verano (marzo a septiembre) sobre áreas agrícolas del país. Es un método novedoso que combina modelos geofísicos y el modelo desarrollado por el INIFAP (PronEst), además de su gran detalle espacial (~6.25 ha), necesario en el campo de la agricultura, principalmente.

Con el desarrollo de nuevos modelos de predicción estacional, existe la necesidad de evaluar la certeza para su potencial aplicación en los próximos procesos al entorno agrícola, como es el caso de la previsión de rendimientos, plagas, o del balance hídrico. Por lo que en este trabajo se concluye que la predicción de lluvia sigue siendo un gran desafío para los climatólogos o meteorólogos por la certeza baja en el inicio de las lluvias del ciclo PV 2023. Sin embargo, el uso de diferentes técnicas para combinar modelos (geofísicos y/o empíricos), pueden contribuir teóricamente a su mejora en la predicción. Asimismo, para confirmar la efectividad de este modelo, los pronósticos de los subsiguientes ciclos PV seguirán evaluándose, además evaluar simulaciones históricas o retrospectivas (hindcasts).

## Agradecimientos y fuente financiadora

Al proyecto de apoyo a la investigación INIFAP 940486079. EMMH: Ensamble Multimodelo Híbrido para predicción de lluvia heptamestral sobre áreas agrícolas de los municipios en México.

## Referencias bibliográficas

- Adams, R. M., Houston, L. L., McCarl, B. A., Tiscareno, L. M., Matus, G. J., and Weiher, R. F. (2003). The benefits to Mexican agriculture of an El Niño-Southern Oscillation (ENSO) early warning system. *Agricultural and Forest Meteorology* 115:183–194.
- Corrales-Suastegui, A., González-Jasso, L.A., Narváez-Mendoza, M.P., González González, M.A., Ruíz Álvarez, O., y Maciel-Pérez, L. H. (2014). PronEst: aplicación informática para generar pronósticos estacionales de lluvias y heladas de uno a tres meses. Folleto Técnico Núm. 62, INIFAP-CIRNOC-CEPAB 21p.
- González-González, M. A., Corrales-Suastegui, A., González-Jasso, L. A., y Narváez-Mendoza, M. P. (2022). Evaluación de pronósticos quincenales de lluvia durante el temporal para las áreas agrícolas de la República Mexicana. *Memoria de XXXIV Semana Internacional de Agronomía*. ISSN: 2594-1437.
- González-González, M.A., Corrales-Suastegui, A., Narváez-Mendoza M.P., y González-Jasso, L.A. (2023). Prospectiva de lluvia para el sector agrícola de México Ciclo Primavera-Verano 2023. Folleto Informativo Núm. 16, INIFAP-CIRNOC-CEPAB 72 p. ISBN: 978-607- 37-1542-3.
- Jiménez, M., Otero Justo, M. R., Salazar, E., Witkowski, K., y Chavarría Miranda, H. (2016). El fenómeno de El Niño en la agricultura de las Américas. *El Fenómeno de El Niño En La Agricultura de Las Américas*. Boletín Técnico.

## PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Nuria Aide López-Hernández<sup>1</sup>, Ramón Trucíos-Caciano<sup>1\*</sup>, Josué Delgado-Balbuena<sup>2</sup>, Eliab Estrada-Cortés<sup>3</sup>, Teresa Alfaro-Reyna<sup>2</sup>, Vidal Guerra-de la Cruz<sup>4</sup>, Gabriel Díaz-Padilla<sup>5</sup>, Víctor Rodríguez-Moreno<sup>6</sup>, Héctor Miguel Olivares-Soto<sup>7</sup>.

<sup>1</sup>CENID RASPA; <sup>2</sup>CENID Agricultura Familiar; <sup>3</sup>CE Centro Altos de Jalisco; <sup>4</sup>CEVAMEX, S.E.; <sup>5</sup>CE Cotaxtla, S.E.; <sup>6</sup>CE Pabellón; <sup>7</sup>CE Tecomán

\*Autor para correspondencia: [trucios.ramon@inifap.gob.mx](mailto:trucios.ramon@inifap.gob.mx)

**Palabras clave.** Resiliencia, tecnología, vulnerabilidad.

### Introducción

El cambio climático (CC) es una consecuencia del incremento exponencial en las emisiones de gases de efecto invernadero que, sumado a los cambios de cobertura de vegetación y uso de suelo, han provocado el incremento en la temperatura global de 1.1 °C sobre la temperatura de la segunda mitad del siglo XIX. Aunque se han realizado diferentes esfuerzos por hacer eficientes los procesos de producción de energía y de las actividades de mayor emisión, el incremento en la demanda de productos y servicios, debido al crecimiento poblacional, ha superado dichos esfuerzos.

El incremento de temperatura, se ha relacionado con mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos como ondas de calor, tormentas, sequías, ciclones tropicales, cambios en los patrones de precipitación, entre otros. Del mismo modo, se asocia el CC al aumento de presencia de plagas en algunas regiones del mundo. En el sector pecuario, se han documentado reducciones en las tasas de crecimiento animal y bajas en la productividad de sistemas pastoriles; y en el sector forestal, existe gran incertidumbre respecto al efecto que el CC tendrá sobre los ecosistemas terrestres.

Esta condición amenaza la seguridad alimentaria, el acceso al agua y otros recursos naturales, principalmente en países en vías de desarrollo de África, Asia y América Latina, especialmente en los sectores indígena, pequeños productores y de bajos ingresos, en donde los impactos de eventos meteorológicos extremos son hasta 15 veces mayores, comparados con las regiones menos vulnerables.

Es importante tomar en cuenta que los sectores que tienen la capacidad de remover carbono de la atmósfera para contrarrestar las emisiones antropogénicas son el sector forestal, y de manera indirecta el sector agrícola. Por parte del sector forestal, es necesario la implementación de técnicas de manejo y restauración que incrementen la capacidad de captura y almacenamiento de carbono en los bosques. En el sector agrícola, se requieren técnicas y acciones que consideren adaptaciones/modificaciones/innovaciones en los sistemas de producción que permitan una optimización de recursos bajo escenarios de incertidumbre climática. Por otra parte, en el sector pecuario, se requieren tecnologías que disminuyan la emisión de gases efecto invernadero (GEI) derivado de la producción animal. Así mismo, los cambios en el uso/cobertura de la tierra pueden incrementar o mitigar los efectos del cambio climático a nivel regional, por lo que constituyen una prioridad en las políticas públicas de atención al cambio climático.

### Objetivo

El objetivo de este trabajo fue identificar tendencias y perspectivas de investigación, en los sectores agrícola, pecuario y forestal, sobre estrategias de producción basadas en escenarios de cambio climático en México.

### Materiales y métodos

Se utilizó el método de investigación documental, que consiste en la búsqueda, análisis e interpretación de datos obtenidos mediante fuentes secundarias. Se trabajó con un diseño no experimental de tipo transversal y descriptivo, profundizando en los factores de vulnerabilidad de los sectores agrícola, forestal

y pecuario, tomando en cuenta escenarios de cambio climático como incremento en temperatura, cambio en patrones e intensidad de precipitación, entre otros. La obtención de la información se realizó en fuentes secundarias y bases de datos de sitios oficiales, tales como el Banco Mundial, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y su base de datos (FAOSTAT), el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR), el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Encuesta Nacional Agropecuaria 2019 (ENA). Además, se realizó una búsqueda de información en el ISI Web of Knowledge empleando palabras clave como: “climate change”, “vulnerability”, considerando un rango de búsqueda entre los años 2015 y 2023.

Después de un análisis preliminar, se seleccionaron aquellas técnicas que se consideran necesarias en la investigación de la agricultura dentro de un contexto de cambio climático. El criterio de selección fue la factibilidad de ser aplicadas, según el contexto geográfico y socioeconómico de México; y, se identificaron, para fines descriptivos en este trabajo, en tres categorías de aplicabilidad: optimización, adecuación e innovación.

## **Resultados y discusión**

### Vulnerabilidad del sector agrícola mexicano al cambio climático

México cuenta con una gran diversidad de climas y agroecosistemas que genera una compleja climatología; sin embargo, en más de la mitad del territorio de México dominan los climas secos y las regiones áridas y semiáridas, es decir, sitios con temperaturas altas y baja precipitación. Los pronósticos de cambio ambiental estiman una disminución entre 10 y 20% de la precipitación anual en las zonas semiáridas del país, lo cual tendrá un efecto directo en la actividad de las plantas, los microorganismos del suelo, y, por tanto, en la productividad de los cultivos.

En México, el 74 % de las áreas agrícolas son de temporal; es decir, están totalmente sujetas a las variaciones climáticas. Por ejemplo, la sequía del año 2011 afectó a 19 de los 32 Estados de la República con pérdidas en 2,700,000 ha de maíz y frijol. En las zonas áridas y semiáridas de México, la agricultura de temporal podría estar más limitada, no solo por condiciones de mayor sequía, sino también por mayores temperaturas. Estudios previos de disminución de precipitación y aumento de temperatura en cultivo de frijol de temporal en México mostraron aceleración en el desarrollo del cultivo, favoreciendo la acumulación de biomasa. En contraste, las mismas condiciones experimentales de cambio climático también aceleraron las fenofases del cultivo de trigo de riego, pero produjeron reducciones de hasta 33% en la producción de grano.

### Vulnerabilidad de los bosques y selvas al cambio climático en México

La vulnerabilidad de las especies forestales al cambio climático global se debe principalmente a que las especies forestales están adaptadas a condiciones climáticas específicas, por lo que cualquier cambio en esas condiciones puede afectar sus patrones de distribución, crecimiento y supervivencia. Debido a que las especies forestales tienen largos periodos de desarrollo, los cambios rápidos en el clima pueden afectar su capacidad de adaptación por décadas o incluso siglos a nuevas condiciones climáticas. Adicionalmente, el cambio climático también puede aumentar la incidencia de plagas y enfermedades que afectan los bosques y selvas del país. Las especies forestales estresadas por el cambio climático pueden ser más susceptibles a estas plagas y enfermedades, lo que puede aumentar la mortandad de árboles con la consecuente alteración en los procesos y funciones de los ecosistemas forestales. La vulnerabilidad de los bosques al cambio climático se incrementa debido a una combinación de factores que interactúan entre sí y que pueden afectar la salud y capacidad de resiliencia de los bosques y sus recursos asociados al aumentar el estrés hídrico, cambiar los patrones de precipitación, frecuencia de disturbios e invasiones de especies exóticas.

### Vulnerabilidad del sector pecuario al cambio climático en México

La vulnerabilidad de las especies pecuarias (bovinos, ovinos, caprinos, porcinos, abejas, entre otras) al cambio climático se ve reflejada en la salud, bienestar y productividad animal en los diferentes sistemas de producción. En el caso de bovinos de leche, por ejemplo, el alto porcentaje de humedad relativa en

combinación con el aumento de la temperatura ambiental provoca reducción en su producción de leche y desempeño reproductivo. Además, el aumento de las temperaturas también ocasiona un aumento en la carga de vectores, la presencia de patógenos, la supresión del sistema inmune de los animales y en consecuencia, un incremento en la prevalencia de enfermedades. Esto último se puede ver exacerbado debido a la limitada resiliencia o habilidad de las razas convencionales para mantener la productividad y salud (buena respuesta inmune) ante condiciones ambientales adversas. Por otra parte, el estrés calórico ocasiona una deficiente degradación del alimento y fermentación ruminal, lo cual aumenta la producción de metano y genera un efecto de retroalimentación positivo para el cambio climático.

En el caso de los bovinos de carne, el incremento de las ondas de calor o sequías, repercuten en una reducción del desarrollo corporal, del peso de la canal y de la puntuación de la conformación y grasa de la canal de los animales (cita). En el caso de los ovinos y caprinos, el cambio climático también está afectando la disponibilidad de tierra y agua de los sistemas de producción de estas especies. En los cerdos, el aumento de las temperaturas reduce el consumo voluntario e induce cambios de patrones de alimentación, lo cual afecta su productividad. Para el caso de las abejas, el cambio climático puede inducir aumento de los periodos cálidos durante el invierno, lo cual causa desincronización entre la fenología de la colonia de las abejas y sus recursos florales.

#### Líneas y tendencias en la investigación internacional para una agricultura del futuro

En el ámbito internacional, la investigación de la agricultura del futuro, considerando un contexto de cambio climático, se ha centrado en la modelación para evaluar el impacto del cambio climático en cultivos de secano, la modelación de procesos agroecológicos y predicción de rendimientos bajo cambio climático. Asimismo, se ha enfocado a la evaluación de la capacidad predictiva de los modelos y su representatividad, en el análisis de variabilidad climática, en los cambios en patrones de siembra, en la optimización de riego como parte de una agricultura climáticamente inteligente (Climate-Smart Agriculture- CSA) y cambios en las prácticas agrícolas.

#### México en el escenario internacional de la investigación en la agricultura del futuro

En México, la agricultura climáticamente inteligente (CSA) representa un enfoque para una agricultura del futuro, orientada a garantizar la seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático, bajo principios de productividad, adaptación y mitigación. La investigación sobre este tipo de agricultura considera tres enfoques: optimización, es decir, una agricultura que permita potenciar el uso de los recursos tanto naturales como económicos; adecuación, es decir, identificar las prácticas y tecnologías que se adapten al cambio climático; e innovación, que se refiere al desarrollo de nuevas líneas de investigación para la producción.

Dentro del enfoque de optimización y adecuación, en México destacan la práctica e investigación en agroforestería, producción orgánica de café, sistemas silvopastoriles, biodigestores, eficiencia energética, energía renovable, mejoramiento de sistemas intensivos, forrajes mejorados, mejoramiento genético en la producción pecuaria, rotación de cultivos en maíz, trigo y frijol, y prácticas de agricultura de conservación en maíz y trigo.

Además, un tema relevante es el uso eficiente del agua, por lo que se han investigado prácticas de cosecha de agua, zanjas de contorno, programación del riego de precisión y nivelación de tierras para sistemas de riego. En México la superficie con riego corresponde a 6.037 millones de ha, lo que representa el 30 % de la superficie agrícola nacional.

Entre las técnicas más destacadas para la producción están: la Agricultura de Conservación, el Manejo Agroecológico de Plagas, el uso de sensores ópticos para optimizar la fertilización nitrogenada, la distribución adecuada de las plantas en la superficie sembrada, entre otros. Por ejemplo, para el cultivo del maíz a nivel nacional, el 73% de las tecnologías combinadas evaluadas aumentaron el efecto en mitigación y el 63% aumentaron la productividad.

Otro enfoque de agricultura del futuro es la innovación, y un claro ejemplo es la transformación digital. Actualmente, diversos autores coinciden en que el conocimiento y uso de las tecnologías informáticas y de comunicación es primordial para la implementación de este tipo de agricultura. De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA, 2019), en México el promedio nacional de uso de estas tecnologías en el sector agrícola es de 37.69 %, el uso de computadora presenta un promedio nacional de 5.57 %, el uso de internet 7.88 %, y el uso de teléfono celular un 88.13 %, lo que la convierte en la tecnología más difundida y utilizada en el sector agroalimentario. Por lo que, sugieren que el campo mexicano, carece de procesos

agrícolas modernos y de las nuevas tecnologías que les permitan competir a nivel mundial, y que actualmente tiene un bajo potencial para la adopción de las nuevas tecnologías debido al bajo nivel de conocimiento y uso de las tecnologías informáticas y de comunicación.

La investigación forestal en México se ha centrado más en la modelación de los cambios en la cubierta forestal y migración asistida de especies bajo escenarios de cambio climático. Asimismo, los enfoques más recientes incluyen el estudio de la resiliencia de los bosques ante los cambios en patrones climáticos y sus efectos en la distribución y productividad de especies forestales.

## Conclusiones

México es un país vulnerable al cambio climático debido, principalmente, a que en más de la mitad del territorio dominan los climas secos y las regiones áridas y semiáridas, donde se estima una disminución entre 10 y 20% de la precipitación anual. El 74 % de las áreas agrícolas mexicanas se ubican en zonas de temporal; es decir, están totalmente sujetas a las variaciones climáticas, y según estudios previos, cultivos básicos como el maíz y frijol están reduciendo su producción debido a dichas variaciones de clima. La vulnerabilidad de las especies forestales al cambio climático global reside en su limitada capacidad de adaptación, pues en general requieren décadas o incluso siglos para adaptarse a nuevas condiciones climáticas, lo que puede impactar su patrón de distribución, crecimiento y supervivencia. Lo anterior aunado a una mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades, aumentando las tasas de mortalidad, provocando la alteración de los servicios ecosistémicos. La vulnerabilidad de las especies pecuarias al cambio climático se ve reflejada en la salud, bienestar y productividad animal en los diferentes sistemas de producción. Además, la disminución en la disponibilidad de tierra y agua de los sistemas de producción destinados para la producción de estas especies y de la flora natural y los cultivos de los que depende su alimentación.

Como parte de esta investigación documental se detectaron cuatro problemas relacionados al cambio climático que afectan y continuarán afectando la agricultura en México: la incertidumbre a las variaciones climáticas, el déficit de alimentos, el deterioro de los recursos naturales y la pérdida de la biodiversidad. Por lo que, se propone se desarrollen líneas de investigación, que permitan aplicar una agricultura climáticamente inteligente bajo tres enfoques: optimización, adecuación e innovación. La optimización y adecuación incluyen técnicas como agroforestería, sistemas silvopastoriles, agricultura orgánica, mejoramiento genético de cultivos y de especies pecuarias, y prácticas de agricultura de conservación. En la innovación se considera la digitalización y automatización de la agricultura, sin embargo, en México es aún baja la adopción de nuevas tecnologías que permitan enfrentar adecuadamente los retos del cambio climático.

Las tecnologías y prácticas agrícolas que se desarrollen deben evaluarse a una escala más localizada para determinar cuáles son las más apropiadas, debido al amplio espectro de agroecosistemas existentes en México. Además, existen tendencias y retos que determinarán el éxito de las acciones que se realicen ante escenarios de cambio climático, como son el crecimiento poblacional, el recurso económico destinado al sector primario, la pobreza, el acceso a tecnologías de la información y comunicación, la falta de instrumentación, equipamiento y capacitación, entre otros. En el sector forestal los principales desafíos son la falta de un enfoque integral y participativo en el manejo y conservación de los recursos forestales, la falta de recursos financieros y técnicos para implementar y monitorear los planes de manejo forestal.

## Referencias bibliográficas

- Arredondo, T., Delgado-Balbuena, J., Kimball, B., Luna-Luna, M., Yopez-Gonzalez, E., Huber-Sannwald, E., García-Moya, E., y Garatuzza-Payan, J. (2020). Late sowing date as an adaptive strategy for rainfed bean production under warming and reduced precipitation in the Mexican Altiplano? *Field Crops Research*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107903>
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: *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, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Morales, G.F. y Morales, B. G. (2020). Agricultura para el cambio climático. *Enlace*, 55, 33-35.



2° Congreso Interamericano de Agua Suelo y Agrobiodiversidad. Cd. Obregón, Sonora, 11 – 13 Octubre de 2023.

Ruiz C., J.A., G. Medina G., I. J. González A., H.E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K.F. Byerly M. y R.A. Martínez P. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.

Vargas-Canales, J. (2022). El sector agroalimentario mexicano y las nuevas tecnologías. *Revista e-Agronegocios*, 8(2). <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/6156>

## MODELOS PARA PREDECIR LA FENOLOGÍA EN EL CULTIVO DE SORGO EN EL VALLE DEL GUADIANA, DURANGO

Hilario Flores-Gallardo<sup>1</sup>, Jesús Gerardo González-Rutiaga<sup>2</sup>, Saúl Santana-Espinoza<sup>3</sup>, Héctor Flores-Magdaleno<sup>4</sup> y Jorge Víctor Prado-Hernández<sup>5</sup>

<sup>1</sup>INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana; <sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana (ITVG); <sup>3</sup>INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental La Laguna; <sup>4</sup>Colegio de Postgraduados - Programa en Hidrociencias; <sup>5</sup>Universidad Autónoma Chapingo –

\*Autor para correspondencia: flores.hilario@inifap.gob.mx

### Introducción

La temperatura del aire es uno de los elementos del ambiente con mayor importancia en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, puesto que la acción positiva de este elemento bioclimático en el crecimiento y desarrollo de las plantas se mide a través de la acumulación de temperaturas a partir de un umbral térmico o una temperatura base, la cual es propia de cada cultivo (Flores-Gallardo *et al.*, 2016); dicho procedimiento ha recibido diferentes denominaciones: suma de temperaturas efectivas, suma de unidades térmicas, suma de unidades calor o suma de grados días (°D). De acuerdo con Íñiguez-Covarrubias *et al.* (2011), es posible expresar el tiempo transcurrido como unidades de desarrollo en términos de tiempo fisiológico en lugar de tiempo cronológico, usualmente en la forma de tiempo térmico, así surge el concepto de los °D, definido para un período específico, como los grados acumulados sobre un intervalo de temperaturas cardinales o umbrales donde el cultivo se desarrolla. El concepto de °D es una de las herramientas más utilizadas para predecir la fenología y desarrollo de los cultivos (McMaster y Wilhelm, 1997), al compararlo con otras alternativas como los días después de siembra (DDS) o porcentaje de desarrollo fenológico.

Actualmente se cuenta a nivel comercial con materiales (híbridos y variedades) de sorgo (*Sorghum*) que presentan diferentes características referentes a la aportación nutricional. Los tipos de ciclo biológico más utilizados en dicho cultivo son: intermedio-precz y intermedio-tardío. Lo cual ha sido resultado de las necesidades específicas para las regiones agroecológicas donde se produce en México, resultado de la variabilidad climática, edáfica y disponibilidad de tecnología por parte de los productores. Se han utilizado modelos para predecir la fenología y rendimiento en diversos cultivos, pero específicamente en el cultivo de sorgo, existen carencias de este tipo de información. En las etapas fenológicas no se considera la siembra o la cosecha del cultivo, pero generalmente se registran para tener un control con respecto a la germinación, emergencia o maduración, puesto que mucha información se genera o se hace con referencia a partir de los días después de la siembra (DDS) hasta la cosecha con el propósito de registrar el rendimiento o labores del cultivo. Para el registro adecuado de las diferentes etapas fenológicas del cultivo de sorgo, se debe considerar el tipo de ciclo biológico del material: precz, intermedio y tardío. Debido a lo anterior, el número de hojas puede variar y por ello, algunas fases vegetativas no ocurren cuando se reduce la cantidad. Es importante considerar que al menos el 50 % de las plantas se encuentren en una etapa fenológica, al momento de registrarla. El estado de Durango figura como segundo productor de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) a nivel nacional, pero se contrasta en la producción de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) en los últimos lugares de producción (SIAP, 2022).

### Objetivo

Comparar dos modelos matemáticos para predecir la fenología del cultivo de sorgo para forraje y grano en el Valle del Guadiana, Durango (Distrito de Riego 052 "Durango").

### Materiales y métodos

Localización y características del sitio experimental

El experimento se realizó durante el ciclo agrícola PV 2015 y 2016, estableciendo parcelas semi-comerciales de sorgo en el Campo Experimental Valle del Guadiana (CEVAG-INIFAP-Durango), con unas coordenadas geográficas de LN 23° 59' 18.6", LW -104° 37' 32.4" y una altitud de 1,878 m, por lo cual, se ubica en el municipio de Durango con una influencia en el Distrito de Riego 052 "Durango". Se realizó una

siembra durante el ciclo agrícola PV 2015 y 2016 con fecha del 22 de junio y el 27 de mayo, respectivamente, utilizando un híbrido de sorgo con color de grano rojo (MBR315) y un híbrido de sorgo con color de grano blanco (Silo 100), ambos materiales de ciclo intermedio-precoc de la compañía Majestic Semillas.

El clima predominante en los dos sitios de estudio es el templado semiárido, con régimen de lluvias en verano, mostrando variación fuerte de temperatura [BS<sub>1</sub> Kw (w) (e)] y la media anual para esa variable es 17.4 °C (García, 1987). La lluvia acumulada durante el año alcanza un promedio de 476 mm, con valores altos entre junio y septiembre (Medina *et al.* 2005). La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) media anual en Durango es de 4.9 mm d<sup>-1</sup> con un intervalo de 0.3 a 8.9 mm d<sup>-1</sup> (INIFAP, 2017).

Método de la temperatura media o unidades calor

Para conocer el requerimiento térmico del cultivo con relación a su desarrollo fenológico, el principio de este método es considerar cuando la temperatura media diaria excede un determinado umbral o también conocido como temperatura base (T<sub>b</sub>) (Wang, 1960; Cross y Zuber, 1972; Snyder, 1985). Los °D mediante el método de la temperatura media se estiman con la siguiente ecuación:

$$^{\circ}D = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - T_b$$

En donde T<sub>min</sub> y T<sub>max</sub> son las temperaturas mínima y máxima diarias del aire, respectivamente y T<sub>b</sub> es la temperatura base o umbral inferior en donde se puede desarrollar el cultivo.

Grados día (°D)

Para estimar los grados día (°D) diariamente mediante este método, se requiere del conocimiento de la temperatura media ambiental (T<sub>a</sub>) y para dicho propósito se aplica la siguiente ecuación con sus supuestos (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2004; Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006; Flores-Gallardo *et al.*, 2012):

$$^{\circ}D = T_a - T_{c-\min}, T_a < T_{c-\max}$$

$$^{\circ}D = T_{c-\max} - T_{c-\min}, T_a \geq T_{c-\max}$$

$$^{\circ}D = 0, T_a \leq T_{c-\min}$$

En donde T<sub>c-min</sub> y T<sub>c-max</sub> son las temperaturas mínima y máxima diarias del aire, respectivamente y dentro de las cuales se desarrolla la planta. Para el caso del sorgo cultivado en Durango, se consideran unas temperaturas de 8 y 34 °C (Cruz-Martínez *et al.*, 2015), respectivamente.

Análisis estadístico

Para comparar estadísticamente la predicción de la fenología con los modelos con respecto a lo observado y/o registrado en campo (predicción fenológica con los modelos vs observaciones/registro en campo de la fenología), se utilizaron los siguientes análisis estadísticos: coeficiente de variación (CV) y desviación estándar (σ) calculados con las siguientes ecuaciones:

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{x}|}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde σ es la desviación estándar,  $\bar{x}$  es el valor medio, y x<sub>i</sub> es cada observación registrada.

## Resultados y discusión

De acuerdo con Ojeda-Bustamante *et al.* (2006), el desarrollo de muchos organismos es controlado principalmente por la temperatura. Por lo tanto, los °D son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos, que representan la integración de la temperatura ambiental entre dos temperaturas limitantes, las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Puesto que fuera de este intervalo el organismo no presenta un desarrollo apreciable o puede morir.

Por lo tanto, en 2015 (Cuadro 1), la siembra fue tardía, lo cual implicó el efecto de las heladas y por ello, el ciclo del cultivo presentó una lenta  $\sum^{\circ}D$  a partir de las etapas reproductivas, así como una reducción en los DDS con 103 y 121 para Silo 100 y MBR315, respectivamente a la cosecha.

**Cuadro 1.** Fenología del sorgo en función de los °D para el ciclo PV 2015.

No.	Clave	Etapa	MBR315			Silo 100		
			Fecha	°D	UC	Fecha	°D	UC
1		Siembra	22/06/2015	11.70	21.15	22/06/2015	11.70	21.15
2	V <sub>0</sub>	Emergencia	30/06/2015	97.64	174.70	30/06/2015	97.64	174.70
3	V <sub>1</sub>	Collar (lígula) de la tercera hoja visible	04/07/2015	140.76	251.00	05/07/2015	152.96	271.60
4	V <sub>2</sub>	Collar (lígula) de la quinta hoja visible	08/07/2015	180.22	331.10	08/07/2015	180.22	331.10
5	V <sub>3</sub>	Diferenciación	17/07/2015	268.73	513.26	20/07/2015	303.32	573.21
6	V <sub>4</sub>	Hoja final	23/08/2015	724.29	1261.61	18/08/2015	664.84	1156.06
7	R <sub>5</sub>	Panícula	25/08/2015	749.80	1300.96	24/08/2015	736.38	1281.51
8	R <sub>6</sub>	Mitad de floración	29/08/2015	800.68	1375.01	28/08/2015	788.42	1357.91
9	R <sub>7</sub>	Masoso suave	16/09/2015	1032.40	1748.26	07/09/2015	925.49	1561.11
10	R <sub>8</sub>	Masoso duro	28/09/2015	1168.54	1969.26	15/09/2015	1020.63	1728.66
11	R <sub>9</sub>	Madurez fisiológica	14/10/2015	1328.24	2221.41	29/09/2015	1179.06	1981.96
12		Cosecha	20/10/2015	1387.46	2306.86	02/10/2015	1209.18	2026.66

V = etapa vegetativa; R = etapa reproductiva.

En 2016 (Cuadro 2), la siembra se realizó en un período óptimo para estar fuera de la época de heladas, lo cual puede diferenciarse con respecto a 2015 con la  $\sum^{\circ}D$  y en los DDS, resultando con 160 para Silo 100 y MBR315, respectivamente.

**Cuadro 2.** Fenología del sorgo en función de los °D para el ciclo PV 2016.

No.	Clave	Etapa	MBR315			Silo 100		
			Fecha	°D	UC	Fecha	°D	UC
1		Siembra	27/05/2016	15.02	15.70	27/05/2016	15.02	15.70
2	V <sub>0</sub>	Emergencia	04/06/2016	130.59	186.20	04/06/2016	130.59	186.20
3	V <sub>1</sub>	Collar (lígula) de la tercera hoja visible	08/06/2016	181.30	254.00	08/06/2016	181.30	254.00
4	V <sub>2</sub>	Collar (lígula) de la quinta hoja visible	14/06/2016	264.04	386.20	14/06/2016	264.04	386.20
5	V <sub>3</sub>	Diferenciación	24/06/2016	405.65	563.55	22/06/2016	377.61	563.55
6	V <sub>4</sub>	Hoja final	28/07/2016	457.60	788.81	25/07/2016	419.27	732.36
7	R <sub>5</sub>	Panícula	01/08/2016	888.66	864.26	01/08/2016	888.66	864.26
8	R <sub>6</sub>	Mitad de floración	25/08/2016	1169.01	1360.16	25/08/2016	1169.01	1360.16
9	R <sub>7</sub>	Masoso suave	24/09/2016	1509.48	1971.11	19/09/2016	1454.23	1866.31
10	R <sub>8</sub>	Masoso duro	03/10/2016	1601.21	2102.01	29/09/2016	1558.55	2041.16
11	R <sub>9</sub>	Madurez fisiológica	14/10/2016	1718.76	2280.61	03/10/2016	1601.21	2102.01
12		Cosecha	02/11/2016	1877.88	2618.00	02/11/2016	1877.88	2618.00

V = etapa vegetativa; R = etapa reproductiva.

## Conclusiones

El mejor modelo para predecir la fenología del maíz en el Valle del Guadiana, resulto el método grados día (°D) debido a que presentó menor dispersión en todas las etapas fenológicas analizadas.

Para llevar a cabo la predicción de la fenología de los cultivos, es necesario contar con una base de datos climatológica confiable, puesto que existen muchas estaciones que no funcionan o tienen datos erróneos. Además, es importante contar con modelos calibrados y validados para la región de interés, los cuales pueden ser de gran apoyo en la toma de decisiones al momento de realizar labores agronómicas en los cultivos.

El entendimiento de la fenología y manejo agronómico de las plantas incrementará el rendimiento y los beneficios económicos obtenidos en Durango.

### Referencias bibliográficas

- Cross, H. Z. and M. S. Zuber. (1972). Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*. 64(3):351-355.
- Cruz-Martínez, T. E., D. C. Slack, K. L. Ogden and M. Ottman. (2015). The water use of sweet sorghum and development of crop coefficients. *Irrigation and Drainage*. 64: 93-104.
- Flores-Gallardo, H., W. Ojeda-Bustamante, H. Flores-Magdaleno, E. Mejía-Sáenz y E. Sifuentes-Ibarra. (2012). Grados día y la programación integral del riego en el cultivo de papa. *Terra Latinoamericana*. 30: 59-67.
- Flores-Gallardo, H., P. A. Domínguez-Martínez, M. P. Narváez-Mendoza, F. Zavala-Estrada y R. V. García-Hernández. (2016). Predicción fenológica en cultivos agrícolas bajo tiempo térmico. Folleto técnico # 85. INIFAP-CIRNOC-CEVAG. 32 p. ISBN: 978-607-37-0687-2.
- García, M. E. (1987). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Enriqueta García de Miranda. México, D. F. 217 p. INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2017). Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/>
- Iñiguez-Covarrubias, M., W. Ojeda-Bustamante y A. Rojano-Aguilar. (2011). Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de UNCuyo*. 43(2): 175-191.
- McMaster, G. S. and W. W. Wilhelm. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 87: 291-300.
- Medina G. G., G. Díaz P., J. López H., J. A. Ruiz C. y M. Marín S. (2005). Estadísticas climatológicas básicas del estado de Durango (Periodo 1961-2003). Libro Técnico Núm. 1. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México. 224 p.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, D. C. Slack and M. Carrillo. (2004). Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage*. 53: 251-261.
- Ojeda-Bustamante, W., E. Sifuentes-Ibarra, y H. Unland-Weiss. (2006). Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*. 40: 13-25.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2022). Panorama Agroalimentario 2022. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). Ciudad de México, México. 215 p.
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35(1): 353-358.
- Wang, J. Y. (1960). A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*. 41(4): 785-790.



## EFFECTOS DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN LA FENOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE FRIJOL DE TEMPORAL EN OJUELOS DE JALISCO, MÉXICO

Josué Delgado-Balbuena<sup>1\*</sup>, Teresa Alfaro-Reyna<sup>1</sup>, Carlos Alberto Aguirre-Gutierrez<sup>1</sup>, Odilón Gayosso-Barragán<sup>1</sup>, Jorge Acosta-Gallegos<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>CENID Agricultura Familiar, INIFAP; <sup>2</sup>CE Bajío, CIR CENTRO, INIFAP.

\*Autor para correspondencia: [delgado.josue@inifap.gob.mx](mailto:delgado.josue@inifap.gob.mx)

**Palabras clave:** Cambio climático, vulnerabilidad climática, zonas áridas.

### Introducción

El incremento en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero es la principal causa del cambio ambiental global (IPCC, 2023). A nivel global se ha observado un incremento en la temperatura de 1.1 °C sobre la temperatura de mediados del siglo pasado. En México, la temperatura promedio se ha incrementado en 0.8 °C, mientras que la temperatura invernal promedio ha incrementado hasta en 1.3 °C (PECC, 2014). Así mismo, se esperan incrementos mayores en las temperaturas y una disminución de entre 10-20% de la precipitación anual y la alteración de la forma en cómo se presenta cada evento para el futuro cercano (Christensen et al., 2007). Además, se pronostican eventos de fuertes tormentas seguidos de sequías prolongadas. Esto tendrá efectos negativos en la disponibilidad de agua para los cultivos. El 74% de la agricultura que se practica en México es de temporal (Santiago, 2009), y se lleva a cabo principalmente en unidades económicas rurales en niveles de subsistencia. La tecnificación y acceso a agroinsumos en este tipo de agricultura es deficiente, lo cual la coloca en un grado de alta vulnerabilidad ante el cambio climático. El incremento en la temperatura puede influir en el desarrollo de las diferentes etapas de crecimiento de las plantas, provocando efectos tanto positivos como negativos, lo cual dependerá del tipo de cultivo y de la región en la cual se produzca. Los patrones fenológicos se ven afectados por la combinación de factores bióticos y abióticos que determinan la ocurrencia e inhibición de eventos fisiológicos (Lobo et al., 2003). Estos factores no son mutuamente excluyentes, y es probable que interactúen para regular la expresión de cada fase fenológica. Por lo que es indispensable contar con conocimiento acerca de los efectos del cambio climático sobre la fenología de las especies para tener una mejor comprensión de cómo se afectan estos procesos biológicos.

### Objetivo

Como objetivos de este trabajo se determinó el efecto del incremento de temperatura en la fenología y en la producción de biomasa y grano en frijol de temporal.

### Materiales y métodos

El estudio se realizó en la subprovincia de los Llanos de ojuelos, al sur del Desierto Chihuahuense. Se utilizó la instalación para manipulación experimental de escenarios de cambio climático (MEECC) del Centro nacional de Investigación Disciplinaria Agricultura Familiar. La infraestructura consiste en 32 parcelas de 4 m<sup>2</sup>, en donde es posible regular la entrada de lluvia y la temperatura del dosel y suelo. Se trata de cobertizos de exclusión parcial de lluvia de 2.0 m largo x 2.0 m ancho x 1.2 m alto. Los cobertizos consisten en dos secciones metálico-tubulares que sostienen los extremos de varias canaletas de acrílico transparente de 3 mm de grosor. Sobre la misma estructura de sostén se instalan radiadores termales (1000W, 240 V, 245 mm largo x 60 mm ancho). Se instalaron cuatro calentadores por parcela, uno a cada esquina de la parcela, por medio de los cuales la temperatura se incrementa de manera constante con relación a una parcela aledaña sin modificación de temperatura (Kimball, 2008; Figura 1).

Se comparó la velocidad y tiempo de duración de diferentes etapas fenológicas y la producción de biomasa y grano en seis variedades de frijol bajo el incremento de 1 y 3 °C de la temperatura del dosel y reducción de 40% de precipitación y precipitación ambiental (100%). Las variedades analizadas fueron: granada, negro Jamapa y verdín, pinto rarámuri y San Rafael, y Tépari choix. No se suministró fertilización para

replicar las condiciones normales de siembra en la región. Se realizó un análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) para determinar los efectos de los factores sobre la producción de biomasa entre las seis variedades de frijol. Durante el crecimiento de las plantas, todo el material vegetal se recolectó, separando en tallos, hojas y vainas. Después de la cosecha todo el material recolectado se secó hasta alcanzar peso constante, sumando la biomasa de hojas, tallos y vainas. Paralelamente a la recolecta de biomasa, se hicieron registros diarios de la presencia de flores y ejotes para identificar los efectos de los tratamientos en la fenología de las seis variedades de frijol.

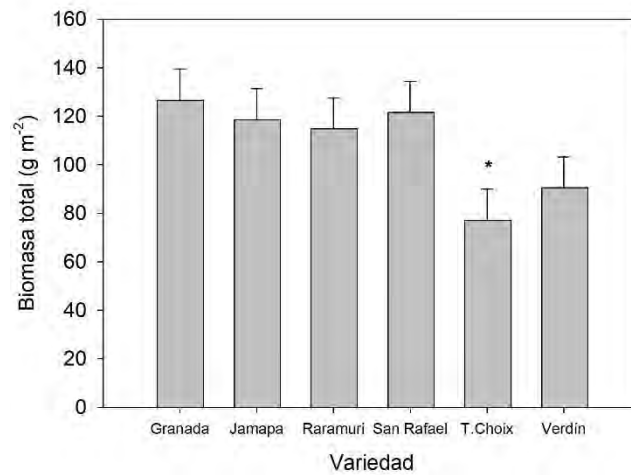


**Figura 1.** Vista aérea de las parcelas con los cobertizos para intercepción de lluvia (izquierda), y radiador cerámico para el incremento de temperatura del dosel en las parcelas con calentamiento (derecha).

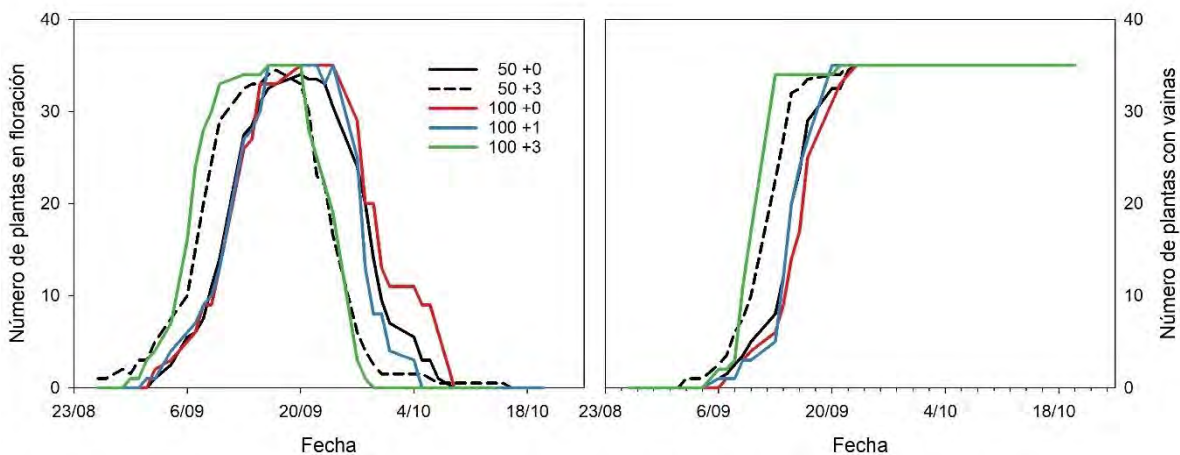
### Resultados y discusión

La precipitación durante el desarrollo del cultivo fue de 310 mm; es decir, los tratamientos con reducción de precipitación recibieron alrededor de 186 mm.

De acuerdo con el análisis de varianza, hubo efecto de la temperatura y de la variedad ( $p<0.05$ ), pero no hubo efectos de la reducción de la precipitación. Las variedades Tépari choix y verdín fueron las que presentaron menor cantidad de biomasa (Figura 2). En general, la temperatura provocó un incremento en la producción de biomasa, con la excepción de la variedad Jamapa, en la cual se observó una tendencia hacia la reducción de la biomasa con el incremento de la temperatura. Por otra parte, el incremento de temperatura aceleró el desarrollo de las plantas, provocando la aparición más temprana de flores y vainas en los tratamientos con incremento de 3 °C en alrededor de 4 días. Por otra parte, la reducción en la precipitación no tuvo ningún efecto significativo en la producción de biomasa ni en la fenología (Figura 3).



**Figura 2.** Producción de biomasa total de las seis variedades de frijol.



**Figura 3.** Número de plantas en floración (izquierda) y con vainas (derecha) de la variedad Granada en diferentes condiciones de precipitación (50% y 100%) y de temperatura (ambiental, + 1 y +3 °C).

Estos resultados coinciden con Arredondo y colaboradores (2021), donde examinaron la respuesta de una variedad de frijol al incremento de temperatura de 2 °C y una reducción de precipitación de 30%. La temperatura incrementó la producción de biomasa y grano, mientras que no hubo un efecto negativo por la reducción de la precipitación; además, el incremento de temperatura aceleró el desarrollo del frijol. Este efecto positivo del incremento en la temperatura en el frijol probablemente se debe a que en la región del altiplano central el cultivo del frijol se da en condiciones subóptimas de temperatura (16 – 18 °C de temperatura media anual). En lo que respecta a la precipitación, aunque el tratamiento con reducción de lluvia recibió menos de 200 mm, se presentaron algunos eventos de precipitación fuerte, uno de ellos de más de 50 mm a finales de septiembre, los cuales probablemente infiltraron profundo en el suelo y permitieron el desarrollo normal de las plantas de frijol. En contraste, en cultivos como el trigo mayores temperaturas en los órganos vegetales pueden acelerar el crecimiento vegetal y limitar el rendimiento potencial en cereales (Ortiz et al., 2008). Por ejemplo, un incremento de 2 °C sobre la temperatura ambiental aceleró las fenofases del cultivo de trigo de riego, pero produjeron reducciones de hasta 33% en la producción de grano en un estudio desarrollado en la región del Valle del Yaqui (Garatuzza-Payán et al., 2018).

## Conclusiones

Las seis variedades de frijol examinadas en este estudio tuvieron respuestas similares a la reducción de precipitación e incremento de temperatura. Únicamente la variedad T. choix tuvo menor producción de biomasa, sin embargo, se trata de una planta de porte más pequeño en comparación con las demás variedades. Así mismo, la variedad Jamapa tuvo una tendencia a la disminución de la producción de biomasa por el incremento de la temperatura. En el resto de las variedades, un incremento de 3 °C sobre la temperatura ambiental estimuló el incremento en la biomasa y aceleró la producción de flores y vainas.

## Agradecimientos y fuente financiadora

Proyecto INIFAP Fondos Fiscales #16215236227

## Referencias bibliográficas

- Arredondo, T., Delgado-Balbuena, J., Kimball, B., Luna-Luna, M., Yopez-Gonzalez, E., Huber-Sannwald, E., García-Moya, E., & Garatuza-Payan, J. (2020). Late sowing date as an adaptive strategy for rainfed bean production under warming and reduced precipitation in the Mexican Altiplano? *Field Crops Research*, 255(June), 107903. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107903>
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., et al. (2007). Regional Climate Projections. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 847–940). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1080/07341510601092191>
- Garatuza-Payan J, Argentel-Martinez L, Yopez EA, Arredondo T. (2018). Initial response of phenology and yield components of wheat (*Triticum durum* L., CIRNO C2008) under experimental warming field conditions in the Yaqui Valley. *PeerJ*:e5064. <https://doi.org/10.7717/peerj.5064>
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: *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, pp. 1-34, [doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001)
- Kimball BA, Pinter PJ, Wall GW (2008). Infrared heater arrays for warming ecosystem field plots. *Global Change Biology*. 14:309-320.
- Lobo, J.A., Quesada, M., Stoner K.E., Fuchs, E.J., Herrerías-Diego, Y., Rojas, J., & Saborio, G. (2003). Factors affecting phenological patterns of Bombacaceus trees in seasonal forests in Costa Rica and Mexico. *American Journal of Botany*, 90, 1054-1067.
- Ortiz R, Sayre KD, Gobaerts B, 2008. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126:46-58.
- PECC (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014-208. México. Diario Oficial de la Federación 28/04/ 2014. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014)
- Santiago JA. (2009). Análisis de la agricultura de temporal en México y su relación con las cuestiones climáticas; caso maíz y frijol. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

## ÍNDICE DE AUTORES

Aburto Enríquez José Alonso	108
Acosta Gallegos Jorge	363
Aguilar Corrales Renata	50
Aguilar Duarte Ameli	284
Aguilera Molina Néstor Alberto	289
Aguirre Arzola V.E	91, 199
Aguirre Gutierrez Carlos Alberto	264, 363
Aispuro Arana Francisco H.	331
Alfaro Reyna Teresa	264, 354, 363
Alonso Báez Moisés	83, 246
Alvarado Padilla Jorge Ivan	41, 44, 76, 276
Andueza Noh Rubén	126
Antúnez Ocampo Oscar Martín	209, 213, 217, 220
Anzures Olvera Filiberto	213
Apaez Becerril Brenda Regina	122
Aparicio Ramírez Jonathan	209
Aquino Ramírez Martín	284
Aragón Robles Edilberto	246
Aranda Lara Ulises	335
Arellano M Fernando	328
Arispe Vázquez José Luis	225
Arriaga Vázquez Ana Magdalena	160
Ascencio Luciano Guillermo	292
Ávalos Castro Raúl	68
Baez Ruiz Rosario Horaldo	150
Báez Pérez Aurelio	163, 167
Barrientos Ojeda Berenice	108
Basave Villalobos Erickson	147, 187, 191
Blanca Bautista Martina	229
Borbón Gracia Alberto	76, 276
Buitimea Valenzuela Yenire Yanelli	289
Cabrera Carbajal Fernando	55, 60
Calvillo Aguilar Francisco Fabián	296
Campos Avelar Ixchel	150
Cano García Miguel A.	72
Cano González Alejandro de Jesús	138
Carrillo Castañeda Janeth Berenice	174
Casanova L Fernando	325
Casanova Pérez Lorena	86
Castañeda Jiménez Daniela Lizeth	220



Castellanos Moguel Judith	108
Castro Cepeda Diego Alejandro	199
Catzim Ail Carlos	44
Cauich Cauich Rodrigo	126
Chávez Villalba Gabriela	276
Chuc T Jesús Eduardo	325, 328
Cisneros Almazán Rodolfo	18
Cocoletzi Vásquez Eliezer	268
Constante García Vicenta	147, 187, 191
Cordero Damazo Indira Loyda	50
Corrales Suastegui Arturo	349
Cortazar Ríos Matilde	134
Coutiño Estrada Bulmaro	205
Coutiño Estrada Bulmaro de J.	112, 117
Couttolenc Brenis Edgar	268, 272
Cristóbal Alejo Jairo	126
Cruz Cárdenas Carlos Iván	296
Cruz Chávez Francisco J.	112, 117, 279
Cruz González Alejandro	305
Cruz López Leopoldo	246
Cubedo Ruíz Edgar A.	320
Dávila Valenzuela Arely	155
De la Cruz De la Cruz Emigdio	86
De los Santos Villalobos Sergio	103, 150, 320
Delgadillo Martínez Julián	179
Delgado Balbuena Josué	264, 354, 363
Díaz Castro Denisse Estefanía	91
Díaz Ceniceros Huizar Leonardo	276
Díaz Ortega Jaime	108
Díaz Padilla Gabriel	354
Domínguez Coronado Karen Lizbeth	155
Elizondo Barrón Jorge	335
Escalante Beltrán Alina	103, 320
Espadas Reséndiz Marcos	142, 254, 259
Espinosa Flores Nilo	2
Espinosa Ramírez Martín	302
Espinosa Rodríguez Mariana	213, 217
Estrada Ávalos Juan	15
Estrada Cortés Eliab	354
Estrada Loreda Sarahí Josefina	18
Etchevers Barra Jorge Dionisio	179, 160
Farrera Albores Fabricio	279

Fernandez Gonzalez Isidro	112, 117, 279
Fernández Mendiola Jonathan Alfredo	142, 254, 259
Fierros Leyva Gustavo A.	68
Figueroa Brambila Karem M.	103, 320
Flores Gallardo Hilario	194, 359
Flores Magdaleno Héctor	98, 359
Franco Gaytan Iván	23, 340
Fuentes Dávila Guillermo	276
Fuentes Ponce Mariela	179
G.J. Alcalá Rico Juan Samuel	292
Gálvez Marroquín Luis Antonio	225
Gámez Vázquez Alfredo Josué	170
Garatuza Payan Jaime	331
García Alonso Florencia	86
García Bolívar Elco Humberto	289
García Catedral Juan Felipe Ramsés	296
García Gallegos Elizabeth	2, 80
García Silva Rubén	170
Garrido Ramirez Eduardo R.	112, 117
Garza García Ramón	170
Gayosso Barragán Odilón	363
Gómez García C	199
Gómez Montiel Noel	205
Gómez Nuñez David Emmanuel	272
Gómez Ruiz Jaime	246
González Méndez América Alejandra	150
González Araoz Martha Patricia	50
González Barrios José Luis	155
González Cervantes Guillermo	155, 305
González Franco Ana Cecilia	47
Gonzalez Gonzalez Miguel Ángel	349
González Jasso Luis Antonio	349
González Rutiaga Jesús Gerardo	359
Grajales Herrera Sheila	205
Grajales Solís Manuel	83, 225, 246
Grimaldo Juarez Onésimo	41, 44
Guarneros Manoatl Hortencia	95
Guerra de la Cruz Vidal	354
Guerrero Aguilar Brenda Zulema	220
Gutiérrez Castorena E.V.	91
Gutiérrez Chávez Aldo	47
Gutiérrez Hernández Karen Yoali	268

Gutiérrez Torres Paola Guadalupe	174
Guzmán Olea Ismaela	217
Hernández Galeno César del Ángel	225, 232
Hernández González Sandra Elizabeth	225
Hernández Huerta Jared	47
Hernández Santiago Leonel	183, 236
Herrera Cabrera Braulio Edgar	229
Herrera Castro Delfina Natividad	217
Herrera Cool Gilbert José	134
Herrera Parra Elizabeth	126
Hidalgo Moreno Claudia	160
Hidalgo Moreno Claudia Isabel	179
Huerta Espino Julio	276
Inzunza Ibarra Marco A.	23, 27, 305, 340
Jara Morales Vielka B.	320
Jiménez Jiménez Sergio Iván	27, 32, 55, 60, 305
Juárez Sánchez José Pedro	229
Kauil D José Alberto	325, 328
Khalil Gardezi Abdul	98
Lavariaga Nolasco Mario César	122
Leal Mendoza Aldo Iram	2
Limón Ortega Agustín	163
López Báez Walter	183, 236, 279, 310, 315
López Díaz Johanna	296
López Guillén Guillermo	83, 246
López Hernández Nuria Aide	15, 23, 37, 249, 340, 354
López Jacobo Erika	284
López Luna Aurelio	310
López Martínez Jaime	130, 132, 183, 236
López Montoya Naomi D.	103
López Morgado Rosalío	272
López Ovando Andrés	130
Lozano Contreras Mónica Guadalupe	126
Macías Cervantes Jaime	55, 60
Macías Rodríguez Hilario	32
Magoni Morelli Camillo	64
Maldonado Moreno Nicolás	292
Mancilla Villa Oscar Raúl	98
Marcial Pablo Mariana de Jesús	27, 55, 60, 147, 187, 191, 305
Mariles Flores Verónica	72, 246
Márquez Guerrero Selenne Yuridia	242
Márquez Reyes .M.	91, 199

Marroquín Morales José Ángel	289
Martínez Cerón Roxana	254
Martínez Gallegos Verónica	122
Martínez Macias Karla Janeth	242
Martínez Martínez Laura	122
Martínez Martínez Ricardo	86
Martínez Sánchez Jesús	225
Martínez Sifuentes Aldo Rafael	15, 37, 242, 249
Matías Ramos Moisés	179
Maya Martínez Aixchel	284
Melgoza Villagómez Claudia M.	68
Méndez Moreno R. A.	91
Miguel Valle Enrique	37, 249, 340
Montoya Coronado Lope	289
Montoya García César Omar	232
Montoya Martínez Amelia C.	103
Morales Benitez Juan Agustín	41, 44
Moreno Sepúlveda Yenifer	37, 249
Narváez Mendoza Mario Primitivo	349
Nava Reyna Erika	147
Noriega Cantú David H.	147, 187, 191, 220
Núñez Ramírez Fidel	225, 232
Ocampo Fletes Ignacio	229
Ochoa Espinoza Xochilt Militza	289
Olivares Soto Héctor Miguel	354
Ortega Murrieta Pedro F.	68
Osuna Amador José Denis	68
Pacheco Cruz Yesenia Marlet	264
Parra Cota Fannie	103, 150, 320
Pedroza Sandoval Aurelio	305
Pérez Cruz María Ana	50
Pérez González O	91
Pérez Ramírez Efraín	229
Pichardo González Juan Manuel	296
Pichardo Torres Daniela	259
Pinto Suzuky	331
Prado Hernández Jorge Víctor	359
Puente Guillen Samuel	335
Puente Valenzuela Cristo Omar	23, 155, 174, 213, 220, 340
Quintana Camargo Martín	296
Quirino Huaxcuaulli Silvia	232
Ramírez Jaramillo Genovevo	126

Ramírez Silva Jorge Humberto	138
Reynoso Santos Roberto	183, 315
Robles Hernández Loreto	47
Robles Pérez Celerino	122
Rodríguez Moreno Víctor	15, 354
Romano Garrido Ricardo	95
Romero Rosales Teolincacihuatl	232
Rubiños Panta Juan Enrique	98
Ruiz Álvarez Osías	183, 236, 310, 315
Sabino López Juan Elías	213, 217
Salinas Cruz Eileen	236, 315
Samaniego Gamez Samuel	345
San Juan Martínez Alberta	86
Sánchez Astello Ma. Magdalena	5, 10
Sánchez Cohen Ignacio	27, 305
Sánchez Morales Primo	229
Sanchez Muñoz Ana Patricia	160
Sánchez Ventura Paulina	80
Santa Rosa Rene Hortelano	76
Santana Espinoza Saúl	194, 359
Santiago Mejía Blanca Estela	302
Santiago O Mario Alberto	328
Santos Díaz María del Socorro Carmen	18
Santoyo de la Cruz Mario Francisco	98
Segura Castruita Miguel Ángel	242
Sierra Zurita Donaji	194
Sifuentes Ibarra Ernesto	55, 60
Silva Serna Mario Marín	335
Silverio Gómez María del Carmen	134
Solís Martínez Martin	209
Sosa Fernandez Vinicio	272
Sosa Rubio Edgar Enrique	134, 325, 328
Soto Ortiz Roberto	41, 44
Toledo Aguilar Rocío	225, 232
Toral Juárez Marco Antonio	272
Torralba Sánchez Rosalía	50
Torres Ariño D.A,	199
Trejo Calzada Ricardo	305
Trucíos Caciano Ramón	15, 23, 37, 249, 340, 354
Tun Suárez José María	126
Urrieta Velázquez José Alberto	32, 147, 187, 191
Uzcanga Pérez Nelda Guadalupe	138



Valenzuela Solano César	64
Valtierra Pacheco Esteban	95
Vargas De la Mora Alma Liz	183, 236
Vargas de la Mora Alma Liz	236
Vargas Ruvalcaba Yara Nohemí	41, 44, 76
Vásquez Ortiz Romualdo	225
Vázquez Cuecuecha Oscar G.	80
Vázquez Morillas Alethia	108
Vázquez Villamar Mirna	217
Vela Correa Gilberto	108
Víctor Leonardo Olmedo González	142
Vidal García Gabriela	50
Vidal Martínez Víctor A.	205
Vidales Contreras	199
Villanueva Díaz José	15
Villaseñor Mir Héctor Eduardo	76
Williams Alanis Héctor	335
Yáñez Juárez Moisés	345
Yépez Enrico A.	331
Zamora Campos Eunise M.	80
Zamora Morales Bertha Patricia	163
Zavaleta C Carmen	325, 328
Zavaleta Cordoba María del Carmen	134



*Congreso*  
**INTERAMERICANO  
DE AGUA SUELO Y  
AGROBIODIVERSIDAD**

<http://congresosuelo.inifap.gob.mx/>