

Leandris Argente!-Martínez
Ofelda Peñue!as-Rubio
Jaime Garatuza-Payán
Editores

Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México

Volumen II



Pantanal Editora

2025

Leandris Argente!-Martínez
Ofelda Peñuelas-Rubio
Jaime Garatuza-Payán
Editores

**Investigaciones Biológicas, Agrícolas
y Ambientales de México**
Volumen II



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Jefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Ejecutivos: Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diseño: El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Autor(es), organizador(es) y editor.

Consejo editorial

Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Institución

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Consejo Científico Técnico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

Catalogación en la publicación
Elaborada por Bibliotecaria Janaina Ramos – CRB-8/9166

I62

Investigaciones biológicas, agrícolas y ambientales de México - Volumen II / Organização de Leandris Argente-Martínez, Ofelda Peñuelas-Rubio, Jaime Garatuzo-Payán. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2025. 250p. ; il.

Libro en PDF

ISBN 978-65-85756-56-3

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756563>

1. Ciencia. 2. Innovación tecnológica. I. Argente-Martínez, Leandris (Organizador). II. Peñuelas-Rubio, Ofelda (Organizador). III. Garatuzo-Payán, Jaime (Organizador). IV. Título.

CDD 500

Índice para catálogo sistemático

I. Ciencia



Nuestros libros electrónicos son gratuitos y se permite el acceso público, la descarga y el intercambio, pero solicitamos que se dé el debido crédito a Pantanal Editora y también a los organizadores y autores. Sin embargo, no se permite el uso de libros electrónicos con fines comerciales, salvo autorización expresa de los autores y acuerdo de Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Prólogo

El presente libro se titula: “**Investigaciones Biológicas, Agrícolas y Ambientales de México, Volumen II**”. Ha sido conformado por un grupo de estudios experimentales y de extensión, enfocados la generación de nuevos conocimientos.

El libro está conformado por tres sesiones. La primera: “**Investigaciones biológicas**” agrupa trabajos con microorganismos promotores del desarrollo, estudio de potencial antifúngico y antagonistas de microorganismos y extractos vegetales. La segunda sesión: **Investigaciones agrícolas**” aglutina el quehacer científico para la producción de hortalizas y cereales, principalmente en condiciones experimentales de campo abierto. Estas investigaciones contribuyen a la seguridad y soberanía alimentaria nacional y a la mitigación de impactos de condiciones edafoclimáticas estresantes. La tercera sección “**Investigaciones ambientales**” confirma la importancia de cereales adaptables a condiciones climáticas desfavorables. Además otro de los trabajos aborda del uso de los manglares para la funcionalidad y estabilidad de ecosistemas costeros. En esta sección también se presenta una contribución que enfatiza en la importancia de la actividad fúngica en el saneamiento de suelos ante la presencia de metales pesados.

Se agradece a todos los autores de los respectivos capítulos, en su mayoría investigadores nacionales de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (**SECIHTI**) adscritos a diferentes centros de Educación Superior de los Estados Unidos Mexicanos. Gracias a su quehacer científico generan productos que, en medios como este, amplían las capacidades y posibilidades de acceso universal al conocimiento. Un reconocimiento especial a los miembros del Cuerpo Académico Consolidado **ITVAYA-CA-3, del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui**, por su contribución a las tres secciones aquí agrupadas.

Los autores

Resumen

Prólogo.....	4
Ciencias biológicas	7
Capítulo 1.....	8
Uso de microorganismos promotores del desarrollo del maíz (DK-4050) bajo régimen de riego deficitario controlado	8
Capítulo 2.....	20
Caracterización fitoquímica preliminar y actividad antifúngica <i>in vitro</i> de <i>Parkinsonia aculeata</i> sobre <i>Fusarium</i> del maíz	20
Capítulo 3.....	28
Efectos de <i>Enterobacter cloacae</i> y <i>Priestia megaterium</i> en la absorción de agua y germinación de de frijol	28
Capítulo 4.....	40
Caracterización Biofísica de autohidrolizados de calamar gigante (<i>Dosidicus gigas</i>) mediante dispersión de rayos X de ángulo pequeño.....	40
Capítulo 5.....	49
Evaluación de la calidad de yogur con pitaya (<i>Stenocereus thurberi</i>) elaborado con una combinación de lactobacilos	49
Capítulo 6.....	61
Extracto del wereke (<i>Ibervillea sonora</i>) como antagonista de <i>Fusarium</i> spp	61
Ciencias agrícolas	73
Capítulo 7.....	74
Optimización del cultivo de trigo cristalino mediante el uso de enmiendas (yeso agrícola) para mejorar la calidad del grano	74
Capítulo 8.....	81
Índices de vegetación derivados de imágenes digitales para el análisis de la fenología y el desarrollo del cultivo de trigo	81
Capítulo 9.....	87
Efecto de diferentes estrategias de fertilización orgánica en el crecimiento de plántulas de Chile Piquín (<i>Capsicum annuum</i> var. <i>aviculare</i>) bajo condiciones protegidas	87
Capítulo 10	97
Evaluación de híbridos de maíz cultivados en suelo en condiciones de salinidad	97
Capítulo 11	107
Efectos del QuitoMax® en la germinación de plántulas de tomate de las variedades Amalia y Claudia en condiciones semicontroladas	107
Capítulo 12	122
Tratamiento a la semilla de maíz y su efecto en la calidad fisiológica en dos condiciones de almacenamiento	122
Capítulo 13	133

Aceites esenciales y caldos minerales como tratamineto pregerminativo en semilla de maíz	133
Capítulo 14	144
Productividad de melón Zacapa con diferentes densidades de siembra en Michoacán.....	144
Ciencias ambientales	156
Capítulo 15	157
Triticale: una opción sustentable para forraje bajo condiciones agroecológicas en el sur de Sonora	157
Capítulo 16	162
Caracterización ambiental multi-hábitat de islas artificiales, para la gestión de sitios de anidación de aves acuáticas en Bahía del Tóbari, Sonora, México	162
Capítulo 17	200
Importancia del aislamiento de hongos en suelos contaminados con metales pesados para biorremediación y biotecnología ambiental	200
Capítulo 18	219
Políticas desarticuladas sobre cuencas, manglares y pesca: impactos regionales y respuestas comunitarias desde El Topón, Pijijiapan, Chiapas.....	219
Índice	248
Editores.....	249

Ciencias biológicas



Uso de microorganismos promotores del desarrollo del maíz (DK-4050) bajo régimen de riego deficitario controlado

Recibido em: 18/04/2025

Aprobado em: 21/04/2025

 10.46420/9786585756563cap1

Leandris Argente-Martínez 

Ofelda Peñuelas-Rubio* 

Jacqueline Sierra Calderón 

Francisco Cervantes Ortíz 

Elsa Janet Sánchez Catalán 

Lorenzo Pérez-López 

Jaime Garatuza Payán 

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos representativos de México (Herrera et al., 2024). El rendimiento nacional de este cultivo es de 3.8 t ha⁻¹ (SIAP, 2022), sin embargo existen regiones agrícolas con rendimientos superiores a las 12 t ha⁻¹ mientras que en otras (Jaime-Vargas, 2024), principalmente con el cultivo de maíces nativos, se encuentra entre 2 y 6 t ha⁻¹ (Martínez-Díaz et al., 2025).

El principal aporte al rendimiento del maíz en México lo hace la fertilización química (Canizalez-Silva et al., 2024). Normalmente las aplicaciones de fertilizantes son altas en el maíz, principalmente en Sinaloa (Juárez et al., 2024).

El uso excesivo de fertilizantes atenta contra la microflora del suelo y afecta la salinidad en el extracto de saturación (Omuto et al., 2024). Los aportes de los microorganismos al suelo y a las plantas son significativos ya que la rizosfera alberga microorganismos benéficos que mejoran la productividad vegetal mediante el ciclo de nutrientes y la adaptación al estrés (Xu et al., 2025).

Estos microorganismos suelen presentar un potencial significativo como biofertilizantes en aplicaciones agrícolas (Galindo et al., 2022; Argente-Martínez et al., 2025). Además de su función como biofertilizantes, estos microorganismos son cruciales para procesos ecológicos como el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la mineralización (Zhou et al., 2024).

Múltiples especies vegetales semidesérticas albergan microorganismos rizosféricos que mejoran la adaptación a condiciones adversas, como la sequía, la salinidad y las altas temperaturas típicas de los ambientes semiáridos (Lian et al., 2024). *Parkinsonia aculeata* L., una especie de leguminosa nativa del sur

* Autor correspondiente: openuelas.rubio@itvy.edu.mx

de Estados Unidos y el noroeste de México, exhibe una notable adaptabilidad a condiciones adversas, probablemente facilitada por sus rizobacterias asociadas (Argentel-Martínez et al., 2024). Debido a su capacidad de prosperar en condiciones adversas, se han identificado numerosas bacterias con propiedades promotoras del crecimiento (Peñuelas-Rubio et al., 2024).

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) se clasifican en varios grupos según sus mecanismos de promoción del crecimiento: biofertilizantes, bioestimulantes, agentes de biocontrol y agentes de biorremediación. Actualmente, las PGPR se consideran una herramienta prometedora para la agricultura sostenible, ya que permiten la gestión ecológica de una nutrición vegetal eficiente, a la vez que protegen la salud del suelo y el medio ambiente (Fadiji et al., 2023).

Teniendo en cuenta los escenarios actuales de cambio climático, la biotecnología del microbioma ha sido una alternativa clave y exitosa para la obtención de consorcios microbianos que promuevan el desempeño fisiológico, agronómico de las plantas y la productividad de los ecosistemas como el maíz (Devi et al., 2024).

La evaluación de los efectos de los microorganismos promotores del crecimiento en la fisiología vegetal es un primer paso fundamental para evaluar su posible contribución al rendimiento agronómico de los cultivos (Eshaghi et al., 2024). Estas evaluaciones, que involucran diversos materiales genéticos en diversas condiciones experimentales, facilitan la toma de decisiones rápidas, precisas y eficaces para su implementación y validación, basadas en correlaciones entre las respuestas fisiológicas y el rendimiento agronómico de los cultivos (Argentel-Martínez et al., 2021).

Además, la identificación de cepas microbianas con características multifuncionales permitirá el desarrollo de bioinoculantes robustos, allanando el camino para prácticas agrícolas sostenibles y resilientes al clima. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto un consorcio bacteriano dual compuesto por *Enterobacter cloacae* y *Priestia megaterium*, aisladas de la rizosfera del palo verde, en el intercambio de gases y la fenología del maíz (usando como modelo experimental el híbrido comercial DK-4050) aplicado a los 15 días posteriores a la emergencia. para determinar sus efectos sobre el intercambio de gases, la fenología y el rendimiento de biomasa.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en áreas de cultivo del instituto Tecnológico del Valle del Yaqui en un suelo vertisuelo de más de 35 años de explotación con el cultivo del trigo. En este sitio experimental se cuenta con riego por goteo.



Figura 1. Imágenes del diseño experimental y desarrollo inicial del híbrido de maíz DK-4050 (a), fotografía aérea del cultivo en la fenofase de V12 (b) y del sistema de riego deficitario controlado por goteo.

Condiciones edafoclimáticas ocurridas durante el desarrollo del cultivo

El cultivo se estableció el 17 de octubre de 2024 sobre un suelo vertisol a una humedad del suelo del 85%, a una profundidad de 8 cm sobre el cantero, logrando una cantidad de 11 semillas por metro lineal. Durante el ciclo de cultivo las temperaturas oscilaron entre 4 y 35 grados. Siendo los meses de noviembre y diciembre los de menores temperaturas máximas y mínimas. La humedad relativa se mantuvo entre los 50 -56%. La precipitación fue nula durante todo el ciclo experimental (Figura 2).

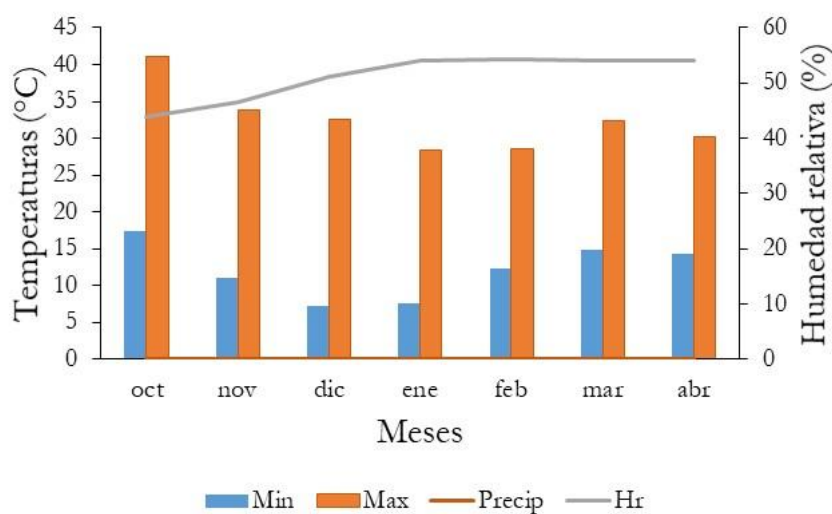


Figura 2. Variabilidad de las variables climáticas ocurridas en los meses de octubre de 2024 hasta abril de 2025. Min: temperatura mínima, Max: temperatura máxima, Precip: precipitación y Hr: humedad relativa.

Tratamientos establecidos y diseño experimental

Para la investigación se establecieron dos tratamientos: T1: tratamiento aplicando un consorcio bacteriano a los 15 días posteriores a la emergencia y T2: tratamiento control sin aplicación del consorcio. Los tratamientos fueron distribuidos siguiendo un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones por tratamiento.

Variables evaluadas

Intercambio de gases del cultivo

Se determinó la actividad fotosintética máxima (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en las fenofases de V3; V6; V9; V12 y R2. Estas mediciones se realizaron con un sistema portátil de medición de fotosíntesis de tipo PP-System (Portable Photosynthetic System). Esta medición se realizó en la parte central de las tres hojas más expuestas a la luz solar, entre las 11:30 h y 13:00 h en días soleados. Con el mismo dispositivo se determinó la transpiración (E) ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), la eficiencia fenofásica de uso de agua a nivel hoja se determinó mediante el cociente entre A y E (Silva et al., 2024).

Tiempo de ocurrencia de las fenofases

En cada tratamiento se determinó el tiempo de ocurrencia de las fenofases desde la emergencia hasta la cosecha, para analizar la contribución del consorcio bacteriano al desarrollo morfológico del cultivo. Se tomó en cuenta la ocurrencia de una fenofase cuando más del 51% de las plantas presentaban características morfológicas similares.

Rendimiento de biomasa

Se evaluó el rendimiento de las plantas hasta la fenofase de R3: grano lechoso. Para ello se tomaron 30 plantas por tratamiento, pesando las plantas completas con mazorcas. La medición se realizó en una báscula portátil (SUMILAB). Cada planta se seccionó cuidadosamente para evitar pérdidas de material vegetal, y se introdujeron en bolsas ziploc de 60*60 cm y se pesaron en fresco. Posteriormente se determinó la biomasa seca del material vegetal transcurridas 72 horas en horno de secado a una temperatura de 74°C. El rendimiento de biomasa fresca (expresado en t ha^{-1}) se determinó mediante el producto de la masa promedio obtenida en la muestras, multiplicado por la cantidad de plantas por parcela (expresada en ha). Con los datos de rendimiento de biomasa fresca y seca se determinó el índice de productividad de biomasa mediante el cociente del valor obtenido de biomasa seca y el de biomasa fresca.

Atenciones de cultivo, plagas y riego

Las labores de limpia se desarrollaron manual y semimecanizada, dado que la nula pluviometría limitó el desarrollo de malezas. Para el control del gusano cogollero se aplicó extracto de palo verde a razón de 2.5 L ha^{-1} , a los 15 y 35 días después de la emergencia, estas aplicaciones propiciaron el control efectivo de la plaga.

Se aplicaron tres riegos, todos por goteo. El de nacencia se aplicó inmediatamente después de la siembra a razón de 85 gotas por minuto, durante 24 horas. Similar cantidad se aplicó en la fenofase de V7 y el último se aplicó en la fenofase de floración masculina. Esta dosificación de riego se realizó bajo

el concepto de régimen de riego deficitario controlado, aplicando solo en las fenofases más críticas del cultivo.

Análisis estadísticos

Una vez comprobado el cumplimiento de los supuestos teóricos de homogeneidad de varianza de los datos de cada variable evaluada se realizaron comparaciones de las medias de los dos tratamientos conformados mediante la prueba de distribución teórica de probabilidades de t-student. El procesamiento estadístico se realizó en el paquete estadístico profesional STATISTICA, versión 14.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El híbrido comercial DK-4050 presentó un incremento de la actividad fotosintética conforme transcurrió la fenología de las plantas en ambos tratamientos. El tratamiento con la aplicación del consorcio microbiano (T1) presentó los valores más altos de fotosíntesis en todas las fenofases evaluadas. El mayor valor de fotosíntesis se obtuvo en la fenofase V12. Este comportamiento se obtuvo en los dos tratamientos (Figura 3).

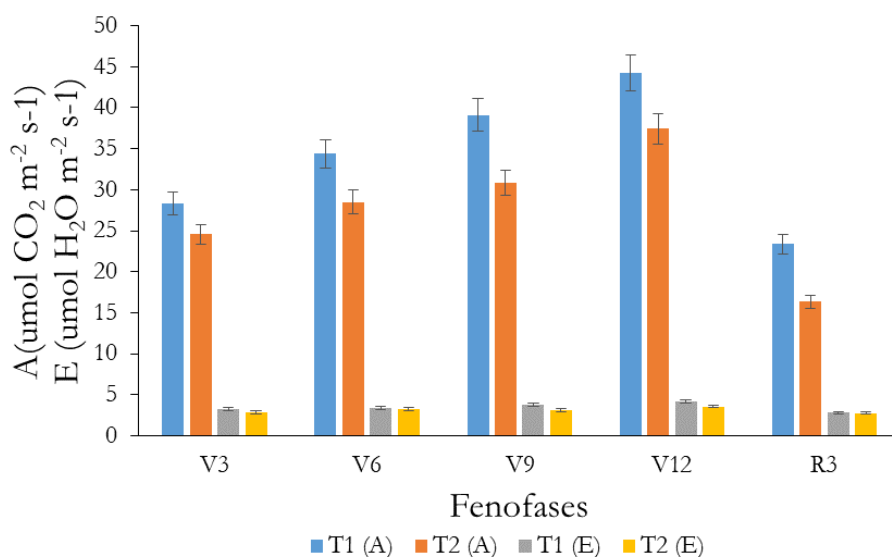


Figura 3. Actividad fotosintética máxima y transpiración del híbrido comercial de maíz DK-4050 con la aplicación de un consorcio bacteriano (T1) y su respectivo control (T2). Barras rectangulares representan desviaciones estándar de la media en cada fenofase del desarrollo.

En la fenofase de R3 se obtuvo el valor más bajo de actividad fotosintética en ambos tratamientos (Figura 3). Esta reducción puede estar ocasionada por la senescencia de la hoja o por el cambio de metabolismo durante el llenado de los granos donde mayormente tiene lugar la tasa de movilización de los carbohidratos y proteínas principalmente (Pérez-López, et al., 2024). Los valores de actividad fotosintética obtenidos en este híbrido se consideran en el rango de plantas que crecen en condiciones favorables de cultivo de acuerdo con los resultados informados por Yang et al. (2022), quienes

encontraron valores entre 25-40 en maíces cultivados en suelos donde se desarrollaba y mono y policultivo modificando la densidad de población.

La transpiración, aunque presentó diferencias significativas entre tratamientos en las fenofases V3, V6, V9 y V12, nunca superó los 5 μmol de H_2O $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y el valor más alto se obtuvo en los dos tratamientos en la fenofase de V12, similar a lo obtenido en la actividad fotosintética. En la fenofase de R3 la transpiración no presentó diferencias significativas entre tratamientos.

Las variaciones obtenidas en la actividad fotosintética fue lo que propició la variabilidad en la eficiencia de uso de agua en cuatro de fenofases del cultivo (Tabla 1). El tratamiento T1 presentó siempre mayores valores de transpiración, lo que demuestra que la planta cuenta con un buen estatus hídrico en el suelo, confiriéndoles tolerancia a las condiciones de sequía (Saleem et al., 2021). Además, los microorganismos del suelo mejoran de las capacidades de absorción de agua y por consiguiente nutrientes (Ech-Chatir et al., 2025), principalmente el potasio cuyo rol en el régimen hídrico de las plantas es importante (Luo et al., 2024).

Tabla 1. Eficiencia foliar de uso de agua en las fenofases de V3, V6, V9, V12 y R3 del híbrido comercial de maíz DK-4050.

Tratamientos	V3	V6	V9	V12	R3
T1	8.72**	10.09**	10.46**	10.77ns	8.31**
T2	8.62	8.77	9.96	10.48	5.92

NS y ** representan a ausencia y diferencias altamente significativas por la prueba de t-student ($p < 0.001$), respectivamente.

La deficiencia hídrica se reconoce como uno de los principales desafíos abióticos del maíz. Esto se debe a que un estrés hídrico puede reducir significativamente la producción y la calidad del grano (Gelaw; Sanan-Mishra, 2024). En el presente estudio se demuestra cómo el consorcio bacteriano aplicado coadyuva a mitigar el efecto del régimen de riego deficitario, donde solo se aplicó el 75% del riego. El consorcio bacteriano propició un mejor estatus hídrico reflejado en un impacto positivo en el intercambio gaseoso de las plantas. Esto podría estar relacionado con la activación de mecanismos fisiológicos compensatorios en las plantas para mitigar los efectos negativos de la deficiencia hídrica, asegurando así la producción.

En un suelo con un contenido bajo de agua, pero con la presencia de microorganismos benéficos promotores del desarrollo se favorece la disponibilidad de nutrientes, estimulando el crecimiento del área foliar y aumentando la producción de fotoasimilados y el rendimiento del cultivo (Silva et al., 2024).

Una E más alta permite mantener la temperatura foliar, la planta termorregula más, el mesófilo y el transporte de nutrientes a la parte aérea de la planta, ya que las plantas en condiciones de sequía pueden ser susceptibles a la cavitación. Esta situación puede afectar significativamente capacidad de transporte de agua y nutrientes (Lim et al., 2015).

La EUA se caracteriza por la cantidad de carbono asimilado como biomasa o grano producido por unidad de agua utilizada por el cultivo la respuesta de la EUA a nivel foliar está directamente asociada con diversos procesos fisiológicos que controlan los gradientes de CO₂ y agua, como los déficits de presión de vapor foliar (Lamêgo et al., 2024). De este modo, a mayor conductancia estomática en condiciones de régimen de riego deficitario sugiere una reducción de CO₂ en el mesófilo foliar debido a la integridad del aparato fotosintético, seguida de una alta regeneración de la enzima RUBISCO, lo que facilita el proceso de carboxilización (Jing et al., 2025).

La fenología del híbrido de maíz DK-4050 ocurrió sin diferencias significativas desde la emergencia hasta la fenofase V11 (Figura 4). A partir de la fenofase V12 las diferencias entre los tratamientos fueron significativas hasta la cosecha. La diferencia de tiempo de ocurrencia de la maduración del grano fue de 23 días (T1= 166 y T2=143 días) (Figura 4). El tratamiento con la aplicación del consorcio bacteriano cumplió con la fenología normal del cultivo en condiciones óptimas según reportes del descriptor varietal (DEKALAB, BAYER®) (185-195 días después de la emergencia). Esta comparación respecto al descriptor varietal demuestra que aún en condiciones de riego deficitario el consorcio bacteriano propicia el desarrollo normal de las plantas.

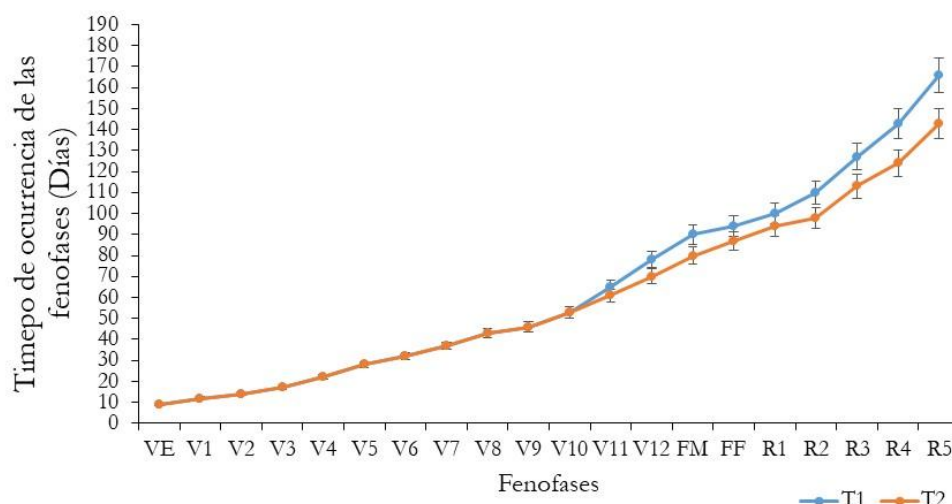


Figura 4. Tiempo de ocurrencia de las fenofases del híbrido comercial de maíz DK-4050 con la aplicación de un consorcio bacteriano (T1) y su respectivo control (T2). Barras rectangulares representan desviaciones estándar de la media en cada fenofase del desarrollo.

El acortamiento de la fenología del cultivo tiene grandes implicaciones bioquímicas en las plantas que afectan principalmente el rendimiento (Żydelis et al., 2021). Estas afectaciones pueden ocasionar reducción en la calidad de las cosechas por reducciones principalmente en el contenido de proteínas en el grano de maíz, según reportes de estimaciones realizadas por Jamsheed et al. (2023). Por estas razones el establecimiento de alternativas de fertilización a través de consorcios bacterianos impulsa la producción de grano de maíz en ecosistemas afectados por baja diversidad de microorganismos en el suelo.

El rendimiento de biomasa del cultivo al ser tratado con el consorcio promotor del desarrollo fue significativamente superior que cuando no se aplicó el consorcio (Figura 4). Este resultado demuestra la factibilidad del uso del consorcio aplicado para obtener un buen rendimiento aún en condiciones de riego deficitario controlado.

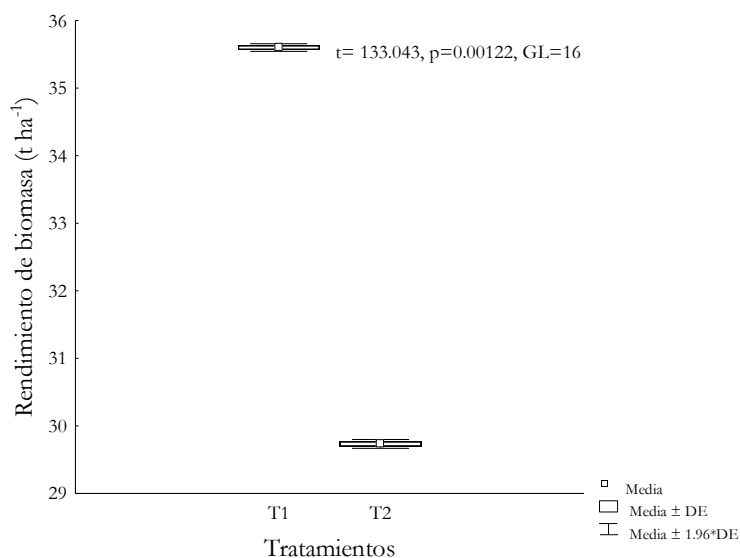


Figura 5. Rendimiento de biomasa del híbrido comercial de maíz DK-4050 con la aplicación de un consorcio bacteriano (T1) y su respectivo control (T2). Barras rectangulares representan desviaciones estándar (DE) de la media en cada fenofase del desarrollo. [t: valor calculado de t-student, p: probabilidad y GL: grados de libertad].

Aunque en el presente estudio no se evaluó un tratamiento con un consorcio bacteriano, pero al 100% de irrigación, la diferencia estadística demuestra la contribución del microorganismo al incremento del rendimiento (Figura 5). Tomando en consideración que las atenciones de cultivo, riego y fertilización fueron exactamente iguales se infiere que la variabilidad existente fue función de los tratamientos establecidos. Estos trabajos se podrán corroborar con estudios detallados de respiración de suelo y con el estudio imagenológico confocal donde se podrá observar la presencia de bacterias en las raíces (entendiendo que ambas usadas son endofíticas (Hwang et al., 2022, Panigrahi; Rath, 2021).

La explicación preliminar sobre el aporte de estos microorganismos es significativa en la promoción del desarrollo fisiológico y el rendimiento del maíz radica en el hábitat natural de estas bacterias. Ambas fueron obtenidas de un ecosistema semiárido y salino (Peñuelas-Rubio et al., 2024). Con este precepto se infiere que el mayor aporte bioquímico de las bacterias se realiza bajo condiciones de poca disponibilidad hídrica, activándose mecanismos enzimáticos de regulación bioquímica no dependientes del agua, por ejemplo, la acción de las enzimas liasas que no dependen del agua (Moosavi et al., 2024; LiRu et al., 2024).

CONCLUSION

El consorcio bacteriano dual a base de *P. megaterium* y *E. cloacae* aplicado al híbrido comercial DK-4050 promovió la actividad fotosintética de las plantas durante las fenofases iniciales y finales del cultivo. Su contribución al desempeño fisiológico contribuyó a la ocurrencia de la fenología conforme al descriptor varietal y propició un incremento del rendimiento de biomasa en la fenofase de R3 con un promedio de 35.5 t ha⁻¹, superior al tratamiento donde no se aplicó que solo rindió 29.5 t ha⁻¹. Estos resultados demuestran la factibilidad del uso del consorcio aplicado para incrementar el rendimiento de maíz en sistemas de producción bajo riego deficitario controlado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Hasanuzzaman, M., & Aguilera, J. G. (2024). Actualizing the worldwide distribution and main uses of *Parkinsonia aculeata* L., Sp. Pl. Vegetos, 37(4), 1203-1210.
- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Herrera-Sepúlveda, A., González-Aguilera, J., Sudheer, S., Salim, L. M., ... & Azizoglu, U. (2025). Biotechnological advances in plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 41(1), 21.
- Argentel-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Ponce, J. A. L., Arredondo, T., Garatuza-Payan, J., & Yepez, E. A. (2021). Correlation among vegetative and reproductive variables in wheat under a climate change simulation. Bragantia, 80, e4221.
- Canizalez-Silva, M., Blanco-Macías, F., España-Luna, M. P., Rosa-Rodríguez, R. D. L., Lozano-Gutiérrez, J., & Lara-Herrera, A. (2024). Microorganismos en la biofertilización del cultivo de maíz como complemento a la fertilización química. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 11(1).
- Devi, R., Alsaffar, M. F., AL-Taey, D. K., Kumar, S., Negi, R., Sharma, B., & Ahluwalia, A. S. (2024). Effect of indigenous mineral availing microbial consortia and cattle manure combination for growth of maize (*Zea mays* L.). Vegetos, 1-12.
- Ech-Chatir, L., Ouhammadou, R., Ikan, C., Boutasknit, A., Hashem, A., Avila-Quezada, G. D., ... & Meddich, A. (2025). Co-inoculation of compost with arbuscular mycorrhizal fungi and endophytic bacteria to alleviate the adverse impact of drought stress in maize. Pak. J. Bot, 57, 4.
- Eshaghi, E., Mousae, S., Hendiyani, A., Khave, A. H., & Nosrati, R. (2024). Evaluation of the potential of multi-trait PGPR isolates as inoculants for maize (*Zea mays* L.) growth. Iranian Journal of Microbiology, 16(6), 812.
- Fadiji, A.E., Yadav, A.N., Santoyo, G., Babalola, O.O. (2023) Understanding the plant-microbe interactions in environments exposed to abiotic stresses: an overview. Microbiol Res, 271, 127368.
- Galindo, F.S., Rodrigues, W.L., Fernandes, G.C. et al. (2022) Enhancing agronomic efficiency and maize grain yield with *Azospirillum brasilense* inoculation under Brazilian savannah conditions. Eur J Agron 134:1–10.

- Gelaw, T. A., & Sanan-Mishra, N. (2024). Molecular priming with H₂O₂ and proline triggers antioxidant enzyme signals in maize seedlings during drought stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 1868(7), 130633.
- Herrera, F. I. M., Villagómez, L. I. Q., Martínez, M. C. R., & Islas, H. J. (2024). Modelo tridimensional para predecir la distribución de temperaturas durante el almacenamiento de granos en silos. *Jóvenes En La Ciencia*, 29, 1-10.
- Hwang, H. H., Chien, P. R., Huang, F. C., Yeh, P. H., Hung, S. H. W., Deng, W. L., & Huang, C. C. (2022). A plant endophytic bacterium *Priestia megaterium* StrainBP-R2 isolated from the halophyte *Bolboschoenus planiculmis* enhances plant growth under salt and drought stresses. *Microorganisms*, 10(10), 2047.
- Jaime-Vargas, J. A. (2024). El maíz amarillo como eje de la seguridad y soberanía alimentaria en México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 34(63).
- Jamsheed, B., Bhat, T. A., Saad, A. A., Nazir, A., Fayaz, S., Eldin, S. M., ... & Verma, N. (2023). Estimation of yield, phenology and agro-meteorological indices of quality protein maize (*Zea mays* L.) under different nutrient omissions in temperate ecology of Kashmir. *Journal of King Saud University-Science*, 35(7), 102808.
- Jamsheed, B., Bhat, T. A., Saad, A. A., Nazir, A., Fayaz, S., Eldin, S. M., ... & Verma, N. (2023). Estimation of yield, phenology and agro-meteorological indices of quality protein maize (*Zea mays* L.) under different nutrient omissions in temperate ecology of Kashmir. *Journal of King Saud University-Science*, 35(7), 102808.
- Jing, B., Shi, W., Chen, T., Zhai, Z., & Song, J. (2025). Optimizing root distribution and water use efficiency in maize/soybean intercropping under different irrigation levels: The role of underground interactions. *Soil and Tillage Research*, 249, 106490.
- Juárez, H. D. G., Mejías, E. S. S., Abraham, A. R. R., Córdova, J. J. L., & Olivares, R. A. P. (2024). Efectividad de tres dosis de nitrógeno en dos densidades de siembra de maíz amiláceo (*Zea mays* L.). *Revista Alfa*, 8(24), 691-706.
- Lamêgo, D. L., Amaral Junior, A. T. D., Kamphorst, S. H., Lima, V. J. D., Silva, S. P. D., Figueiredo, J. D. S., ... & Rezende, C. E. D. (2024). Gene Effect of Morphophysiological Traits in Popcorn (*Zea mays* L. var. *evarta*) Grown Under Contrasting Water Regimes. *Agriculture*, 14(12), 2157.
- Lian, J., Chen, J., Yang, X., Zhao, Y., Luo, X., Han, C., & Li, J. (2024). Responses of desert steppe plant diversity and microbial diversity to precipitation change. *Biodiversity Science*, 32(6), 24044.
- Lim, C.W.; Baek, W.; Jung, J.; Kim, J.H.; Lee, S.C. Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. *Int. J. Mol. Sci.* 2015, 16, 15251–15270.
- LiRu, C. A. O., FeiYu, Y. E., LiXia, K. U., ChenChen, M. A., YunYun, P. A. N. G., LIANG, X., ... & XiaoMin, L. U. (2024). Analysis of Maize Phenylalanine Ammonia-Lyase (PAL) Family Genes and Functional Study of ZmPAL5. *Scientia Agricultura Sinica*, 57(12), 2265-2281.

- Luo, D., Shi, J., Li, M., Chen, J., Wang, T., Zhang, Q., & Wang, Y. (2024). Consortium of phosphorus-solubilizing bacteria promotes maize growth and changes the microbial community composition of rhizosphere soil. *Agronomy*, 14(7), 1535.
- Martínez-Díaz, F. S., García-Zavala, J. J., Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Lobato-Ortiz, R., & Gil, E. A. (2025). Aptitud combinatoria general y específica de maíz palomero para los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 16(1), e3064-e3064.
- Moosavi, S. N. V., Saadatmand, S., Jamei, R., & Darvishzadeh, R. (2024). Chitosan nanoparticles (CSNPs) conferred salinity tolerance in maize by upregulating E3 ubiquitin-protein ligase, P5CS1, HKT1, NHX1, and PMP3 genes. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-10.
- Omuto, C. T., Kome, G. K., Ramakhanna, S. J., Muzira, N. M., Ruley, J. A., Jayeoba, O. J., ... & Nyamai, M. (2024). Trend of soil salinization in Africa and implications for agro-chemical use in semi-arid croplands. *Science of The Total Environment*, 951, 175503.
- Panigrahi, S., & Rath, C. C. (2021). In vitro characterization of antimicrobial activity of an endophytic bacterium *Enterobacter cloacae* (MG001451) isolated from *Ocimum sanctum*. *South African Journal of Botany*, 143, 90-96.
- Pérez-López, L., Argente-Martínez, L., Peñuelas-Rubio, O., Cervantes-Ortiz, F., Aguirre-Mancilla, C. L., & Aguilera, J. G. (2024). Morphology and yield components of single hybrids white and yellow maize in the Yaqui Valley. *Revista Brasileira De Ciências Agrárias*, 19(1), e3533.
- Peñuelas-Rubio, O., Argente-Martínez, L., Herrera-Sepúlveda, A., Maldonado-Mendoza, I. E., González-Aguilera, J., & Azizoglu, U. (2024). Rhizobacteria associated with *Parkinsonia aculeata* L. under semi desertic drought and saline conditions. *Biologia*, 79(8), 2591-2603.
- Saleem, M., Nawaz, F., Hussain, M. B., & Ikram, R. M. (2021). Comparative effects of individual and consortia plant growth promoting bacteria on physiological and enzymatic mechanisms to confer drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 3461-3476.
- SIAP (2022). Panorama Agroalimentario 2022. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 94 p.
- Silva, D. M. R., Barros, A. C., Silva, R. B., Galdino, W. D. O., Souza, J. W. G. D., Marques, I. C. D. S., ... & Rodrigues, J. D. (2024). Impact of Photosynthetic Efficiency on Watermelon Cultivation in the Face of Drought. *Agronomy*, 14(5), 950.
- Xu, L., Xin, C., Haider, F. U., Li, H., Li, S., Zhang, H., ... & Li, X. (2025). Rhizobacteria mitigate salinity stress in maize by modulating photosynthesis, antioxidant defense, and rhizosphere microbial diversity. *Plant Stress*, 15, 100781.
- Yang, H., Chai, Q., Yin, W., Hu, F., Qin, A., Fan, Z., & Fan, H. (2022). Yield photosynthesis and leaf anatomy of maize in inter-and mono-cropping systems at varying plant densities. *The Crop Journal*, 10(3), 893-903.

- Zhou, J., Liu, C., Shi, L., & Zamanian, K. (2024). Rhizosphere influence on microbial functions: consequence for temperature sensitivity of soil organic matter decomposition at early stage of plant growth. *Plant and Soil*, 494(1), 95-109.
- Žydelis, R., Weihermüller, L., & Herbst, M. (2021). Future climate change will accelerate maize phenological development and increase yield in the Nemoral climate. *Science of the Total Environment*, 784, 147175.

Índice

A

adaptabilidad, 158
aislamiento, 203, 205, 207

B

bicentenario, 156, 159, 160
biophysical, 40

C

cajas Bruce, 148, 151
calidad, 74, 75, 76, 78
canela, 137
capsicum annuum var. *aviculare*, 86, 88
cepas, 64, 65, 67, 68, 69

D

densidad poblacional, 150
Dosidicus gigas, 40, 41, 44, 46

E

Enterobacter cloacae, 9
extractos vegetales, 62, 69

F

fitopatología, 64
flavonoides, 21, 23
forraje
 seco, 157, 158, 159
 verde, 157, 158, 159, 160

H

híbridos, 97

I

imágenes digitales, 82
índice
 de verdor, 84
 vegetativo, 81
 de vegetación, 80
inhibición del crecimiento, 64, 66, 67
interacción, 160

M

melón, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151
micronutrientes, 75, 76

N

NDVI, 108, 113, 114, 116, 117

Q

Quitosano, 111, 113

R

rendimiento, 144, 150, 151
 de biomasa, 11, 15

S

sensorial, 52, 57
silicosulfocálcico, 137
sulfocálcico, 137

T

Thiamethoxam, 122, 123, 126
tratamiento químico, 122, 127
trigo, 81
 cristalino, 74

V

Valle del Yaqui, 97
vigor de plántula, 123

X

X-ray, 40, 41, 43, 45

Y

yeso agrícola, 74, 75, 76, 78
yogurt, 51

Z

zea mays, 19, 121
zigzag, 145, 146, 147, 150, 151
zinc, 137

Editores



Leandris Argentele-Martínez

Profesor e Investigador Titular "C" del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). Miembro del Sistema Nacional de investigadoras e Investigadores del SECIHTI, Nivel 1. Profesor Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, Líder del Cuerpo Académico consolidado ITVAYA-CA-3. Líneas de investigación: Fisiología Vegetal, Bioquímica, Biología Celular y Molecular en plantas y microorganismos. Doctorado en Ciencias Biotecnológicas. Desarrollo de investigaciones sobre mecanismos fisiológicos, rutas anapleróticas y mecanismos moleculares activados por los organismos durante su adaptación estreses abióticos. Uso de marcadores moleculares de tolerancia de los organismos al estrés abiótico (salinidad, sequía y calor). Manejo de técnicas de isótopos estables para el

seguimiento de reacciones bioquímicas en células y tejidos. Aplicación de técnicas experimentales univariadas y multivariadas para el procesamiento de datos. Entre sus principales proyectos, se encuentra vigente en 2022 “Aplicaciones del microbioma y el metaboloma de la *Parkinsonia aculeata* L. Sp. Pl. para la mitigación de estreses biótico y abiótico en el semidesierto y en especies de interés agrícola en México” correo electrónico para contacto: oleinismora@gmail.com



Ofelda Peñuelas Rubio

Profesor e Investigador Titular "C" del Tecnológico Nacional de México, Campus Valle del Yaqui (ITVY). Miembro del Sistema Nacional de investigadoras e Investigadores del SECIHTI, Nivel 1. Profesora con Perfil Deseable (PRODEP) de la Secretaría de Educación Pública de México, miembro del Cuerpo Académico consolidado ITVAYA-CA-3. México. Realizó dos estancias posdoctorales (Enero 2016 - Diciembre 2017) dentro del programa de Estancias Nacionales de CONACYT en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional unidad Sinaloa del Instituto Politécnico Nacional en el área de Ecología Molecular de la Rizósfera. Es Doctora en Ciencias especialidad

en Biotecnología. Su quehacer científico lo desarrolla en el área agrícola, principalmente en el manejo sustentable de los recursos implicados en los agroecosistemas y el aprovechamiento de la microbiota del suelo. Ha participado en colaboración con distintos grupos de investigación lo que le ha permitido participar en proyectos multidisciplinarios y en publicaciones científicas. Email para contacto: ofeperub@gmail.com



 Jaime Garatuza-Payán

Profesor e Investigador “C” del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente. Miembro del sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores del SECIHTI Nivel 2. Profesor perfil deseable (PROMEP). Miembro del cuerpo académico consolidado “Ciencias del Agua”. Miembro del Comité Científico del Programa Mexicano del Carbono (PMC). Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. Profesor-Investigador distinguido en el Instituto Tecnológico de Sonora. Entre sus principales

expertices se encuentran las líneas de investigación y generación del conocimiento: Biotecnología en sistema de producción agrícola, manejo de cuencas, hidrometeorología y cambio climático. Cuenta con más de 100 publicaciones científicas en revistas de alto factor de impacto. Email para contacto: jaime.garatuza@itson.edu.mx



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br



9786585756563

